



Avertissement

Ce document est le fruit d'un long travail et a été validé par l'auteur et son directeur de mémoire en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'Enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'IFMK de Nancy n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à disposition de la communauté scientifique élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : secretariat@kine-nancy.eu

Liens utiles

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122. 4.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2- L 335.10.

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
RÉGION GRAND EST
INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE DE NANCY

Le renforcement des muscles inspireurs permet-il d'améliorer la force ainsi que l'aisance et les capacités respiratoires des sapeurs-pompiers lors de leurs interventions sous appareil respiratoire isolant à circuit ouvert ?

Sous la direction de
Mickaël Kind

Mémoire présenté par **Noémie HEN**
Étudiante en 4^{ème} année de masso-kinésithérapie,
en vue de valider l'UE28
dans le cadre de la formation initiale du
Diplôme d'État de Masseur-kinésithérapeute

Promotion 2016-2020



UE 28 - MÉMOIRE
DÉCLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je soussigné(e), Noémie Hen

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant le conseil de discipline de l'ILFMK et les tribunaux de la République Française.

Fait à Gaubiving, le 23/04/2020

Signature

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du jury pour la lecture de ce travail.

Je souhaite remercier Mickaël Kind, masseur-kinésithérapeute diplômé d'état et expert kinésithérapeute au service départemental d'incendie et de secours de la Moselle qui, dans son rôle de directeur de mémoire a su m'aiguiller et m'encourager dans la réalisation de ce travail.

Un profond remerciement à l'équipe pédagogique de l'IFMK de Nancy pour la qualité de leur enseignement fourni au cours de ces quatre années de formation. Merci à monsieur Ferring, professeur référent à l'IFMK de Nancy m'ayant suivi durant mes années d'étude en apportant son soutien et en encadrant mon travail. Merci à madame Muller, professeur de l'IFMK de Nancy pour son aide et ses conseils précieux dans la réalisation de ce mémoire. À monsieur Gouilly, directeur de l'école de masso-kinésithérapie de Nancy pour les références apportées à ce travail.

Mes remerciements au service départemental d'incendie et de secours ainsi qu'au service de secours et de santé médicale de la Moselle pour leur accord et prêt de matériel pour la réalisation de ce travail. Au Lieutenant Decker, chef de centre de l'unité opérationnelle de Behren-lès-Forbach et à son adjoint le Lieutenant Gerber pour leur confiance en acceptant d'accueillir mon projet de mémoire et en mettant à disposition le matériel ainsi que le personnel nécessaire à sa réalisation.

Un grand merci aux sapeurs-pompiers actifs à l'unité opérationnelle de Behren-lès-Forbach pour s'être portés volontaires à cette étude et sans qui ce mémoire n'aurait pas été réalisable.

Merci à mes parents et mes sœurs pour m'avoir permis de réaliser ces études et ce mémoire par leur confiance, leur soutien et leur écoute et motivation.

À mon conjoint, pour son soutien sans faille durant la réalisation de ce travail.

À mes camarades et amis ; Jade, Céline, Margot, Jérémie et Arthur de l'IFMK de Nancy, pour leurs conseils avisés et relectures de ce travail.

Le renforcement des muscles inspirateurs permet-il d'améliorer la force ainsi que l'aisance et les capacités respiratoires des sapeurs-pompiers lors de leurs interventions sous appareil respiratoire isolant à circuit ouvert ?

Introduction : Lors de leurs interventions en milieux viciés, les sapeurs-pompiers portent des appareils respiratoires isolants à circuit ouvert leur permettant de respirer. Bien qu'indispensables, ceux-ci imposent des contraintes lors de l'inspiration favorisant la fatigue des muscles inspirateurs, diminuant l'aisance et les capacités de travail.

Matériel et méthode : Afin de diminuer ces contraintes, un programme de renforcement des muscles inspirateurs a été proposé à un groupe de dix sapeurs-pompiers volontaires. Ce protocole contrôlé et randomisé consistait pour le groupe « protocole » à inspirer à travers un Powerbreathe®, appliquant une résistance continue réglée à 85-90 % de la pression inspiratoire maximale individuelle. Ce renforcement consistait à réaliser deux fois par jour durant quatre semaines, 30 cycles respiratoires découpés en six séries de cinq inspirations et expirations avec 45 secondes de récupération entre chaque série et 30 minutes après les 30 premières inspirations. Les critères objectifs mesurés avant la réalisation du protocole étaient la pression inspiratoire maximale, l'ampliation thoracique et la spirométrie. L'aisance était mesurée grâce à un entretien individuel et une échelle de Borg modifiée.

Résultats : Seuls les résultats pré-protocoles ont pu être recueillis et ont montré que le port de l'appareil respiratoire isolant à circuit ouvert induit une diminution de la force des muscles inspirateurs objectivée par une diminution de la pression inspiratoire maximale ainsi qu'une diminution des volumes respiratoires et du rapport Tiffeneau. La pandémie du virus Covid-19 rendant impossible tout regroupement d'individus ne nous a pas permis de recueillir les données post-protocoles afin d'objectiver l'efficacité du protocole de renforcement.

Discussion : Après quatre semaines de renforcement, l'exploitation des carnets de suivi a montré que les participants du groupe « protocole » ressentaient moins de difficultés à effectuer l'exercice indiquant une adaptation des muscles inspiratoires à la charge.

Mots clés : appareil respiratoire isolant à circuit ouvert - muscles inspirateurs – renforcement - sapeurs pompiers.

Does strengthening the inspiratory muscles improve the strength, the ease and respiratory capacities of firemen while working with breathing apparatuses?

Introduction: During their interventions in contaminated environments, firemen wear breathing apparatuses. Though essential, these devices require special efforts during inhalation, which tends to provoke fatigue of the inspiratory muscles, thus decreasing ease and work capacity.

Material and method: In order to reduce these strains, a strengthening program of the inspiratory muscles was offered to a group of ten volunteers firemen. This controlled and randomized protocol consisted of having the test group inhale through a Powerbreathe®, applying a continuous resistance set at 85-90 % of the individual maximum inspiratory pressure. This protocol was carried out for four weeks, twice a day, with 30 respiratory cycles divided into six series of five inspirations and expirations, with a 45-seconds recovery between each series and a 30-minutes recovery after the first 30 inspirations. The objective criteria measured before the completion of the protocol were the maximum inspiratory pressure, the chest expansion and the spirometry. Ease was assessed through individual interviews and a modified Borg scale.

Results: Only the pre-protocol results could be collected and showed that wearing the breathing apparatus induce a reduction of the inspiratory muscles strength, objectified by a reduction in the maximum inspiratory pressure as well as a reduction in the respiratory volumes and the Tiffeneau ratio. Because of the COVID-19 pandemic and the restrictions on social gatherings, the objectification of the results at the end of the reinforcement protocol was made impossible.

Discussion: After four weeks of reinforcement, the use of follow-up notebooks showed that the participants of the "protocol" group felt less difficulties performing the exercise, indicating an adaptation of the inspiratory muscles to the load.

Key words: breathing apparatus - inspirators muscles – reinforcement – firemen.

SOMMAIRE

1.INTRODUCTION.....	1
1.1. Physiologie de la respiration	2
1.1.1.La ventilation.....	4
1.1.2.Le diaphragme	5
1.2. L'appareil respiratoire isolant à circuit ouvert.....	5
1.2.1.Rôle.....	5
1.2.2.Composition	6
1.2.2.1.Le masque	6
1.2.2.2.La bouteille.....	6
1.2.2.3.Le harnais	7
1.2.2.4.Le détendeur haute à moyenne pression	7
1.2.2.5.La soupape à la demande.....	8
1.2.3.Difficultés respiratoires.....	8
1.2.3.1.Charge thoracique.....	8
1.2.3.2.Résistances respiratoires.....	10
1.2.3.3.Espace mort et du volume de réserve expiratoire.....	11
1.2.3.4.Fatigue des muscles respiratoires	12
1.2.3.5.Incidence sur les fonctions pulmonaires	13
1.2.3.6.Contraintes de temps.....	13
1.2.3.7.Incidences sur la respiration du sapeur-pompier	14
1.2.3.8.Toxicité des fumées	15
2. MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	16
2.1. Méthodes de recherches et bases de données	16
2.2. Accords préalables.....	17
2.3. Population	18
2.4. Renforcement des muscles inspireurs	19
2.4.1.Intérêts et moyens	19
2.4.2.Outils de renforcement.....	22
2.4.3.Protocole de renforcement proposé aux sujets de l'étude.....	23
2.5. Mesures	24
2.5.1.Questionnaire pré-protocole et consentement.....	24
2.5.2.Aisance lors des interventions	25

2.5.2.1.Pénibilité de l'effort.....	25
2.5.2.2.Sensations rapportées	26
2.5.2.3.Consommations et temps	26
2.5.2.4.Paramètres vitaux	26
2.5.3.Mesures respiratoires objectives	26
2.5.3.1.Force des muscles inspireurs	27
2.5.3.2.Pi max	28
2.5.3.3.Ampliation thoracique.....	28
2.5.3.4.Spirométrie.....	29
2.5.4.Autres mesures.....	30
2.6. Exploitation des données	30
3. RÉSULTATS.....	30
3.1. Mesures pré-protocoles de renforcement	31
3.1.1.Questionnaire pré-protocole de renforcement	31
3.1.2.Aisance	32
3.1.2.1.Pénibilité de l'effort.....	32
3.1.2.2.Sensations rapportées	33
3.1.2.3.Consommation et temps	33
3.1.2.4.Paramètres vitaux	33
3.1.3.Force	35
3.1.3.1.Pression inspiratoire maximale	35
3.1.3.2.Ampliation thoracique.....	35
3.1.4.Spirométrie.....	36
3.2. Mesures post-protocole de renforcement	37
4. DISCUSSION.....	39
4.1. Analyse des résultats	38
4.1.1.Aisance	38
4.1.2.Capacités et force pulmonaire	40
4.2. Biais et limites	42
4.2.1.Biais de sélection	42
4.2.1.1.Lors du recrutement.....	42
4.2.1.2.Lors de l'analyse	44
4.2.2.Biais méthodologique.....	45
4.2.3.Biais de mesure	46

4.2.4. Biais de confirmation d'hypothèse	47
4.2.5. Perspectives.....	48
5. CONCLUSION.....	48
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

Liste des abréviations

ARICO : appareil respiratoire isolant à circuit ouvert
AXE : périmètre axillaire en expiration maximale
AXI : périmètre axillaire en inspiration maximale
BAL : binôme d'alimentation
BAT : binôme d'attaque
CA : chef d'agrès
CI : capacité inspiratoire
CO₂ : dioxyde de carbone
CPT : capacité pulmonaire totale
CRF : capacité résiduelle fonctionnelle
CV : capacité vitale
CVF : capacité vitale forcée
DEMS : débit expiratoire maximal en une seconde
DIFF Ax : expansion thoracique au niveau axillaire
DIFF Xy : expansion thoracique au niveau xiphoïdien
EAP : éducateur en activité physique
EPI : équipement de protection individuelle
Fc : fréquence cardiaque
FMPA : formations de maintien et perfectionnement des acquis
Fr : fréquence respiratoire
GC : groupe « contrôle »
GP : groupe « protocole »
IMC : indice de masse corporelle
MK : masseur-kinésithérapeute
O₂ : oxygène
PA : pression artérielle
PAD : pression artérielle diastolique
Palv : pression alvéolaire
PAS : pression artérielle systolique
Patm : pression atmosphérique

Pe max : pression expiratoire maximale

Pi max : pression inspiratoire maximale

Ppl : pression intra-pleurale

SAD : soupape à la demande

SDIS-57 : service départemental d'incendie et de secours de la Moselle

SP : sapeur(s)-pompier(s)

SPV: sapeur(s)-pompier(s) volontaire(s)

SPP : sapeur(s)-pompier(s) professionnel(s)

SpO₂ : saturation pulsée en oxygène

SSSM: service de santé et de secours médical

UO-BEF : unité opérationnelle de Behren-lès-Forbach

VEMS : volume expiratoire maximum seconde

VR : volume de réserve

VRE : volume de réserve expiratoire

VRI : volume de réserve inspiratoire

VT : volume courant

XYE : périmètre xyphoïdien en expiration maximale

XYI : périmètre xyphoïdien en inspiration maximale

1. INTRODUCTION

Nous connaissons tous les sapeurs-pompiers (SP) ; ces hommes et femmes (249.700 en France en 2018) venant nous secourir, parfois au péril de leur vie lorsque nous composons le numéro 18. Il existe des SP professionnels (16 %), militaires (5 %) et volontaires (79 %). Bien que leurs statuts diffèrent, tous sont affectés aux mêmes missions. Ce métier aux multiples facettes, peut les amener à intervenir sur des secours d'urgence aux personnes (84 % des interventions), des incendies (6 % des interventions) et des missions diverses (10 % des interventions) comme les inondations, la préservation des biens et de l'environnement, les risques toxiques, chimiques et technologiques (données pour la France portant sur l'année 2018)(1,2). Pour mener à bien ces missions de protection de la population tout en garantissant leur sécurité, ils se doivent d'avoir une forme physique et une hygiène de vie irréprochables.

Fine partie du métier, la lutte contre les incendies n'en reste pas moins l'une des plus dangereuse (intoxications aux fumées, brûlures, explosions...). Les SP portent pour se protéger lors de leurs interventions, des équipements de protection individuelle (EPI) thermique, cutané et respiratoire (ANNEXE I). Bien qu'indispensable à leur respiration lors de la progression en milieux viciés, le port de l'appareil respiratoire isolant à circuit ouvert (ARICO)(figure 1) peut les gêner. SP volontaires depuis plusieurs années, les effets indésirables expérimentés et recueillis lors d'interventions auprès de nos collègues nous ont interpellé sur ce matériel. L'ARICO participerait-il à l'inconfort des SP en intervention ? L'appareil diminuerait-il les performances des SP en intervention ? Participerait-il à la fatigue des muscles respiratoires ? Le renforcement des muscles inspireurs serait-il bénéfique aux SP ? Permettrait-il de diminuer l'inconfort lors du port de l'ARICO ? D'augmenter les capacités respiratoires et les performances physiques des SP sous ARICO ? Les SP ont-ils connaissances des muscles inspireurs et de programmes permettant de les renforcer ? La masso-kinésithérapie pourrait-elle aider les SP ?

Nous tenterons de répondre à ces questionnements par des recherches dans la littérature ainsi que par la réalisation d'un protocole expérimental. En effet, il s'agit d'un mémoire d'initiation à la recherche clinique. Le but du protocole proposé sera de répondre à la question suivante : un programme de renforcement des muscles inspireurs permet-il d'améliorer la force ainsi que l'aisance et les capacités respiratoires des sapeurs-pompiers lors de leurs interventions sous appareil respiratoire isolant à circuit ouvert ?



Figure 1 : Photographie montrant l'ARICO porté de face et de profil.

Afin de répondre à ces questions, nous nous sommes entourés d'un expert kinésithérapeute SP. Ensemble nous avons souhaité proposer un protocole de renforcement et évaluer son effet sur la force des muscles inspireurs, l'aisance et les capacités respiratoires des SP lors du port de l'ARICO. Pour ce faire, nous avons mis en place un protocole contrôlé randomisé composé d'un groupe « protocole » (GP) et d'un groupe « contrôle » (GC). Nous avons émis l'hypothèse qu'à l'issue du protocole le GP verrait une augmentation de la force des muscles inspireurs, des volumes pulmonaires et de l'ampliation thoracique. Mais également une diminution de la pénibilité de l'effort, du temps de manœuvre, de consommation d'air ainsi qu'une moins grande variation de leurs paramètres vitaux lors de la manœuvre. Le GC ne verrait pas d'amélioration de ces critères. Dans ce travail, nous verrons tout d'abord quelques rappels sur la physiologie de la respiration et ses particularités chez le SP sous ARICO. Nous décrirons l'ARICO, ses fonctions, composants et contraintes. Nous développerons l'intérêt du renforcement des muscles inspireurs, le protocole choisi, la population cible et les mesures recueillies. Nous exposerons les résultats obtenus et tirerons les conclusions, les limites et les pistes d'amélioration émanants de ce travail.

1.1. Physiologie de la respiration

La respiration, indispensable à la vie est la plupart du temps inconsciente et automatique (3). Elle a pour but de fournir de l'oxygène (O_2) à toutes les cellules et d'éliminer les déchets gazeux. Permettant ainsi le maintien des pressions artérielles en oxygène (PaO_2) et en dioxyde de carbone ($PaCO_2$). Assurant le maintien de l'homéostasie acido-basique et du pH sanguin dans des valeurs compatibles avec la vie et ce, peu importe les conditions d'exercice, de repos, de sommeil, de maladie ou d'altitude (3–6).

Le système ventilatoire se compose d'un système passif (6) : les voies aériennes supérieures et inférieures. Les voies supérieures (bouche, nez, nasopharynx, oropharynx, laryngopharynx, larynx) permettent la conduction de l'air du milieu extérieur aux poumons. Si la respiration se fait par le nez, elle permet son humidification, réchauffement et filtration (3,7). Les voies aériennes inférieures sont composées du système bronchique (trachée, bronches principales droites et gauches, bronches, bronchioles et alvéoles pulmonaires) permettent la conduction de l'air des voies aériennes supérieures aux alvéoles pulmonaires, lieux des échanges gazeux à travers la paroi alvéolo-capillaire (3). Le système ventilatoire actif (6) se compose de différents muscles. Ils agissent comme une pompe permettant de modifier le volume thoracique et ainsi modifier les gradients de pression intra-pulmonaire permettant les mouvements d'air. Les muscles inspireurs exercent des forces de traction sur la cage thoracique augmentant son volume et favorisant l'inspiration. Ces muscles sont le diaphragme, les infra-hyoïdiens, les scalènes, le grand et petit pectoral, le subclavier, le dentelé antérieur, le grand dorsal, les intercostaux externes, les élévateurs des côtes, le dentelé postéro-supérieur, le sterno-cléido-mastoidien, les fibres supérieures du muscle sacro-lombal(8,9). Les muscles expirateurs exercent des forces de compressions sur la cage thoracique diminuant son volume et favorisant l'expiration. Ces muscles sont les intercostaux internes, le dentelé postéro-inférieur, le droit et obliques externe et interne de l'abdomen, la partie basse du sacro-lombal, le longissimus(8,9). Pour être efficace, la respiration nécessite différentes étapes : la ventilation, la diffusion et la conduction. Nous détaillerons la ventilation car sa compréhension nous paraît particulièrement importante pour la suite.

1.1.1. La ventilation

La ventilation comprend l'inspiration ou inhalation et l'expiration. Elle correspond au renouvellement d'air entre le milieu extérieur et les voies respiratoires (6). Les mouvements d'air s'opèrent des milieux de fortes pressions vers les milieux de faibles pressions. Les pressions internes se composent de la pression intra-pleurale (Ppl) (présente dans l'espace pleurale : entre le feuillet pariétal et le feuillet viscéral de la plèvre) et de la pression intra-pulmonaire ou intra-alvéolaire (Palv). La pression externe est nommée pression atmosphérique (Patm). La Ppl est négative donc inférieure à Patm ($Ppl < Patm$). Au repos la Palv est égale à la Patm ($Palv = Patm$), aucun mouvement d'air ne s'opère entre le milieu extérieur et le milieu pulmonaire.

L'inspiration est un phénomène actif défini par l'entrée d'air du milieu extérieur vers les voies respiratoires. Pour se faire, les pressions internes doivent être plus faibles que les pressions externes c'est-à-dire P_{pl} et P_{alv} inférieures à P_{atm} ($P_{pl} < P_{atm}$ et $P_{alv} < P_{atm}$).

Selon la loi de Boyle-Mariotte, qui relie la pression et le volume d'un gaz parfait à température constante :

$$P \times V = \text{Constante} \quad (P \text{ étant la pression et } V \text{ le volume}).$$

Si V augmente P diminue et inversement. Le milieu intra-pulmonaire est un milieu ouvert en relation avec le milieu extérieur. Son volume est variable et son augmentation permet la diminution de P_{alv} . L'augmentation du volume est possible par la contraction du diaphragme (60-75 %) et des muscles inspireurs accessoires (25-40 %). Le diaphragme va abaisser son centre phrénique en repoussant les viscères abdominales permettant une expansion du volume vertical. Les muscles accessoires vont tirer les côtes supérieures et le sternum créant un mouvement en anse de seau vers le haut et l'extérieur permettant d'augmenter le diamètre antéro-postérieur. Une fois P_{alv} inférieure à P_{atm} ($P_{alv} < P_{atm}$) l'entrée d'air du milieu extérieur vers le milieu intérieur s'opérera. Une inspiration calme mobilise en moyenne 1,5L d'air (3,4,7,8). Cette entrée d'air induira une augmentation de P_{alv} et l'inspiration s'arrête quand P_{alv} est égale à P_{atm} ($P_{alv} = P_{atm}$).

L'expiration correspond à la sortie d'air des poumons. Elle se produit quand P_{alv} est supérieure ou égale à P_{atm} ($P_{alv} \geq P_{atm}$)(3). Les mouvements d'air s'opèrent du milieu de forte pression (P_{alv}) vers le milieu de faible pression (P_{atm}). La relaxation des muscles inspireurs permet à la cage thoracique de retrouver sa position de repos grâce au retour élastique des poumons. Cette diminution de volume augmente la P_{alv} favorisant la chasse de l'air vers le milieu extérieur. L'expiration prend fin quand P_{alv} est égale à P_{atm} ($P_{alv} = P_{atm}$) (3,7). Ce phénomène passif au repos peut, dans certains cas (lors d'exercice ou de toux), devenir actif et nécessiter le recrutement des muscles expirateurs, qui en se contractant compriment la cage thoracique, augmentant la P_{alv} et chassant l'air des poumons (4,7).

Certains facteurs modifient la ventilation. La compliance est la capacité élastique des poumons et des éléments de la cage thoracique (9) à modifier leurs volumes lors d'une variation de pression. Une faible compliance oblige les muscles inspireurs à développer

davantage de force pour obtenir un étirement comparable. La résistance des voies aériennes dépend de la longueur et du rayon des circuits ainsi que de la viscosité du fluide circulant (3).

1.1.2. Le diaphragme

Le diaphragme (Fig.1) est un muscle plat, strié et transversal. Il sépare les cavités thoracique et abdomino-pelviennes grâce à ses deux dômes concaves vers le bas. Il prend ses insertions au niveau sternal (appendice xiphoïde), costal (six dernières côtes) et rachidien (L1, L2, L3). Il se termine par une nappe tendineuse sur le centre phrénique. Également nommé muscle inspireur principal, sa contraction lors de l'inspiration permet d'abaisser le centre phrénique refoulant caudalement les viscères abdominaux augmentant ainsi le volume thoracique. On lui alloue un rôle de stabilisateur du rachis, d'expulseur lors de la défécation, de la miction ou de l'accouchement. Il permet par modifications de pression des cavités abdominales et thoraciques l'aide au retour veineux ainsi qu'à la statique et à l'équilibre. Son innervation motrice se fait par les nerfs phréniques droit et gauche (racines C4 ± C3, C5). Son innervation sensitive se fait par les nerfs phréniques pour la partie centrale fibreuse et par les six derniers nerfs intercostaux pour la partie musculaire périphérique (10). Il possède une contraction automatique (fonction vitale de ventilation et de digestion) et une contraction volontaire (suspend les activités vitales pour la phonation et le port de charge lourde). Il est vascularisé par les artères phréniques droite et gauche, l'artère thoracique interne inférieure, les intercostales et les médiastinales (8).

1.2. L'appareil respiratoire isolant à circuit ouvert

1.2.1. Rôle

L'ARICO s'ajoute aux équipements de protection afin de permettre une protection respiratoire en fournissant une atmosphère respirable isolée de l'air ambiant pollué. Il se compose d'un masque, d'une bouteille d'air, d'un harnais dorsal, d'un détendeur haute à moyenne pression, d'une soupape à la demande, d'un système sonore de détresse et d'un système de cordage permettant aux binômes de SP de ne pas se perdre. Il est dit à « circuit ouvert » car contrairement aux « circuits fermés », l'air contenu dans la bouteille n'est pas

recyclé mais rejetée par la soupape d'expiration vers le milieu extérieur. Nous décrivons les éléments de l'ARICO nécessaire à la compréhension de ce travail.

1.2.2. Composition

1.2.2.1. Le masque

Le masque (Fig.2) se compose d'une pièce faciale permettant une protection visuelle et thermique (11). Un orifice d'encliquetage permet de brancher la soupape à la demande. Une membrane phonique permet d'optimiser la communication et une soupape d'expiration de rejet de l'air consommé. On y trouve également un demi-masque interne et deux brides de fixations permettant l'amarrage au casque.



Figure 2 : Photographie annotée de la pièce faciale de l'ARICO.

1.2.2.2. La bouteille

La bouteille (Fig.3) d'une contenance de 6 litres d'eau est remplie d'air comprimée à une pression de 300 bars. Elle peut être composée de différents matériaux lui donnant un poids compris entre 3,6 et 7,1kg. La nature de son contenu est reconnaissable par la couleur de son ogive rayée noir et blanc. Elle est équipée d'un robinet d'ouverture et de fermeture. Elle se place sur le harnais dorsal avec le fond de la bouteille vers le haut.



Figure 3 : Photographie de la bouteille de l'ARICO.

1.2.2.3. Le harnais

Le harnais dorsal (Fig.4) se compose d'une armature en plastique rigide soutenant la bouteille. Il est partiellement adaptable à la morphologie du porteur grâce à deux sangles thoraciques répartissant la charge aux épaules et une sangle ventrale répartissant la charge au bassin (12). Le harnais permet également le soutien de la balise de détresse, du détendeur haute pression, de la soupape à la demande, des flexibles d'air et d'une poignée d'extraction.



Figure 4 : Photographies annotées du harnais de l'ARICO de dos (Bezier.N(13)) et de face.

1.2.2.4. Le détendeur haute à moyenne pression

Le détendeur (Fig.5) permet d'abaisser la pression de la bouteille passant de 300 à 6-8 bars. Le flux d'air entrant dans le détendeur est continu et régulier. Il est également équipé d'un manomètre permettant de contrôler la pression d'air présente dans la bouteille et d'un sifflet d'alarme s'activant lorsque la bouteille ne contient plus que 1/6 de sa capacité (signe qu'il faut sortir du bâtiment en flammes). Il alimente le flexible d'air de la soupape à la demande (Fig.6) ainsi que celui de « second porteur » (Fig.4) pouvant au choix être branché sur une cagoule de fuite ou sur le flexible de la soupape d'un autre ARICO.



Figure 5 : Photographie du détendeur haute pression de l'ARICO.

1.2.2.5. La soupape à la demande

La soupape à la demande (SAD)(Fig.6) se branche à la partie inférieure du masque. Elle est reliée au détendeur par un flexible. Elle diminue la pression arrivant au masque à 2,2 - 4,1millibars avec un débit pouvant aller jusqu'à 300L/min. Un système de secours nommé «bypass» permet d'augmenter l'arrivée d'air en cas d'effort violent, de panique, de sensation de manque d'air ou d'apparition de buée dans le masque.



Figure 6 : Photographie annotée de la soupape à la demande de l'ARICO (SDIS-57).

1.2.3. Difficultés respiratoires

Lors de leurs missions, des contraintes issues de l'environnement ou des équipements impactent les capacités respiratoires et physiques, les sens et l'aisance des SP (ANNEXE II). Seules les difficultés respiratoires directement liées à l'ARICO ainsi que les stratégies mises en place pour les diminuer seront développées dans ce chapitre.

1.2.3.1. Charge thoracique

Le port de charge thoracique se définit par le fait d'associer à la locomotion une charge sur son torse ou dans son dos (sac à dos, gilets pare-balle, ARICO, veste lestée) (4,14). Bien qu'étant le moyen de portage le plus économique, il impose des contraintes. Chez les SP, le port de charge thoracique (veste de feu et l'ARICO) est courant et peut ajouter un poids de 15 à 23kg. Pour les plus petits gabarits, cette charge peut atteindre 40 % de leur masse corporelle (15). Le port de charge thoracique augmente les contraintes de force appliquées à la cage thoracique et ses composants (poumons, médiastin, côtes, muscles, ligaments)(4). Ces contraintes modifient les propriétés mécaniques de la paroi thoracique en réduisant sa

flexibilité (16), ses mouvements (4), la compliance pulmonaire (16,17) aboutissant à une diminution de l'ampliation thoraciques (4,17). L'ampliation thoracique correspond à la différence de diamètre entre l'inspiration et l'expiration maximale. Toute altération des propriétés mécaniques de la paroi thoracique entraîne une respiration paradoxale, réduisant l'efficacité respiratoire, les pressions et les volumes pulmonaires (16).

En plus du poids, la répartition de la charge influence la respiration (15,18). Afin de mettre en évidence les conséquences de l'ajustement de l'ARICO, nous avons réalisé une expérience. Nous avons pris des photographies du port de l'ARICO avec les sangles serrées, ajustées et lâches (ANNEXE III). Un mauvais ajustement du harnais influe négativement sur le porteur et ses capacités respiratoires. Nous pouvons constater que dans les trois cas, les sangles thoraciques passent au-dessus et en avant du tiers distal de la clavicule. La clavicule est alors poussée vers le bas et l'arrière provoquant une légère élévation de son tiers médial. Les sangles passent en avant de l'articulation gléno-humérale et la postériorise (9,19). Nous observons également une diminution de cyphose dorsale et cervicale ainsi qu'une augmentation de la lordose lombaire. L'ajustement trop serré des sangles thoraciques augmentera les contraintes et leurs conséquences sur les propriétés mécaniques de la paroi thoracique et la mécanique ventilatoire. De plus, il fera remonter le fond de la bouteille sous la nuque du porteur ce qui limitera ses amplitudes cervicales, causant d'autres gênes (ANNEXE II). A l'inverse, l'ajustement trop lâche des sangles thoraciques amène le poids de la bouteille encore plus en arrière du dos du porteur modifiant son centre de gravité et amenant son polygone de sustentation vers l'arrière. Pour ne pas chuter, le porteur se voit obligé de se pencher en avant exacerbant sa cyphose thoracique. Nous observons également une antéversion et rotation médiale des épaules, une inversion de la courbure lombaire et une augmentation de la rétroversion du bassin. Cette position en fermeture thoracique diminue l'ampliation thoracique et les volumes pulmonaires déjà limités par le port de charge.

La sangle abdominale, une fois bien ajustée, doit passer au niveau de l'ombilic et des crêtes iliaques afin de permettre une bonne répartition du poids de l'ARICO entre les épaules et les membres inférieurs. Trop ajustée, la sangle comprime l'abdomen limitant le refoulement diaphragmatique des viscères, ce qui à son tour limite l'expansion des volumes pulmonaires lors de l'inspiration. Le poids réparti sur les crêtes iliaques aura tendance à les abaisser. Trop lâche, la sangle ne permettra pas une répartition optimale de la masse qui sera alors compensée par l'addition de contraintes au niveau des sangles thoraciques.

Les muscles respiratoires sont, comme les muscles locomoteurs, régis par la relation tension/longueur et force/vitesse. Il existe donc une longueur musculaire idéale où leur capacité à générer une force est la plus élevée. Ainsi, plus l'on s'écarte de cette longueur idéale (plus long ou plus court), moins la force développée sera importante et donc moins les muscles respiratoires seront efficaces (11). Les contraintes appliquées à la cage thoracique et aux crêtes iliaques par l'intermédiaire des sangles de l'ARICO entraînent des modifications anatomiques modifiant la relation tension longueur des muscles respiratoires s'y insérant. Ces muscles ne se trouvant plus à une longueur idéale vont alors devoir augmenter leur travail pour arriver aux mêmes valeurs que sans charge thoracique (11).

1.2.3.2. Résistances respiratoires

Chez les SP, en plus de la charge thoracique, les résistances appliquées sur les muscles inspireurs sont majorées par la SAD. En effet, elle délivre de l'air à une pression comprise entre 2,2 et 4,1mb. P_{atm} varie en France entre 951,8mb à 1048,9mb (20). La pression dans le masque est égale à P_{atm} . La pression délivrée par la SAD est inférieure à la P_{atm} afin de ne pas délivrer l'air en continue mais uniquement sur « demande » : quand l'opérateur par une inspiration forcée, abaisse la pression du masque et la P_{alv} en dessous de la pression délivrée par la SAD. Ce système permet de conserver l'air dans la bouteille et donc de travailler plus longtemps. Lutter contre les contraintes thoraciques et les résistances inspireurs qu'elle induit nécessite le recrutement des muscles inspireurs accessoires et l'augmentation de leur force afin de maintenir des capacités et volumes respiratoires équivalents à ceux sans charge thoracique (4,21).

Des résistances expiratoires sont également présentes pour rejeter l'air à travers la soupape d'expiration (11). En effet, la soupape d'expiration limite le débit expiratoire maximum par son diamètre plus réduit que lors de l'expiration à l'air libre (11). De plus, après l'inspiration, la pression dans le masque est inférieure à P_{atm} . Il faut alors augmenter la pression du masque au dessus de P_{atm} pour appliquer à ces contraintes. Afin de lutter contre les résistances expiratoires différents systèmes sont mis en jeu : la relaxation des muscles inspireurs, le retour élastique des poumons et le recrutement des muscles expirateurs. Le poids de l'appareil aide à l'expiration en comprimant la cage thoracique.

Pour diminuer les résistances inspiratoires (charge thoracique, SAD, augmentation de l'intensité de l'exercice) et expiratoires (soupape d'expiration), la respiration nasale peut devenir buccale afin de permettre l'écoulement d'un plus grand débit d'air (3).

1.2.3.3. Espace mort et du volume de réserve expiratoire

L'espace mort représente les territoires ventilés mais non perfusés (voies aériennes supérieures, bouche, fosses nasales, trachée, bronches et régions alvéolaires non vascularisées) à l'intérieur duquel l'air ne participe pas aux échanges gazeux (9). Lors du port de l'ARICO, cet espace est majoré par le volume du masque, augmentant l'espace entre la SAD ou la soupape d'expiration et les voies aériennes supérieures (22). Afin de limiter l'augmentation de l'espace mort, l'organisme peut augmenter la fréquence respiratoire (Fr) (hyperventilation) afin de délivrer l' O_2 nécessaire aux cellules. Mais cette hyperventilation aura pour conséquence de vider la bouteille d'air plus rapidement et de diminuer le temps passé en intervention. Ainsi, l'ajout à la pièce faciale d'un demi-masque interne (Fig.2) permet de diminuer le volume total d'air entre la SAD et les voies respiratoires.

Le volume de réserve expiratoire (VRE) correspond au volume d'air qu'il est encore possible d'expulser après une expiration normale par une expiration forcée. Lors du port de l'ARICO, ce volume est majoré par l'augmentation de l'espace mort et des résistances expiratoires (11). Pour pallier à l'augmentation du VRE, outre que le demi-masque, l'organisme peut favoriser l'expiration forcée pour lutter contre la résistance de la soupape d'expiration en recrutant les muscles expirateurs accessoires.

L'augmentation de ces espaces impacte négativement la respiration. Lors de l'expiration, l'air riche en CO_2 et faible en O_2 y sera libéré et ré-inspiré à l'inspiration suivante. Plus ces espaces sont majorés, plus le volume d'air pauvre en O_2 stocké et réinspiré sera grand. Les échanges alvéolaires seront moins efficaces car l'air parvenant aux alvéoles et donc le sang transfusant aux cellules sera moins chargé en O_2 . De plus, l'augmentation de la longueur du circuit par l'augmentation de ces volumes augmente les résistances respiratoires (3).

Toutes ces adaptations modifient la mécanique ventilatoire, augmentent le coût énergétique de la respiration (11), le travail des muscles respiratoires (23) et accélèrent la

fatigue des muscles respiratoires lors d'un effort soutenu à modéré (4,11,14,15,17,24) aboutissant à terme à une diminution de leur force (4).

1.2.3.4. Fatigue des muscles respiratoires

La fatigue musculaire se définit comme la diminution de la capacité à générer une force, une pression (4) ou une vitesse (25). Contrairement à la faiblesse musculaire, elle est réversible au repos, bien qu'une faiblesse musculaire favorise la fatigue musculaire (26). La fatigue des muscles respiratoires peut apparaître lors d'un déséquilibre entre les demandes et les capacités des muscles à y répondre. Si la capacité musculaire n'est pas suffisante pour répondre à la charge respiratoire (exercice, environnement spécifique, pathologies de l'appareil respiratoire) l'équilibre est rompu et l'exercice en cours ne pourra pas être maintenu durant une période prolongée (27). La fatigue peut s'objectiver par l'incapacité à générer une pression suffisante pour maintenir la P_{alv} (26). Elle est favorisée par un niveau de travail élevé et maintenu lors d'exercices de haute intensité ($>80\%$ VO_2max), d'exercices sous maximaux prolongés (4,14) ou lorsque la Fr est élevée (la relation entre la Fr et le travail respiratoire est exponentielle)(4). Différentes études montrent que le port de charge thoracique favorise la fatigue des muscles respiratoires.

L'étude de Faghy, M et Brown, P de 2014 (14) montre une réduction de la P_i max et P_e max lors d'un exercice de marche avec une charge thoracique de 25kg alors que ça n'avait pas été le cas lors du même exercice sans port de charge. L'étude de Berlowitz, DJ *et al.* (16) montre que la charge thoracique réduit la valeur seuil d'apparition de la fatigue à une intensité de 58% VO_2 max.

La fatigue lors de port de charge thoracique s'explique par les efforts supplémentaires fournis par les muscles inspireurs pour palier à la contrainte afin d'augmenter le volume thoracique et permettre la ventilation. Lors d'un effort intense, à mesure que les muscles inspireurs fatiguent, le diaphragme alerte le cerveau qui identifie un conflit entre les muscles respiratoires et les muscles locomoteurs. Afin d'assurer la continuité de la respiration une compétition circulatoire s'installe entre ces groupes musculaires au profit des muscles respiratoires ; c'est le métaboréflexe (28). L'étude de Rodriguez, RF *et al* (29) a mis en évidence que lors d'exercices de forte intensité en milieu hypoxique, seuls les muscles locomoteurs ont vu leur oxygénation réduite. L'étude de Sheel, AW *et al.* (28) a montré que

l'augmentation de la charge résistive sur les muscles respiratoires réduit la conductance vasculaire et le débit sanguin des membres ainsi que la durée des exercices d'endurance chez des sujets en bonne santé durant des exercices de forte intensité. À l'inverse, le déchargement mécanique par une assistance réduisant le travail des muscles respiratoires de 50-70 % chez des sujets en bonne santé diminuait la fatigue de diaphragme et des muscles locomoteurs, augmentait la durée d'exercice et le débit sanguin. Le métaboréflexe induit également l'augmentation de la fréquence cardiaque (Fc), de la pression artérielle (PA) et de la résistance vasculaire des membres par phénomène de vasoconstriction (28,30).

La fatigue des muscles respiratoires et le port de charge induit également une diminution de la tolérance à l'effort et des performances (31) lors d'exercices presque maximaux (4,11,15,17), une réduction de la capacité de travail (11,21) et la limitation des activités sportives et de loisirs. La déficience des muscles inspiratoires réduit la capacité vitale (CV), empêche les respirations profondes, peut entraîner une dyspnée d'effort, une augmentation du volume résiduel (16).

1.2.3.5. Incidence sur les fonctions pulmonaires

La fatigue des muscles respiratoires associée au port de charge thoracique induit une limitation des fonctions respiratoires (4). En effet, de nombreuses études (11,14,17,18) ont montré que le port de charge thoracique restreint la fonction pulmonaire avec une diminution de la capacité vitale forcée (CVF), du débit expiratoire de pointe (DEP) 25 et 75% et du volume expiratoire maximal seconde (VEMS) sans diminution du rapport Tiffneau. Cela équivaut aux conséquences d'un syndrome restrictif.

1.2.3.6. Contraintes de temps

Le circuit ouvert de l'ARICO, ne permettant pas de purifier l'air expiré, le temps de travail est limité par la contenance en air de la bouteille. Cette contenance dépend de la capacité de la bouteille, de la pression à laquelle l'air est comprimé à l'intérieur de celle-ci et de la consommation moyenne du porteur. La formule permettant de connaître le temps de travail à disposition de l'opérateur est la loi de Mariotte :

$$T = \frac{P \times V}{Q}$$

T étant le temps théorique de travail exprimé en minute. P étant la pression de la bouteille exprimée en bar (bar). V étant le volume en eau de la bouteille, exprimée en litre (L). Q étant la consommation moyenne d'air de l'opérateur qu'il aura déterminé durant les entraînements, exprimée en litres par minutes (L/min).

La consommation moyenne d'air est de 90L/min (22). Une bouteille remplie au maximum (6L à 300 bars) permet de rester sur l'intervention en moyenne 20 minutes (22).

$$T = \frac{300 \times 6}{90} = 20$$

1.2.3.7. Incidences sur la respiration du sapeur-pompier

Nous avons cherché à savoir comment les SP adaptaient leur ventilation lors du port de l'ARICO. La lecture d'études ne nous a pas permis de trouver de consensus.

L'étude de Hostler et Pendergast (32) montre que les SP modifient leur ventilation lors du port de l'ARICO dans le but de réduire leur consommation maximale en O₂ (11,32). Lors de l'apprentissage, il leur est demandé de réaliser une respiration lente et profonde. Ainsi les SP de l'étude hypoventilaient afin de préserver le plus longtemps possible l'air contenu dans leur bouteille et de poursuivre leur intervention.

L'étude de Donovan *et al.* (33), compare les effets du port de l'ARICO sur les capacités pulmonaires entre un groupe de SP et un groupe de civils. Elle a montré que les SP augmentaient leur Fr et réduisaient le temps total de la respiration lors du port de l'ARICO. Une telle respiration augmente l'espace mort et diminue l'efficacité de la ventilation alvéolaire. Elle permet cependant un essoufflement inférieur, ce qui est bénéfique lors du travail avec port de l'ARICO. Ainsi, les SP avaient consommé significativement moins d'air et avaient été moins essoufflés que les sujets du groupe de civils. Cependant, la force des muscles inspireurs des SP était supérieure à celle du groupe contrôle ce qui peut expliquer leur essoufflement moindre. Leur volume courant (VC) est resté constant lors des mesures avec et sans port d'ARICO alors que celui des sujets du groupe civil a augmenté (18 %).

1.2.3.8. Toxicité des fumées

Malgré leurs EPI, des composants organiques volatils et des hydrocarbures aromatiques polycliques ont été retrouvés dans le souffle et les urines des SP après lutte contre les incendies (34). La pénétration dans l'organisme de ces particules néfastes peut s'expliquer par des phénomènes d'absorptions de gaz dans l'air (mauvaise étanchéité du masque, désorption des vêtements après intervention et absence de circuit propre), d'adsorption sous forme de liquides, gaz ou de suies (EPI mal positionnés, manipulation d'objets souillés, pénétration de particules dans la peau à partir des vêtements souillés). L'exposition répétée à ces particules contenant de fortes concentrations en gaz et aérosols toxiques, asphyxiants et irritants peut entraîner des troubles respiratoires chroniques, aiguës et le déclin des fonctions pulmonaires (35).

Pourtant, l'étude de Choi *et al.* de 2014 (35) montre comme l'avait fait Donovan *et al.* en 1999 (33), que les SP possèdent un VEMS, CVF et un rapport Tiffeneau supérieurs à ceux de la population générale. Ils ont tendance à être plus grands, avoir une meilleure santé et fumer moins que la population générale. Donovan *et al.* (33) trouvent que les SP ont des muscles inspirateurs plus forts que la population générale. Ces critères supérieurs chez les SP par rapport à la population générale étaient sans doute présents avant leurs débuts dans le métier. En effet, les personnes possédant une meilleure fonction pulmonaire et donc de meilleures capacités à s'adapter aux difficultés respiratoires et physiques imposées par le travail (charge thoracique de l'ARICO, contraintes respiratoires) auraient plus tendance à être recrutées. De plus, les personnes ne possédant pas une santé adéquate avec le métier ne conserveraient pas leur emploi. Cependant, cette étude transversale entre 2008 et 2011 a montré que malgré de meilleures fonctions pulmonaires dans cette population, les performances de VEMS, CVF et VEMS/CVF avaient diminué et ce, malgré le port d'EPI montrant un déclin des fonctions respiratoires.

Certaines études ont mis en évidence une prévalence plus importante de troubles respiratoires chroniques et aiguës chez les SP que dans la population générale. Les SP sont plus sujet aux dyspnées, rhinites, sinusites, épistaxis, enrrouements ainsi que d'irritations et sècheresses des yeux, de la gorge et de maux de tête (35,36). Ces symptômes étaient d'autant plus importants que le nombre d'années de service l'était et si corrélés au tabagisme (36). L'étendue des lésions pulmonaires est fonction de la substance et des caractéristiques du combustible ainsi que de la durée d'exposition et de la sensibilité de l'individu (35). Les SP

ont également un taux plus élevé de cancer professionnel que la population générale (34,35) et rencontrent plus de pathologies cardiaques et musculo-squelettiques (35).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1. Méthodes de recherches et bases de données

Une recherche bibliographique préliminaire a été nécessaire à la réalisation de ce travail. Elle a permis de nous renseigner sur la physiologie respiratoire, les difficultés rencontrées lors du port de l'ARICO, les programmes de renforcements existant, leurs bénéfices et les critères de mesures à recueillir pour répondre à la problématique de l'étude. Pour se faire, de juin 2019 au 3 mars 2020 différentes banques de données ont été consultées : PubMed, Kinédoc, PEDro, Cochrane Library, MEDLINE et le moteur de recherche Google Scholar. Les mots clés utilisés étaient les suivants : sapeurs-pompiers, respiration, renforcement, protocole, entraînement, muscles respiratoires, fatigue, muscles inspiratoires, port de charge thoracique, mesures, aisance, capacité respiratoires, pression inspiratoire maximale, spirométrie et en anglais : firefighter, fireman, inspiratory muscle training, respiratory muscle fatigue, breathing apparatuses, reinforcement, thoracic load carriage, maximum inspiratory pressure, spirometry, lungs capacity, respiratory capacity. La littérature grise a été consultée par la lecture d'ouvrages et de mémoires. La lecture des sources citées dans les articles trouvés a permis d'approfondir la bibliographie.

Notre stratégie de sélection des articles se base sur le « guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations » de l'ANAES du 1^{er} janvier 2000 (37). Des filtres ont été appliqués prenant en compte la langue de l'article. Tous les articles non disponibles en français ou anglais étaient exclus. Bien que la lecture d'articles à haut niveau de preuves et datant de moins de cinq ans aient été privilégiés, la date de publication n'a pas fait l'objet d'exclusion des articles afin de ne pas exclure des publications de référence. Notre bibliographie comporte des articles de 1981 à 2020. La première sélection se faisait sur la lecture du titre et l'accès à l'étude. Dans un second temps, le résumé était lu afin de définir l'intérêt de l'étude dans le travail réalisé. Enfin, si l'article n'avait pas été rejeté lors des étapes précédentes, il était lu. Le nombre de participants inclus dans la population des études n'a pas constitué un critère d'exclusion, cependant sur des études portant sur un faible nombre de participants un regard critique était particulièrement appliqué lors de la lecture des parties

matériels et méthodes et des résultats. Nous avons étudié les données de 6 études portant sur des programmes de renforcement des muscles inspirateurs dont 2 études de cas et 4 essais contrôlés randomisés.

L'élaboration de notre protocole de renforcement suit le modèle PICO (population, intervention, comparaison, outcomes). Nous allons décrire toutes les étapes de ce protocole.

2.2. Accords préalables

Ce mémoire s'effectuant sur une population de SP dans le cadre de leur activité professionnelle, nous avons souhaité recueillir le consentement de leur hiérarchie. Nous avons besoin du personnel actif de l'unité opérationnelle comme sujet de l'étude ainsi que de l'éducateur en activité physique (EAP) pour la mise en place de certains tests. Nous ne voulions pas agir dans l'ombre de la direction mais avec leur soutien afin de garantir aux participants l'accord de leur hiérarchie à effectuer les exercices du protocole et les tests, parfois sur leur temps et lieu de travail. De plus, nous avons besoin de leur accord pour avoir accès aux locaux de l'unité opérationnelle afin de rencontrer les sujets de l'étude, leur expliquer le protocole et effectuer certains tests. Enfin, nous avons fait appel à leur générosité pour le prêt des ARICO et autres matériaux spécifiques (lances, dévidoirs, tuyaux). Ces accords nous ont été accordés par différents professionnels du service départemental d'incendie et de secours (SDIS-57). S'agissant d'une intervention touchant au domaine médical, nous avons tout d'abord recueilli l'avis sur la pertinence de l'étude au médecin Commandant ainsi qu'à l'infirmier en chef du service de secours et de santé (SSSM) du SDIS-57. C'est après une rencontre à l'Etat-Major, des conversations téléphoniques et des échanges d'e-mails que nous avons obtenu leurs consentements. Il nous fallait choisir une unité opérationnelle afin de recruter les participants de notre étude. Nous avons fait le choix de l'unité opérationnelle de Behren-lès-Forbach (UO-BEF). Ce centre nous offrait une grande variété de personnel (hommes, femmes, professionnels et volontaires) ainsi que l'espace et les moyens nécessaires pour effectuer les tests (équipements incendies, fourgon pompe tonne, pièces calme). Nous avons alors contacté le chef de centre et l'EAP de UO-BEF. Lors d'échanges téléphoniques, d'e-mails ainsi que de rencontres nous avons, après explication du projet, reçu leurs accords pour mettre en œuvre notre étude au sein de leurs locaux.

2.3. Population

Les sujets ont été recrutés parmi les SP actifs de UO-BEF. Les critères d'inclusion retenus étaient d'être SP actif, âgé de plus de 18 ans (âge légal pour le port de l'ARICO au SDIS-57), validé apte au service et au port de l'ARICO par le médecin-pompier lors de la visite médicale annuelle et être à jour de ses formations de maintien et perfectionnement des acquis (FMPA). Les critères d'exclusion étaient les suivants : souffrir de maladies ou d'antécédents cardio-respiratoires, de claustrophobie, développer un rapport Tiffeneau inférieur à 80%, souffrir d'anomalie de la sphère rhino-pharyngée (déviation de la cloison nasale, rhinite chronique) d'asthme ou de bronchite chronique (38). Les sujets ne répondant pas à ces critères étaient remerciés. Le tabagisme n'a pas constitué une source d'exclusion mais un renseignement sur le nombre de paquets année a été recueilli.

Afin de recenser les sujets intéressés à participer au protocole, un e-mail a été envoyé par boîte de messagerie professionnelle du SDIS-57 aux 49 SP actifs de UO-BEF les informant sur la possibilité de participer à l'étude et exposant les grands axes du projet. Suite à cela, nous avons reçu 21 réponses dont 18 positives. Après recueil des questionnaires pré-protocole (ANNEXE IV) 5 sujets ont été exclus ; 3 ne répondaient pas au critère : « être âgé de plus de 18 ans », 1 ne répondait pas au critère « ne pas souffrir de symptômes/pathologies cardiaques et/ou respiratoires » et 1 ne répondait pas au critère « être à jour de toutes ses FMPA ». Lors de la réalisation de la manœuvre, 3 ont été exclus car absents. Lors de la prise des mesures respiratoires nous n'avons pas eu d'exclus (le diagramme de flux se trouve en ANNEXE IX). Ainsi, 10 SP ont été recrutés pour participer à l'étude. Il s'agit de 7 hommes et 3 femmes âgés de 19 à 43 ans (âge moyen $28,50 \pm 9,34$ ans), de taille moyenne $174,80 \pm 6,58$ cm et de poids moyen $74,20 \pm 9,96$ kg soit un IMC de $24,28 \pm 2,92$. Parmi eux, 30 % étaient fumeurs avec une moyenne de $2,17 \pm 1,61$ paquets année (tableau 1).

Les sujets ont été répartis aléatoirement en un groupe « protocole » (GP) et un groupe « contrôle » (GC). Pour se faire nous avons utilisé un sac opaque dans lequel se trouvaient 5 boules blanches désignant les participants au GP ainsi que 5 boules noires désignant les participants rejoignant le GC. Les participants ont chacun tiré une boule en prenant soin de la dissimuler dans leur main puis tous ont découvert au même moment les résultats du tirage. Ainsi la distribution était aléatoire et sans biais et notre protocole d'étude sera contrôlé et randomisé. Le GP se composait de 5 SP volontaires : 3 hommes et 2 femmes, âgés de 19 à

38 ans (âge moyen de $29 \pm 7,84$ ans), taille moyenne de $177,20 \pm 7,40$ cm, poids moyen de $74,0 \pm 12,98$ kg, soit un IMC de $23,48 \pm 3,03$ et 1 était fumeur (consommation de 4 paquets années) (ANNEXE IX). Le GC se composait également de 5 SP volontaires : 4 hommes et 1 femme, âgés de 19 à 43 ans (âge moyen de $28 \pm 11,58$ ans), taille moyenne de $172,40 \pm 5,32$ cm, poids moyen de $74,40 \pm 7,40$ Kg soit un IMC moyen de $25,08 \pm 2,89$ et 2 étaient fumeurs (respectivement 1 et 1,5 paquet année)(ANNEXE IX).

Tableau I : Moyennes par groupe des caractéristiques biométriques, activités sportives, tabagisme et nombre d'années de service.

Variables	groupes		P
	Groupe « protocole »	Groupe « contrôle »	
Genre (femmes/hommes)	2/5	1/5	1
Âge (années)	$29,00 \pm 7,84$	$28,00 \pm 11,58$	0,915
Taille (cm)	$177,20 \pm 7,40$	$172,40 \pm 5,32$	0,151
Poids (kg)	$74,00 \pm 12,98$	$74,40 \pm 7,40$	1
IMC (kg/cm^2)	$23,48 \pm 3,03$	$25,08 \pm 2,89$	0,548
Activités sportives (heures/semaines)	$0,60 \pm 0,89$	$3,00 \pm 4,00$	0,189
Tabagisme (fumeur/population totale du groupe)	1/5	2/5	1
Nombre d'années de service (années)	$11,2 \pm 6,83$	$3,1 \pm 1,52$	0,047

Concernant la loi Jardé et selon les informations recueillies auprès de la Haute Autorité de Santé, notre protocole fait partie de la catégorie 3 : recherche non interventionnelle « le protocole qui ne comporte aucun risque ni contrainte, dans lequel tous les actes sont pratiqués et les produits utilisés de manière habituelle ». En effet, il s'applique à une population de sujets sains, sans modification de leur traitement habituel, et par l'utilisation d'un protocole validé, déjà mis en application avec un instrument de renforcement validé.

2.4. Renforcement des muscles inspireurs

2.4.1. Intérêts et moyens

Comme vu précédemment, les muscles respiratoires peuvent être fatigables ou faibles notamment lors du port de charge thoracique ou d'exercices intenses. Ce sont des muscles striés (39), pouvant bénéficier d'un programme de renforcement. Un programme adapté permet l'augmentation de la force et de l'endurance (Lotters *et al.* 2002 (40) qui portait chez les patients atteints de BPCO) dans le but d'optimiser les performances sportives (41–46) et

la tolérance à l'exercice, la fonction musculaire, réduire ou retarder la fatigue et ses conséquences (respiration paradoxale, dyspnée, métaboréflexe, fatigue des muscles locomoteurs), réduire la concentration en lactate sanguin, améliorer les sensations respiratoires et la qualité de vie (4,27,47). Comme tout programme de renforcement, il demande une augmentation du travail pendant une période prolongée afin d'adapter les muscles à une surcharge (charge thoracique, résistance respiratoire). Pour un renforcement efficace, il faut déterminer une intensité et une durée de travail (27). La charge dépendra de l'intensité de travail et du nombre de séances par semaine. Les méthodes de renforcement nécessitent le suivi rigoureux d'un programme adapté. Un défaut dans le programme (charge trop forte, trop faible ou nombre de séances insuffisant ou trop fréquentes) n'induit aucun bénéfice (27). Ainsi, la résistance et le nombre de contractions lors des entraînements sont réglés de façon individuelle en fonction de la pression ciblée et s'exprime en pourcentage de la pression maximale que le sujet est capable de développer (27). Il faudra évaluer objectivement l'efficacité du programme par des mesures de force et d'endurance (temps) mais également son impact sur la santé, les performances, les capacités respiratoires (débit et volumes), le ressenti de l'individu et sa qualité de vie.

Afin de renforcer les muscles inspireurs, différentes méthodes existent :

- Un protocole en charge résistive peut être à débit variable ou à seuil de pression. Le débit variable consiste à faire respirer le sujet dans un orifice de diamètre différent. Afin de déclencher la valve unidirectionnelle et de permettre l'entrée d'air, le patient doit générer une pression inspiratoire et/ou expiratoire prédéterminée. Plus le diamètre est petit, plus la pression demandée au patient sera importante pour un même débit (4). La charge résistive à seuil de pression nécessite qu'un individu génère une quantité prédéterminée de pression inspiratoire afin d'ouvrir une vanne unidirectionnelle et permettre la circulation d'air à travers le dispositif.
- La charge volumique telle que l'hyperpnée normocapnique impose aux individus de maintenir un débit ventilatoire élevé par rapport à leur ventilation volontaire maximale. Il consiste à remplir et vider complètement un sac (30-40 % de la capacité vitale forcée du patient) connecté à un système de tube et un embout buccal ainsi qu'un trou permettant d'éviter une augmentation du CO₂ ainsi que d'imposer un débit inspiratoire ou expiratoire supplémentaire. Cette technique se base sur une ventilation minute élevée (et une résistance moins importante que dans les programmes résistifs)(4).

- Le chant car il impose des inspirations fortes et rapides ainsi que des expirations longues et prolongées. Il nécessite alors le recrutement des muscles respiratoires accessoires (16).

Cependant, les deux principales techniques utilisées sont l'entraînement résistif et en hyperpnée isocapnique. Aucune différence n'a été démontrée entre ces deux techniques dans l'amélioration des performances physiques, si ce n'est que l'entraînement résistif inspiratoire améliore préférentiellement la force alors que l'entraînement en hyperpnée isocapnique améliore principalement l'endurance des muscles respiratoires (27). Pour des raisons matérielles, nous avons choisi de réaliser un protocole en charge résistive.

Dans la littérature, nous avons trouvé différents protocoles en charge résistive permettant de renforcer les muscles inspireurs. L'étude de Kellens *et al.* (38) consistait en un entraînement spécifique des muscles inspireurs de huit semaines à l'aide d'un Powerbreathe® réglé à 85-90 % de la P_i max chez dix-neuf sujets pratiquant une activité sportive de loisir. Le protocole consistait à effectuer cinq séries de six cycles respiratoires deux fois par jour avec une 45 secondes entre chaque série et 30 minutes après les 30 premières inspirations. L'efficacité du protocole de renforcement a été mise en évidence par l'augmentation de la P_i max (+21,77 %). L'étude de Faghy *et al.* (47) réalisée sur dix-neuf hommes sains, en bonne santé, actifs et habitués à l'activité avec port de charge. Après six semaines d'un protocole de renforcements de deux fois 30 cycles respiratoires à 59 % de la P_i max, il a été observé l'atténuation des réactions cardiovasculaires et perceptuelles à un exercice, une amélioration des performances lors des essais de course avec un sac à dos de 25kg et une absence de réduction de la P_i max induite par la fatigue après un exercice avec port de charge. D'autres protocoles existent et ont montré les effets bénéfiques du renforcement des muscles inspireurs. Segizbaeva *et al.* (24) effectuent une étude sur des sujets sains qui sera reprise par Guyot.S (48) sur des sujets sportifs. Sperlich (39) effectue une étude sur une population de militaire. Raab *et al.* (49) sur des patients atteints de lésion de la moelle épinière. Pour obtenir un effet bénéfique sur le renforcement des muscles inspireurs, il faut que l'effort soit supérieur à 50 % de la P_i max du sujet (50). Les programmes de quatre à huit semaines ont montré leur efficacité dans plusieurs études (24,27,38,48).

2.4.2. Outils de renforcement

Afin de permettre le renforcement résistif des muscles inspireurs, différents outils existent : Powerbreathe®, le Threshold IMT® ou encore le Powerlung® (38). Lors de notre étude, le matériel de renforcement utilisé est le Powerbreathe®. Il permet un renforcement des muscles inspireurs en induisant une résistance continue à l'inspiration et est réglable en fonction de la Pi max mesurée chez chaque sujet. Le choix d'utiliser un Powerbreathe® plutôt qu'un autre appareil a été motivé par le fait que les sujets de notre population cible se rapproche plus de sportifs que de patients atteints de pathologies respiratoires. C'est pourquoi le Thresold IMT® (38) et le Powerlung® ont été écartés. Il est simple d'utilisation, facilement transportable et son prix nous permettait d'en fournir un à chaque participant du GP offrant de meilleures conditions sanitaires et favorisant le travail en autonomie, à distance, sans contraintes de déplacement ou d'horaires. Chaque sujet était alors autonome quant au moment opportun de sa journée dédié à la réalisation du protocole. Notre budget restreint alloué à l'achat des outils de renforcement nous a permis de réaliser l'étude sur un groupe de dix personnes (cinq effectuant le protocole et cinq témoins). Il existe différents modèles de Powerbreathe® permettant d'adapter la résistance en fonction des capacités de chacun. Afin de se rapprocher le plus possible des conditions de réalisation du protocole de Kellens *et al.* (38) dont nous tirons notre protocole de renforcement, nous avons contacté l'un des auteurs qui nous a fourni les références de l'appareil utilisé. Nous utiliserons le Powerbreathe® Plus Heavy resistance (Fig.7)(ANNEXE V). Pour un meilleur suivi des participants du groupe « renforcement » travaillant en autonomie, un journal de suivi (ANNEXE IV) leur était fourni. Il est à remplir quotidiennement en s'assurant de l'état de l'appareil, de la résistance appliquée ainsi que le nombre de séances réalisées et le ressenti lors de la séance.



Figure 7 : Photographie du Powerbreathe® Plus Heavy resistance.

2.4.3. Protocole de renforcement proposé aux sujets de l'étude

Afin d'élaborer ce protocole, nous avons suivi la « traduction française des lignes directives CONSORT pour l'écriture et la lecture des essais contrôlés randomisés » (52) en essayant de remplir tous les critères.

Notre protocole de renforcement consiste à effectuer quatre semaines de renforcement des muscles inspirateurs à l'aide du Powerbreathe® induisant une résistance lors de l'inspiration. Chaque sujet réalisera 2 fois par jour 30 cycles respiratoires découpés en six séries de cinq inspirations et expirations avec 45 secondes de récupération entre chaque série, ainsi qu'un repos de 30 minutes après les 30 premières inspirations. Les exercices s'effectuaient debout. Les consignes étaient de vider lentement ses poumons, au maximum avant chaque inspiration en détendant la poitrine et les épaules. L'inspiration devait être rapide et se faire par voie buccale, rapidement et énergétiquement afin d'inspirer le maximum d'air le plus rapidement possible en redressant le dos et gonflant la poitrine. La résistance appliquée à l'inspiration sera continue à l'inspiration au cours des quatre semaines et réglée à 85-90 % de la P_i max individuelle (Tableau II). Le tableau de la page 14 du manuel de l'appareil (ANNEXE V) donnait les résistances en cmH_2O correspondant aux graduations présentes sur l'appareil. Le choix de ce protocole de renforcement se base sur l'étude de Kellens *et al.* (38) qui s'effectuait sur une période de huit semaines. Or, de nombreux éléments ont conduit à réduire le temps de ce protocole à quatre semaines. Tout d'abord, dans la littérature, les programmes résistifs de quatre à huit semaines sont admis comme permettant d'augmenter de manière significative la fonction musculaire respiratoire chez des sujets sains (27). De plus, lors de l'étude de Kellens *et al.* (38) les bénéfices les plus significatifs ont été enregistrés à l'issue de quatre semaines de renforcement. La période de renforcement de quatre à huit semaines a montré un bénéfice mais moins important. Afin d'augmenter le nombre de volontaires de l'étude et d'éviter les perdus de vue par perte de motivation ou de temps, quatre semaines nous ont semblé plus réaliste qu'une période plus longue. Enfin, au vu du calendrier de temps imparti au mémoire, le recueil et l'exploitation correcte des données, il nous a semblé plus judicieux d'adopter un programme de renforcement sur quatre semaines.

Les sujets du GP ont été reçus en entretien individuel afin de leur présenter l'appareil de renforcement (Fig.6)(ANNEXE V), le carnet de suivi (ANNEXE IV) et le protocole de renforcement (ANNEXE IV). Lors de cet entretien, nous avons réglé le Powerbreathe® Plus à

85-90 % de leur Pi max individuelle. De plus, nous avons expliqué aux sujets quels sont les muscles respiratoires et l'intérêt de les renforcer pour la pratique du métier de SP dans le but de les faire adhérer au protocole et d'obtenir une meilleure observance. Enfin, les sujets ont effectué quatre semaines de protocole de renforcement.

Tableau II : Réglage du Powerbreathe® Plus Heavy résistance à 85-90% de la Pi max individuelle du GP.

N°d'anonymat	85% Pi max (pré-protocole)	90% de Pimax (pré-protocole)	réglage du Powerbreathe (pré-protocole)
3	66,3	64,8	1,5
6	55,67	58,95	1,25
7	97,32	103,5	3
8	98,6	104,4	3
9	76,5	81	2,25

Pour le GC aucun changement d'habitude ne leur a été demandé. Ils n'effectuaient pas le protocole de renforcement et n'étaient pas sensibilisés à son intérêt afin de ne pas les influencer dans leur quotidien ou lors des mesures post-protocoles.

2.5. Mesures

Afin de connaître les caractéristiques de la population et d'évaluer l'efficacité du protocole sur l'aisance et les capacités respiratoires des SP lors de missions sous ARICO, différentes mesures ont été recueillies.

2.5.1. Questionnaire pré-protocole et consentement

Dans un premier temps tous les participants ont été convoqués à l'UO-BEF où ils ont signé le formulaire de consentement libre et éclairé (ANNEXE IV) et répondu volontairement au questionnaire pré-protocole (ANNEXE IV). Les items portaient sur l'identité du sujet, ses caractéristiques biométriques (âge, taille, poids), ses antécédants médico-chirurgicaux, son grade et son ancienneté dans le métier de SP et sur sa pratique d'activité sportive. Il était demandé si les éléments suivants avaient été rencontrés au cours des deux derniers mois : exposition aux fumées, nombre de départ en intervention incendie, et nombre de fois où l'ARICO a été porté lors de ces interventions. Des questions portaient également sur leurs connaissances du renforcement des muscles respiratoires et leur ressenti lors du port de l'ARICO. Ce questionnaire a été anonymisé et les résultats se trouvent en ANNEXE IX. Il nous

a permis, par des informations concernant la santé et la carrière des participants, d'exclure les volontaires ne correspondant pas aux critères d'inclusion de l'étude.

2.5.2. Aisance lors des interventions

Afin de mesurer l'aisance des SP lors d'intervention avec port de l'ARICO, les participants ont procédé à un test mimant les conditions d'interventions d'une opération de feu de structure sous port de l'ARICO. Cette manœuvre (ANNEXE VI) validée par le SDIS-57 est nommée « établissement d'une lance au moyen de l'échelle à coulisse ». Afin de de s'apparenter le plus possible aux conditions de stress physique et psychologique subies par les SP lors d'une intervention nous avons en plus de cette manœuvre ajouté quelques éléments. Tout d'abord, pour mimer le moment où le SP est alerté du départ en mission et se rend en courant vers le véhicule d'intervention, nous avons demandé aux sujets de réaliser 5 tours du fourgon pompe tonne soit un équivalent de 150m. Cette course est effectuée en tenue F1 (ANNEXE I). Puis le SP s'équipe de sa tenue feu urbain complète (ANNEXE I), l'ARICO est porté mais non capelé (sans mettre la pièce faciale et sans brancher la SAD). Il se munit de l'échelle à coulisse, se rend au pied du sinistre, dresse l'échelle, déroule son tuyau, raccorde sa lance à son tuyau, passe le tuyau entre ses jambes et monte l'échelle jusqu'au premier étage. Arrivé à l'étage il franchit la fenêtre, hisse un tuyau jusqu'à l'étage (effectue sa réserve), effectue un passage de porte, rentre dans la pièce du sinistre, parcourt 5m, passe sous un obstacle, parcourt 10m, trouve la victime de 80kg, la tracte hors de la pièce sur 15m avec un passage sous un obstacle. La manœuvre s'arrête là, le SP décaple son ARICO, ferme la bouteille et repasse prendre les mesures.

Afin de mesurer l'aisance lors des interventions nous avons souhaité prendre en compte leurs paramètres vitaux, la mesure de la pénibilité de l'effort, les sensations rapportées, le temps et la consommation d'air pour effectuer la manœuvre.

2.5.2.1. Pénibilité de l'effort

La pénibilité de l'effort a été mesurée directement après la manœuvre, de façon objective, à l'aide d'une échelle de Borg modifiée (ANNEXE VII), lors d'un entretien individuel. L'échelle de mesure était présentée sous forme de tableau (ANNEXE VII) et expliquée au sujet

selon un protocole standardisé (ANNEXE VII) afin de s'assurer de la bonne compréhension de chaque sujet et ainsi éviter les biais de compréhension ou d'interprétation.

2.5.2.2. Sensations rapportées

À l'issu de la mesure de la pénibilité de l'effort, un entretien individuel a permis de recueillir leur perception de la pénibilité de l'effort à fournir lors du port de l'ARICO ainsi que les sensations respiratoires, la fatigue et la confiance à partir sur une intervention nécessitant le port de l'ARICO (ANNEXE VIII). Les SP s'exprimaient librement avec leurs mots.

2.5.2.3. Consommations et temps

La pression de la bouteille d'ARICO était prise avant et après l'exercice. Le temps total de la manœuvre et le temps de respiration sous ARICO étaient chronométrés. Cela permet de connaître le temps mis pour effectuer le parcours et la consommation d'air de chaque sujet (ANNEXE IX).

2.5.2.4. Paramètres vitaux

Les paramètres vitaux des participants ont été mesurés sujets allongés après qu'ils aient passé cinq minutes dans un lieu calme, à température ambiante (21°). Puis repris une minute et dix minutes après la manœuvre. La Fr était mesurée manuellement, l'opérateur posait sa main sur le ventre du participant et à l'aide d'un chronomètre, comptait le nombre de cycles respiratoires sur une minute. La fréquence cardiaque (Fc), et la saturation pulsée en oxygène à l'air libre (SpO₂) étaient mesurées à l'aide d'un oxymètre de pouls. La pression artérielle (PA) était mesurée à l'aide d'un tensiomètre électrique.

2.5.3. Mesures respiratoires objectives

Les mesures respiratoires objectives ont été réalisées au cabinet de masso-kinésithérapie libérale. Les participants ont reçu pour consigne de venir en tenue F1 et d'apporter avec eux leur tenue feu urbain complète (ANNEXE I).

En se basant sur les recommandations de l'American Thoracic Society, de l'European Respiratory Society (53) et de l'Assurance Maladie (54). Il était demandé aux participants avant les tests de ne pas boire d'alcool quatre heures avant, de ne pas manger de repas lourd deux heures avant, de ne pas fumer dans l'heure qui précède et de ne pas faire d'exercice intense trente minutes avant (14,17,53,55). Les tests étaient effectués dans une salle calme, confortable et isolée des autres sujets, la température ambiante était de 21°C. Le sujet était assis droit sur une chaise avec accoudoirs, sans roues et à une hauteur lui permettant d'avoir les pieds à plat au sol, les épaules légèrement en arrière, le menton surélevé et le sujet tenait lui-même l'appareil de mesure. Le participant avait à sa disposition de l'eau potable ainsi que des mouchoirs et des serviettes en papiers. Un pince nez était fourni afin de limiter les fuites d'air par le nez. Afin d'éviter la transmission d'infection et de bactéries, virus ou micro-organismes entre les sujets, des précautions ont été prises. Il s'agissait pour l'opérateur de porter de nouveaux gants à usage unique et de se laver les mains entre chaque sujet. Le sujet se désinfectait également les mains avant d'effectuer les tests. Des embouts jetables étaient utilisés et changés entre chaque sujet pour le Spirobank II mir®. Pour le PowerBreath KH1 Médical® l'embout était scrupuleusement désinfecté entre chaque participant. Le pince nez était désinfecté entre chaque sujet.

2.5.3.1. Force des muscles inspireurs

La force des muscles respiratoires peut se mesurer indirectement par la variation des pressions au niveau de la bouche, du nez, de l'œsophage ou du diaphragme (56). Il est possible de mesurer ces pressions par des mesures volontaires correspondant à la mesure globale des muscles respiratoires. Il est également possible de mesurer la pression par des mesures involontaires par stimulation permettant la mesure d'un muscle spécifique (57). La force des muscles respiratoires peut également se mesurer à travers les variations de volumes pulmonaires et thoraciques. Différents instruments de mesures existent : capteurs de pression, sondes de mesure et différents tests existent : invasifs ou non. Dans le cadre de notre mémoire, afin de mesurer la pression buccale maximale à l'inspiration et les volumes pulmonaires, nous avons utilisé des appareils de mesures non invasifs. Les appareils utilisés sont facilement transportables et bien tolérés par les patients. Ils demandent cependant la pleine coopération du patient, sa compréhension et sa motivation à réaliser un effort maximal, un équipement régulièrement contrôlé et étalonné ainsi qu'une absence de fuite lors de l'introduction de l'embout buccal par le patient.

2.5.3.2. Pi max

L'un des critères de mesure objectif retenu pour cette étude était la Pi max car elle reflète la force des muscles inspireurs et sa diminution est l'indicateur le plus sensible de la fonction et de la faiblesse des muscles respiratoires (49). Afin de mesurer la Pi max sans être invasif, l'appareil utilisé était le PowerBreath® KH1 Médical. L'unité de mesure est le cmH₂O. Les mesures ont été effectuées en tenue F1 cinq fois (58) et la meilleure était retenue. Après une pause de cinq minutes, les sujets s'équipaient de leur tenue de feu urbain complète ainsi que de l'ARICO qu'ils ajustaient de façon optimale sans le capeler. Ils effectuaient à nouveau les mesures dont la meilleure était retenue. La mesure a débuté à la capacité de réserve fonctionnelle afin de ne pas prendre en compte la pression de rétraction élastique des poumons (38). La dépression inspiratoire devait être maintenue une seconde. Le sujet mettait le pince nez, prenait l'appareil dans les mains, mettait l'embout buccal en prenant soin de ne pas laisser de fuite, vidaient leurs poumons puis inspirait le plus fort possible. Les encouragements étaient les mêmes pour tous : « allez ! » et s'accompagnaient de gestes des bras de l'opérateur vers le haut.

2.5.3.3. Ampliation thoracique

La capacité des muscles à se raccourcir se mesure par les changements de volumes pulmonaires et thoraciques. L'ampliation thoracique correspond à la différence entre le diamètre thoracique à la fin de l'inspiration maximale et de l'expiration maximale. Afin de prendre ces mesures, nous avons utilisé un mètre ruban gradué en cm. Les sujets étaient assis sur une chaise, pieds à plat au sol, bras pendant le long du corps. Le protocole de mesure se base sur celui de l'étude de Reggiori (59) également repris dans l'étude de P.Gouilly *et al.* (2009)(60). Les repères anatomiques étaient le pli axillaire et le périmètre xiphœdien. Les mesures étaient réalisées au repos lors de l'inspiration et de l'expiration complète et maximale. Les consignes données étaient standardisées : « inspirez lentement par le nez et poussez sur le mètre en gonflant les poumons au maximum » puis « soufflez fort par la bouche et décollez-vous du mètre en vidant les poumons ». Un repos de 30 secondes était octroyé entre chaque mesure. Aucune consigne de respiration particulière n'était donnée. Les encouragements étaient standardisés : « allez ! » « encore ! » et s'accompagnaient de mouvements gestuels de l'opérateur : bras en ouverture pour l'inspiration maximale et en fermeture pour l'expiration maximale. Nous mesurons le périmètre axillaire en inspiration

maximale (AXI) et en expiration maximale (AXE) permettant de nous donner la différence « DIFF Ax » correspondant à l'expansion thoracique au niveau axillaire. Puis le périmètre xyphoïdien en inspiration maximale (XYI) et en expiration maximale (XYE) nous donnant la différence « DIFF Xy » correspondant à l'expansion thoracique au niveau xiphoïdien.

2.5.3.4. Spirométrie

Il s'agit d'un examen non invasif, indolore et sans danger. Il permet l'évaluation, en fonction du temps, des volumes pulmonaires maximum d'inspiration et d'expiration ainsi que des débits expiratoires forcés, volontaires et maximaux (61). L'instrument de mesure utilisé est le Spirobank II Mir® (Fig.8). Le déroulé du protocole de mesure était expliqué préalablement à chaque sujet selon les recommandations de l'Assurance Maladie (54). Ainsi pour la mesure des volumes pulmonaires, les explications suivantes étaient données : « enlever de votre bouche tout élément étranger (chew-gum, piercing) et asseyez-vous. Nous allons évaluer vos volumes et débits pulmonaires. Commencez par mettre le pince nez. Mettez l'embout de l'appareil dans votre bouche, derrière vos dents et vos lèvres en prenant soin de bien occluer votre bouche autour de l'embout afin de ne pas permettre de fuite d'air. N'occluez pas la valve de sortie d'air de l'appareil. Respirez d'abord tranquillement, puis, quand je vous donnerai le signal vous expirez lentement à fond afin de vider vos poumons au maximum, puis, une fois la phase expiratoire terminée vous inspirerez lentement le plus d'air possible afin de gonfler vos poumons au maximum ». Les informations leurs étaient réitérées au fur et à mesure de la manœuvre. Des encouragements standardisés étaient donnés à tous par le même opérateur : « allez ! » « encore ! » et s'accompagnaient de gestes des bras de l'opérateur en l'élévation pour l'inspiration maximale et en abaissement pour l'expiration maximale. Le sujet mettait alors l'embout jetable dans sa bouche en prenant soin de ne pas laisser de fuite d'air. L'opérateur lui indiquait alors qu'il pouvait respirer normalement. Puis lorsque l'appareil le signalait, il indiquait au sujet qu'il devait lentement vider ses poumons le plus possible et enfin une fois l'expiration maximale atteinte, inspirer lentement le plus d'air possible. Dans un second temps, la mesure des débits expiratoires forcés a été réalisée. Les consignes suivantes ont été données: « inspirez le plus d'air possible, puis vous soufflez aussi fort et aussi longtemps que vous le pouvez. Le but est de vider complètement vos poumons, pour évaluer les débits expiratoires. L'appareil mesure la quantité d'air que vous expirez, et la vitesse à laquelle vous le faites. Une fois que vous aurez vidé complètement vos poumons vous prendrez une grande inspiration le plus vite et le plus fort possible ». Ces mesures ont

été réalisées trois fois en tenue F1 et trois fois en tenue feu urbain avec port de l'ARICO sans le capeler. A chaque fois, la meilleure mesure était retenue.

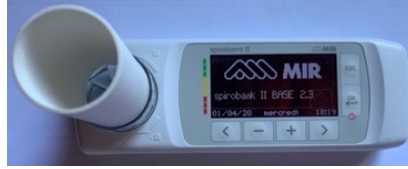


Figure 8: Photographie du Spirobank ® II Mir.

2.5.4. Autres mesures

La taille des sujets a été mesurée grâce à un mètre gradué fixé au mur. Le sol était plat. Les sujets étaient pieds nus. Le poids du sujet a été mesuré à l'aide d'une balance, pieds nus, en tenue F1 sans bottes (ANNEXE I).

2.6. Exploitation des données

Lors de la réalisation de ce mémoire, des documents fournis et de l'exploitation des données, nous avons suivi les recommandations de déontologie et bonnes pratiques en épidémiologie (version Française) de 2007 de ADELFI-EPITER-AEEMA-ADEREST (62). Les données ont été anonymisées, les résultats individuels ont été communiqués aux participants souhaitant les recevoir, les explications étaient claires et les participants étaient informés de leur droit de rétractation à l'étude ainsi que de la suppression de leurs données (ANNEXE III).

Les données spirométriques ont été recueillies dans le logiciel Winspiro®. Toutes les données brutes ont été enregistrées sur le logiciel de traitement des données Microsoft Excel®. Après les avoir anonymisées, nous avons procédé au calcul des moyennes, écart-types, quartiles, valeurs minimales et maximales, médianes, sommes et effectifs. Ces exploitations nous ont permis de vérifier qu'aucune donnée ne manquait par la vérification de l'effectif total (n=10), ainsi que le bon report des mesures grâce notamment à la vérification des valeurs minimales et maximales ainsi que de l'écart-type. Ce logiciel nous a également permis de réaliser les différents graphiques présentés dans ce mémoire (ANNEXE IX). Les calculs statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel BiostaTGV (63). Le diagramme de décision disponible sur ce logiciel nous a permis de choisir le test à utiliser. Pour la comparaison entre les deux groupes ; la faible taille de la population et les données indépendantes ne suivant pas la loi normale nous orienterons vers un test de Mann-Whitney

pour les données quantitatives et un test exact de Fisher pour les données qualitatives. Pour la comparaison pré et post-protocole de chaque groupe, les groupes de faible échantillon et les données appariées nous orienterons vers un test des rangs signés Wilcoxon pour les données quantitatives et un test exact de Fisher pour les données qualitatives.

3. RÉSULTATS

3.1. Mesures pré-protocoles de renforcement

3.1.1. Questionnaire pré-protocole de renforcement

Outre les mesures biométriques et les activités sportives de chaque participant, le questionnaire pré-protocole a permis de mettre en évidence le parcours professionnel. Le GP avait une moyenne de $11,2 \pm 6,83$ années d'anciennetés (tableau I) et se composait (du moins au plus gradé) d'1 sapeur première classe, de 2 caporaux, d'1 sergent et d'1 adjudant-chef. Le GC avait une moyenne de $3,1 \pm 1,52$ années d'anciennetés (tableau III) et se composait d'1 sapeur seconde classe, de 3 sapeurs première classe et d'1 caporal.

Le questionnaire comportait un item sur l'état des connaissances des muscles inspireurs, les méthodes de renforcement ainsi que sur l'exposition aux fumées et leurs interventions incendies au cours des 2 derniers mois. Seul 1 (du GP) des 10 participants avait connaissance des muscles inspiratoires et aucun ne réalisait des exercices dans le but de les renforcer. Dans le GP, 3 sur 5 déclaraient avoir été exposés aux fumées au cours des 2 derniers mois, ils étaient partis en moyenne $1,60 \pm 1,52$ fois en intervention incendie, avaient porté $0,40 \pm 0,55$ fois l'ARICO et ils avaient eu à diriger les opérations de secours incendies $0,40 \pm 0,90$ fois au cours des deux derniers mois (1 avait eu à diriger 2 fois les opérations). Dans le GC, aucun ne déclarait avoir été exposé aux fumées aux cours des deux derniers mois. Ils étaient partis en moyenne $1,40 \pm 3,85$ fois en intervention incendie, avait porté $0,80 \pm 0,84$ fois l'ARICO et aucun n'a eu à diriger les opérations de secours incendies lors d'intervention au cours des 2 derniers mois.

Lors de ce questionnaire, nous avons également demandé de décrire leur ressenti lors du port de l'ARICO. Tous ont parlé du poids important de la charge thoracique qu'impose

l'ARICO. Quatre du GP et deux du GC ont mentionné la gêne qu'il occasionne lors de la mobilisation et du mal de dos qu'il entraîne. Une personne du GP a mentionné la gêne oculaire lors du port de la pièce faciale (ANNEXE VIII). Une personne du GP et une du GC ont mentionné le gêne respiratoire en parlant d'un essoufflement plus rapide, d'une respiration plus profonde et de cycles respiratoires allongés et de l'apparition précoce de fatigue.

Tableau III: Réponses moyennes par groupe sur l'exposition aux fumées au cours des deux derniers mois lors du questionnaire pré-protocole.

Variables	groupes		P
	Groupe « protocole »	Groupe « contrôle »	
Composition des groupes	1 sapeur première classe 2 caporaux 1 sergent 1 adjudant-chef	1 sapeur seconde classe 3 sapeurs première classe 1 caporal	0,57
Connaissance sur les muscles inspireurs et les méthodes de renforcement	1/5	0/5	1
Réalisation d'exercice pour renforcer les muscles inspireurs	0/5	0/5	1
Nombre d'exposition aux fumées au cours des deux derniers mois	3/5	0/5	0,17
Nombre de fois partie en intervention incendie au cours des deux derniers mois	1,60 ± 1,52	1,40 ± 3,85	0,04
Nombre de fois où l'ARICO a été porté au cours des deux derniers mois	0,40 ± 0,55	0,80 ± 0,84	0,45
Nombre de fois à avoir dirigé les opérations de secours lors d'une intervention incendie au cours des deux derniers mois	0,40 ± 0,90	0,00 ± 0,00	0,42

3.1.2. Aisance

3.1.2.1. Pénibilité de l'effort

Avant le protocole de renforcement la moyenne de la pénibilité de l'effort mesurée à l'aide d'une échelle de Borg modifiée (ANNEXE VII) était de $6 \pm 1,06$ dans le GP ce qui correspond à une difficulté comprise entre « difficile » et « très difficile », le minimum était de 4,5 et le maximum de 7. La moyenne du GC était de $3,1 \pm 0,89$ ce qui correspond à une difficulté « moyenne », le minimum était de 2 et le maximum de 4,5.

Tableau IV: Notes moyennes par groupe données à l'échelle de Borg modifiée (pré-protocole).

	Groupe « protocole »	Groupe « contrôle »	p
Notes moyennes à l'échelle de Borg modifiée	$6 \pm 1,06$	$3,1 \pm 0,89$	0,01

3.1.2.2. Sensations rapportées

Lors de l'entretien individuel, les perceptions les plus couramment décrites (ANNEXE VIII) étaient le poids important de l'appareil, les efforts supplémentaires imposés au corps, les difficultés respiratoires, la modification de la respiration, l'essoufflement, la restriction de mouvement, la fatigue, le stress, le manque de force physique, les vertiges, transpiration, la difficulté à se mouvoir, la perturbation de l'équilibre et l'augmentation du périmètre thoracique.

3.1.2.3. Consommation et temps

La différence entre la pression initiale et la pression finale dans la bouteille lors de la manœuvre pré-protocole (Tab.V) était de $117,00 \pm 49,70$ bar dans le GP et de $106,00 \pm 17,82$ bar dans le GC. Le temps moyen sous ARICO est de $6,20 \pm 1,26$ minutes dans le GP et de $7,00 \pm 1,00$ minutes dans le GC. La consommation moyenne lors de la manœuvre pré-protocole était de $114,44 \pm 48,18$ L/min dans le GP et de $97,07 \pm 15,17$ L/min dans le GC.

Tableau V: Moyennes de temps, différence de pression et consommation d'air par groupe lors de la manœuvre pré-protocole.

	Groupe « protocole »	Groupe « contrôle »	p
Différence entre la pression initiale et finale dans la bouteille d'air (bar)	$117,00 \pm 49,70$	$106,00 \pm 17,82$	0,53
Temps sous ARICO capelé (min)	$6,20 \pm 1,26$	$7,00 \pm 1,00$	0,24
Consommation (L/min)	$114,44 \pm 48,18$	$97,07 \pm 15,17$	0,40

3.1.2.4. Paramètres vitaux

Lors de la mesure des paramètres vitaux (Tab.VI), nous observons une fréquence cardiaque (Fc) moyenne au repos de $72,60 \pm 11,01$ battements par minute (bpm) pour le GP et de $78,40 \pm 21,86$ bpm pour le GC. Une minute après la manœuvre $127,80 \pm 4,97$ bpm pour le GP et $119,60 \pm 26,72$ pour le GC. Dix minutes après la manœuvre $105,20 \pm 7,12$ bpm pour le GP et $95,00 \pm 22,12$ bpm pour le GC. La fréquence respiratoire (Fr) moyenne au repos est de $14,60 \pm 2,70$ cycles par minute pour le GP et de $15,00 \pm 3,00$ cycles par minutes pour le

GC. Une minute après la manœuvre $22,80 \pm 5,54$ cycles par minutes pour le GP et $23,40 \pm 8,20$ cycles par minutes pour le GC. Dix minutes après la manœuvre $16,20 \pm 5,26$ cycles par minutes pour le GP et $15,00 \pm 2,55$ cycles par minutes pour le GC. La saturation pulsée en oxygène (SpO_2) moyenne au repos est de $97,60 \pm 0,89$ % pour le GP et de $98,40 \pm 1,67$ % pour le GC. Une minute après la manœuvre $96,20 \pm 0,45$ % pour le GP et $97,20 \pm 1,30$ % pour le GC. Dix minutes après la manœuvre $96,20 \pm 0,45$ % pour le GP et $97,20 \pm 0,84$ % pour le GC. La pression artérielle systolique (PAS) moyenne au repos est de $131,60 \pm 14,62$ mmH₂O pour le GP et de $132,20 \pm 10,76$ mmH₂O pour le GC. Une minute après la manœuvre $140,00 \pm 18,10$ mmH₂O pour le GP et $137,40 \pm 16,53$ mmH₂O pour le GC. Dix minutes après la manœuvre $119,20 \pm 9,78$ mmH₂O pour le GP et $131,20 \pm 18,54$ mmH₂O pour le GC. La pression artérielle diastolique moyenne (PAD) au repos est de $80,20 \pm 13,57$ mm H₂O pour le GP et de $88,80 \pm 9,31$ mm H₂O pour le GC. Une minute après la manœuvre $84,40 \pm 8,44$ mm H₂O pour le GP et $81,40 \pm 9,04$ mm H₂O pour le GC. Dix minutes après la manœuvre $76,40 \pm 3,91$ mm H₂O pour le GP et $86,60 \pm 8,50$ mm H₂O pour le GC. La saturation pulsée en oxygène (SpO_2) moyenne au repos est de $97,60 \pm 0,89$ % pour le GP et de $98,40 \pm 1,67$ % pour le GC. Une minute après la manœuvre $96,20 \pm 0,45$ mm H₂O pour le GP et $97,20 \pm 1,30$ mmH₂O pour le GC. Dix minutes après la manœuvre $96,20 \pm 0,45$ mmH₂O pour le GP et $97,20 \pm 0,84$ mmH₂O pour le GC.

Tableau VI: Moyennes des paramètres vitaux par groupe recueillis lors de la manœuvre pré-protocole.

	Au repos			Une minute après la manœuvre			Dix minutes après la manœuvre		
	Groupe «protocole»	Groupe «contrôle»	p	Groupe «protocole»	Groupe «contrôle»	p	Groupe «protocole»	Groupe «contrôle»	p
Fréquence cardiaque moyenne (bpm)	72,60 ± 11,01	78,40 ± 21,86	0,53	127,80 ± 4,97	119,60 ± 26,72	1	105,20 ± 7,12	95,00 ± 22,12	0,53
Fréquence respiratoire moyenne (cycles par minute)	14,60 ± 2,70	15,00 ± 3,00	0,92	22,80 ± 5,54	23,40 ± 8,20	1	16,20 ± 5,26	15,00 ± 2,55	0,92
Pression artérielle systolique (mmH ₂ O)	131,60 ± 14,62	132,20 ± 10,76	0,53	140,00 ± 18,10	137,40 ± 16,53	1	119,20 ± 9,78	131,20 ± 18,54	0,46
Pression artérielle diastolique (mmH ₂ O)	80,20 ± 13,57	88,80 ± 9,31	0,46	84,40 ± 8,44	81,40 ± 9,04	0,55	76,40 ± 3,91	86,60 ± 8,50	0,94
Saturation pulsée en oxygène (%)	97,60 ± 0,89	98,40 ± 1,67	0,41	96,20 ± 0,45	97,20 ± 1,30	0,19	96,20 ± 0,45	97,20 ± 0,84	0,07

3.1.3. Force

3.1.3.1. Pression inspiratoire maximale

Lors des mesures des Pi max avec et sans ARICO pré-protocoles (Tab.VII) nous observons que la moyenne de la Pi max du GP était de $92,60 \pm 22,29$ cm H₂O sans le port de l'ARICO et $81,60 \pm 19,40$ cm H₂O avec port de l'ARICO soit une diminution de la pression inspiratoire de $11,86 \pm 1,87$ % lors du port de l'ARICO. Pour le GC la moyenne de la pression inspiratoire maximale était de $103,40 \pm 25,33$ cm H₂O sans le port de l'ARICO et $94,20 \pm 26,49$ cm H₂O avec port de l'ARICO soit une diminution de la pression inspiratoire de $9,54 \pm 3,51$ % lors du port de l'ARICO. Il est à noter que les femmes avaient une Pi max inférieures (moyenne sans ARICO de $83,67 \pm 26,50$ cm H₂O et de $70,00 \pm 26,899$ cm H₂O avec ARICO) aux hommes (moyenne sans ARICO de $104,14 \pm 20,66$ cm H₂O et de $94,14 \pm 20,92$ cm H₂O avec ARICO) et les fumeurs avaient une Pi max inférieure aux non-fumeurs.

Tableau VII: Moyennes des pressions inspiratoires maximales avec et sans port de l'ARICO et du taux de variation par groupe (pré-protocole).

	« Protocole »	« Contrôle »	p
Pi max moyen sans port de l'ARICO (cm H ₂ O)	$92,60 \pm 22,29$	$103,40 \pm 25,33$	0,55
Pi max moyen avec port de l'ARICO (cm H ₂ O)	$81,60 \pm 19,40$	$94,20 \pm 26,49$	0,55
Taux de variation de la Pi max sans et avec ARICO (%) ($\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100$)	$-11,86 \pm 1,87$	$-9,54 \pm 3,51$	0,22

3.1.3.2. Ampliation thoracique

Lors des mesures de l'ampliation thoracique pré-protocoles (Tab.VIII) nous observons dans le GP une moyenne de l'AXI est de $99,50 \pm 6,48$ cm et de $95,00 \pm 6,08$ cm pour l'AXE soit une ampliation thoracique moyenne de $4,50 \pm 1,66$ cm. Pour le GC la de l'AXI est de $103,40 \pm 3,2$ cm et $99,20 \pm 3,56$ cm pour l'AXE soit une ampliation thoracique moyenne de $4,20 \pm 0,84$ cm. Pour le GP la moyenne de l'XYI est de $96,00 \pm 7,35$ cm et de $91,60 \pm 8,14$ cm pour l'XYE soit une ampliation thoracique moyenne de $4,40 \pm 1,67$ cm. Pour le GC la moyenne de l'XYI est de $98,80 \pm 7,22$ cm et de $95,80 \pm 7,16$ cm pour l'XYE soit une ampliation thoracique moyenne de $3,20 \pm 0,84$ cm.

Tableau VIII : Moyennes des ampliatiions thoracique par groupe (pré-protocole).

	Groupe « protocole »	Groupe « contrôle »	p
AXI (cm)	99,50 ± 6,48	103,40 ± 3,21	0,21
AXE (cm)	95,00 ± 6,08	99,20 ± 3,56	0,24
DIFF Ax (cm)	4,50 ± 1,66	4,20 ± 0,84	1
XYI (cm)	96,00 ± 7,35	98,80 ± 7,22	0,67
XYE (cm)	91,60 ± 8,14	95,80 ± 7,16	0,46
DIFF Xy	4,40 ± 1,67	3,20 ± 0,84	0,28

3.1.4. Spirométrie

Avant le protocole de renforcement, les mesures spirométriques (Tab.IX) ont montré pour le GP un VEMS de $4,06 \pm 0,36$ L sans ARICO et de $3,80 \pm 0,36$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 6,50 %. Pour le GC le VEMS était de $3,88 \pm 0,36$ L sans ARICO et $3,79 \pm 0,36$ avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 2,32 %. La CVF du GP était de $4,69 \pm 0,41$ L sans ARICO et de $4,36 \pm 0,41$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 7,04 %. Pour le GC la CVF était de $4,41 \pm 0,41$ L sans ARICO et $4,43 \pm 0,41$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 0,45 %. Le DEP du GP était de $8,40 \pm 2,10$ L sans ARICO et de $7,74 \pm 2,15$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 7,86 %. Pour le GC le DEP était de $8,83 \pm 2,10$ sans ARICO et $8,23 \pm 2,15$ avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 6,80 %. La CVI du GP était de $4,67 \pm 0,36$ L sans ARICO et de $4,46 \pm 0,43$ avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 4,40 %. Pour le GC la CVI était de $4,48 \pm 0,36$ L sans ARICO et $4,32 \pm 0,23$ avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 3,57 %. Le VRE du GP était de $1,39 \pm 0,49$ L sans ARICO et de $1,29 \pm 0,54$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 7,20 %. Pour le GC la CVI était de $1,47 \pm 0,49$ L sans ARICO et $1,26 \pm 0,54$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 14,29 %. La CI du GP était de $3,28 \pm 0,48$ L sans ARICO et de $3,17 \pm 0,46$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 3,35 %. Pour le GC la CI était de $3,00 \pm 0,48$ L sans ARICO et $3,06 \pm 0,46$ L avec ARICO soit une augmentation lors du port de l'ARICO de 2,00 %. La CV du GP était de $4,67 \pm 0,36$ L sans ARICO et de $4,46 \pm 0,43$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 4,50 %. Pour le GC la CV était de $4,48 \pm 0,36$ L sans ARICO et $4,32 \pm 0,43$ L avec ARICO soit une augmentation lors du port de l'ARICO de 3,57 %. Le rapport Tiffneau du GP était de $86,62 \pm 4,51$ L sans ARICO et de $87,04 \pm 6,00$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 1,78 %. Pour le GC le rapport Tiffneau était de $88,00 \pm 4,51$ L sans ARICO et $85,72 \pm 6,00$ L avec ARICO soit une diminution lors du port de l'ARICO de 2,59 %.

Tableau IX: Moyennes de la spirométrie avec et sans port de l'ARICO et taux de variation (pré-protocole).

	Sans ARICO			Avec ARICO			Taux de variation sans et avec ARICO (%) $(\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100)$		
	Groupe «protocole»	Groupe «contrôle»	p	Groupe «protocole»	Groupe «contrôle»	p	Groupe « protocole »	Groupe « contrôle»	p
VEMS (L)	4,06 ± 0,36	3,88 ± 0,36	0,40	3,80 ± 0,36	3,79 ± 0,36	0,84	-6,40	-2,32	0,22
CVF (L)	4,69 ± 0,41	4,41 ± 0,41	0,42	4,36 ± 0,41	4,43 ± 0,41	1	-7,04	-0,45	0,15
DEP (L/sec)	8,40 ± 2,10	8,83 ± 2,10	0,69	7,74 ± 2,15	8,23 ± 2,15	0,84	-7,86	-6,80	1
CVI (L)	4,67 ± 0,36	4,48 ± 0,36	0,55	4,46 ± 0,43	4,32 ± 0,23	0,69	-4,50	-3,57	0,84
VRE (L)	1,39 ± 0,49	1,47 ± 0,49	1	1,29 ± 0,54	1,26 ± 0,54	0,92	-7,20	-14,29	0,84
CI (L)	3,28 ± 0,48	3,00 ± 0,48	0,42	3,17 ± 0,46	3,06 ± 0,46	0,84	-3,35	+2,00	0,69
CV (L)	4,67 ± 0,36	4,48 ± 0,36	0,55	4,46 ± 0,43	4,32 ± 0,43	0,69	-4,50	-3,57	0,84
Rapport Tiffneau (%)	86,62 ± 4,51	88,00 ± 4,51	0,84	87,04 ± 6,00	85,72 ± 6,00	0,69	-1,78	-2,59	0,55

3.2. Mesures post-protocole de renforcement

Après les quatre semaines de protocole de renforcement notre projet était d'effectuer à nouveau les mesures afin d'objectiver l'effet du protocole de renforcement sur la force des muscles inspirateurs, les capacités respiratoires et l'aisance lors des interventions avec port de l'ARICO. Cependant, à la date où nous devons effectuer les mesures (semaine du 23 mars 2020), la crise sanitaire majeure du virus covid-19 frappa notre pays, nous obligeant à reporter la prise de ces mesures. En effet, le pays mis sous confinement, limitant les déplacements au strict nécessaire dans le but de retarder la propagation de la pandémie ne nous a pas permis de réunir les sujets de l'étude afin d'effectuer les mesures et la manœuvre. De plus, le SDIS-57 avait proscrit toute manifestation ou regroupement autres que ceux imposés par nécessité de service. Dans ce contexte, soucieux de suivre les instructions et montrer l'exemple en tant que futur professionnel de santé ainsi que de garantir la sécurité des participants à l'étude nous avons décidé de suspendre la prise de mesure. De plus, protéger les SP, déjà en première ligne durant cette crise sanitaire nous est apparu comme évident. Après avoir expliqué aux participants les raisons nous poussant à repousser les mesures, soucieux de

continuer la progression du renforcement des muscles inspireurs, nous avons pris la décision de leur proposer de continuer le protocole de renforcement au-delà des quatre semaines initialement prévues. Nous avons espoir de pouvoir les réaliser une fois le confinement levé. Nous leur avons demandé leurs consentements à continuer le protocole. Le recueil du consentement était alors tout autant indispensable que leur décision devait se faire selon leur libre arbitre. Il leur a été demandé de stopper l'exercice s'ils présentaient des signes de contamination à cette pathologie (essoufflement, fièvre, toux...). Nous leur avons demandé de nous transmettre par mail les photocopies de leurs carnets de suivi et nous leur en avons retransmis un nouveau pour continuer le protocole. Lors de la récupération des carnets de suivi, nous nous sommes rendu compte qu'au bout de quatre semaines de renforcement, la charge résistive initialement imposée (85-90 % Pi max) aux sujets était devenue facile. Ne désirant pas laisser les sujets stagner à une charge résistive devenue trop faible mais ne pouvant mesurer à nouveau la Pi max pour chaque individu, nous avons demandé aux sujets d'augmenter la charge résistive du Powerbreathe à l'aide du protocole essais/erreurs décrit à la page 6 du livret d'instruction de l'appareil (ANNEXE V).

4. DISCUSSION

4.1. Analyse des résultats

L'absence de possibilité de réaliser les mesures post-protocoles afin de les comparer aux mesures pré-protocoles ne nous permet pas de démontrer si notre programme s'est avéré efficace pour améliorer la force des muscles inspireurs, l'aisance et les capacités vitales des SP lors de leurs missions sous ARICO. Nous pouvons cependant observer des différences entre les groupes avant le protocole de renforcement et les comparer aux données de la littérature. Nous décrivons les critères que nous aurions utilisés lors de la comparaison des résultats avant et après protocole pour vérifier l'efficacité de notre protocole.

4.1.1. Aisance

Lors de la mesure de la pénibilité de l'effort au moyen de l'échelle de Borg modifiée, nous observons que le GP donne une note moyenne significativement plus élevée que le GC ce qui montre que les participants du GP ont ressenti plus de difficulté lors de la

réalisation de la manœuvre. Ces difficultés supplémentaires se sont confirmées par la mesure des débits moyens d'air consommés où il est apparu que le GP consommait plus d'air alors qu'il avait mis moins de temps à réaliser le parcours que le GC. Ces résultats peuvent s'expliquer par les différences entre les deux groupes. En effet bien que seul le nombre d'années de service soit significativement différent entre les deux groupes ($0,01 < p < 0,05$) nous observons que le GP est plus âgé, plus grand, à plus d'années de service, contient plus de femme, est moins sportif, pèse moins lourd, a un IMC plus faible et contient moins de tabagiques que le GC (bien que les valeurs ne soient pas significativement différentes ($p > 0,1$)). L'âge plus avancé couplé à une activité physique ou sportive moins importante peut en partie expliquer ces résultats. Les années de service supplémentaires et l'expérience acquise par le GP leur donnaient une meilleure connaissance de la manœuvre leur permettant de l'effectuer plus rapidement que le GC moins expérimenté. Nous pourrions penser, qu'avec les années d'expérience, le SP acquiert une meilleure connaissance des modifications sensorielles induites par l'ARICO. Il développerait ainsi des méthodes d'adaptation lui permettant de réduire leurs interactions avec les facteurs individuels tel que le stress qui mène à l'augmentation de la Fr et de la consommation d'air. Cependant, plus le sujet est gradé, moins il a à porter l'ARICO car il prend le commandement des opérations lors d'une intervention. En général, plus le sujet est gradé plus il est âgé car l'obtention d'un grade s'acquiert avec les années d'expérience et de formation. Ce qui se vérifie dans notre population où les participants du GP avaient une moyenne d'âge plus élevée, plus d'années d'expérience et étaient plus gradés. La moins grande fréquence du port de l'ARICO, l'âge plus avancé et les conditions physiques plus défavorables au GC pourraient expliquer que le GP rencontre des difficultés plus importantes.

La liste des critères ci-dessous nous aurait permis d'objectiver l'efficacité de notre programme de renforcement des muscles inspireurs sur l'aisance des SP lors de leurs missions sous ARICO. Entre les mesures pré et post-protocoles :

- La diminution significative dans le GP de la note individuelle et de la moyenne des notes à l'échelle de Borg modifiée couplée à l'absence de modifications significatives de ces mesures pour le GC .
- Une diminution significative dans le GP des plaintes concernant l'ARICO couplée a une absence de modifications significatives dans le GC.
- La diminution significative dans le GP, du temps et de la consommation d'air lors de la manœuvre couplée a une absence de modifications significatives pour le GC. En effet, le

renforcement des muscles inspirateurs limitant les modifications de la mécanique ventilatoire et donc l'augmentation de la Fr lors d'un effort soutenu permet une consommation moins importante d'oxygène. Ce renforcement permet de retarder l'apparition de la fatigue et du métaboréflexe retardant ainsi l'apparition de fatigue des muscles locomoteurs plus à même de réaliser la manœuvre, ce qui permettrait de diminuer le temps de manœuvre.

- La diminution de la SPO_2 et de la Fr une minute après la manœuvre dans le GP devrait être significativement moins importante que dans le GC. Montrant ainsi l'adaptation des muscles respiratoires du GP à la surcharge par l'augmentation de leur force et de leur endurance. Il en résulte une diminution du recours à l'adaptation par modification de la mécanique ventilatoire (augmentation de la Fr et diminution de l'efficacité respiratoire objectivée par la SPO_2) lors d'effort soutenu. De plus, le GP aurait vu une moins grande variation de PA et PD que le GC ainsi qu'un moins grand pic de la Fc.

4.1.2. Capacités et force pulmonaire

Les résultats de la spirométrie ont montré que le GP avait un VEMS, une CVF, une CVI, une CI et un CV plus élevés que le GC. Cela malgré que leurs diamètres thoraciques étaient plus faible que le GC. Cela peut s'expliquer par la différence de taille entre les deux groupes.

Les résultats de la spirométrie confirment ceux recueillis lors des études sur les conséquences du port de charge thoracique (11,14,17,18). Elle montre que le port de l'ARICO, influe sur les volumes respiratoires en diminuant la CVF, le VEMS, la CVI, la CI, du rapport Tiffneau. Il est apparu que le GP avait subi une diminution plus importante du VEMS, CVF, DEP, CVI, CI, CV que le GC. Le GC avait subi une diminution plus importance du VRE et du rapport Tiffneau que le GP. Cependant, lors de notre étude, nous avons observé que le port de l'ARICO diminuait le VRE et en augmentait le DEP ce qui vient à l'encontre des études (11,14,17,18).

L'augmentation significative de la CV, CVF, CVI et CI dans le GP avec port de l'ARICO et l'absence de différence dans le GC auraient montré l'efficacité du programme de renforcement sur les muscles inspirateurs car l'augmentation de leur force leur aurait permis de lutter contre la charge thoracique induite par l'ARICO en raccourcissant leurs fibres, augmentant le volume thoracique et les volumes pulmonaires.

Il est apparu que le port de l'ARICO diminue les Pi max dans les deux groupes. Ces mesures viennent confirmer que la charge thoracique de l'ARICO entraîne une diminution de la force donc augmente la fatigue des muscles respiratoires. Le GP semble subir de manière plus importante les conséquences néfastes du port de charge thoracique que le GC. Il est apparu que la Pi max du GP était plus faible avec et sans ARICO que celle du GC et qu'elle subissait une plus grande diminution avec l'ARICO. Cela peut être dû au fait que la population du GP avait une moyenne d'âge plus élevée et incluait plus de femmes que le GC. Or les femmes ayant une Pi max plus faible que les hommes et la Pi max diminuant avec l'âge (58). Les muscles inspireurs du GP étaient moins forts que ceux du GC. Des muscles moins forts sont plus rapidement fatigables. La fatigue des muscles inspireurs induit une modification de la mécanique ventilatoire réduisant son efficacité. C'est ce que nous observons lors de la mesure de la SpO₂ où la diminution était plus marquée dans le GP que dans le GC.

L'exploitation des carnets de suivi a montré que, pour l'ensemble des sujets du GP, l'exercice considéré comme « difficile » au début et induisant des difficultés à effectuer l'ensemble des 60 inspirations quotidiennes contre résistance et des courbatures costales était devenu, au cours des séances « plus facile » jusqu'à devenir « trop facile ». De plus, à l'issue du protocole de renforcement, il a été demandé aux sujets de l'étude d'augmenter la charge imposée par la méthode d'essai erreur indiquée sur le guide d'utilisation du Powerbreathe® Plus (ANNEXE V). Tous ont réussi à augmenter la résistance. Cela montre une adaptation des muscles inspireurs à la charge imposée. Nous pouvons alors émettre l'hypothèse que les muscles inspireurs se sont renforcés et donc que la Pi max individuelle a augmenté.

L'augmentation significative de la force objectivée par l'augmentation dans le GP de la Pi max individuelle et de la moyenne, avec et sans port de l'ARICO couplée à une absence de modification significative de la Pi max dans le GC nous aurait permis d'objectiver l'efficacité de notre programme de renforcement des muscles inspireurs sur la force des muscles inspireurs. L'augmentation significative de la force des muscles inspireurs dans le GP, mesurable par le biais de l'ampliation thoracique par augmentation du diamètre en inspiration maximum, montrant l'augmentation de la force des muscles inspireurs par la capacité à se raccourcir, visible par l'augmentation du diamètre thoracique. Et l'absence d'augmentation significative de la force des muscles inspireurs dans le GC mesurable par le biais de l'ampliation thoracique et sans absence de modification pré/post-protocole.

Les mesures de pressions inspiratoires maximales sont inférieures à celles recueillies lors des études de Kellens *et al.* (38,56) et Guyot.S (48). Cela peut s'expliquer par les différences présentes entre les populations étudiées. En effet, l'étude de Kellens *et al.* portait sur une population d'étudiants masculins pratiquant un sport de loisirs alors que notre population se compose en partie de participants plus âgés et moins sportifs, certains sont fumeurs et des femmes ont été incluses. Or les femmes ont une Pi max inférieure aux hommes ce qui a pu faire chuter la moyenne des Pi max de l'étude (58).

Malgré des diamètres thoraciques plus faibles dans le GP que dans le GC, l'ampliation thoracique était supérieure dans le GP.

Nous pourrions ainsi objectiver la diminution totale de la pression inspiratoires et discriminer la diminution de la pression en raison du port de charge thoracique de celle due à la résistance imposée par le port de la pièce faciale, de la SAD et de la soupape d'expiration.

4.2. Biais et limites

Afin d'évaluer notre étude avec un regard critique et objectif, nous avons utilisé l'échelle PEDro (ANNEXE X). Notre étude comporte des biais et des limites que nous allons essayer d'énumérer de la façon la plus exhaustive pour améliorer de futures recherches et aider par cette lecture l'amélioration de ce travail.

4.2.1. Biais de sélection

4.2.1.1. Lors du recrutement

Au niveau de notre population, il existe un biais de recrutement. Le mail ayant été envoyé par voie électronique, il est possible qu'un certain nombre n'ai pas réussi l'ouvrir, le lire, ne consulte pas leur messagerie professionnelle ou ait vu le mail trop tard. Afin de réduire ce biais il aurait été pertinent d'utiliser différentes voies de communication comme le courrier postal ou une affiche au sein de l'unité opérationnelle.

Il est possible qu'il existe un biais de désirabilité sociale. Le mail ayant été adressé par la hiérarchie aux SP actifs de l'UO-BEF, il est possible que cela les ait influencés à participer au protocole dans le but de se faire apprécier de la hiérarchie. De plus, tous actifs au sein de la même unité opérationnelle, il est possible que la cohésion de groupe (très présente dans ce corps de métier) les ait incités à participer à l'étude. Pour limiter ce biais, il aurait fallu que le recrutement ne passe pas par la hiérarchie et que les investigateurs de cette étude n'aient pas de lien avec l'unité opérationnelle investiguée ni aucun lien avec ce métier. Or, dans ce milieu très structuré, passer par la hiérarchie est indispensable et connaître les habitudes et avoir expérimenté les difficultés du matériel peut s'avérer être un atout pour prendre en compte toutes les difficultés.

Il existe un biais de représentativité ne permettant pas d'exporter les résultats à la population générale ou à la population totale des SP. En effet l'étude n'a été effectuée que dans une unité opérationnelle et uniquement sur des SP volontaires (70 % du personnels des SP). Afin de diminuer ce biais, et de permettre la validation de ces résultats à la population générale des SP, il aurait été idéal d'avoir une population composée de 30 % de SP professionnels et de réaliser le protocole sur un plus grand nombre de sujets en incluant une plus grande variété d'unités opérationnelles. Notre population spécifique ayant tendance à être en meilleure force physique que la population générale (33,35), cela compose un biais de bonne santé des travailleurs et les conclusions ne peuvent pas être généralisées.

De plus un biais de volontariat existe. Seules les personnes s'étant portées volontaires spontanément ont été recrutées dans cette étude. La crainte d'être rendu inapte au service si les mesures sont inférieures à celles des autres a pu décourager certains et nous pouvons penser que les sujets participants à l'étude étaient en meilleure condition physique que la population générale de l'unité opérationnelle. Nous avons essayé de diminuer ce biais en spécifiant que les mesures prises étaient toutes anonymes et que les participants pouvaient se retirer de l'étude entraînant l'effacement de leurs données à tout moment, entraînant ainsi l'effacement de leurs données.

Comme nous l'avons vu dans l'analyse des résultats, de nombreuses différences existaient préalablement entre les deux groupes. Les seules différences significatives ($0,01 < p < 0,05$) entre les deux groupes sont le nombre d'intervention incendie réalisées au cours des deux derniers mois, le nombre d'années de service et le score sur l'échelle de Borg. D'autres

mesures comme les paramètres vitaux et biométriques présentent également des différences entre les deux groupes, bien qu'elles ne soient pas significatives. Par conséquent toute différence entre les deux groupes obtenue à l'issue de l'étude ne pourra pas être attribuée uniquement au protocole. De plus, ce biais pourrait sur ou sous-estimer les effets du protocole. Afin de diminuer ce biais, la randomisation à l'aveugle a été choisie, cependant, le faible nombre d'inclus n'a pas permis de rendre les deux groupes comparables.

4.2.1.2. Lors de l'analyse

Le nombre d'inclus dans les deux groupes est resté constant tout au long de l'étude, nous n'avons pas eu de perdu de vue. Ce sont les mesures post-protocoles qui n'ont pas pu être réalisées à cause de la pandémie du covid-19 rendant impossible la comparaison des mesures pré et post-protocoles donc l'évaluation de l'efficacité du protocole.

Voulant donner de l'indépendance aux sujets en les laissant réaliser leur renforcement en autonomie afin de diminuer les contraintes (déplacements, temps, hygiènes réglages) et ainsi favoriser l'observance des sujets, il est possible que le sujet ait oublié de réaliser quelques séries de renforcement ou même oublier un jour complet de renforcement. Il est également possible que le sujet ait mal réalisé l'exercice (mauvais respect des temps de repos, inspiration forcée rapide et maximale mal réalisée, instrument de renforcement mal réglé), ce qui influencerait sur l'analyse des mesures et les conclusions tirées. Nous avons tenté de diminuer ce biais en leur demandant de remplir le carnet de suivi (ANNEXE IV). Lors de la lecture des carnets de suivis, il est apparu que quatre des cinq inclus dans le GP n'ont pas suivi rigoureusement le protocole avec en moyenne $5 \pm 1,92$ séries de manquées. Les raisons étaient le manque de temps et la maladie les forçant à suspendre l'exercice durant quelques jours. Afin d'éliminer ce biais, il serait possible de n'inclure dans l'analyse des résultats que les patients ayant un suivi complètement le protocole et donc d'exclure les autres. Cependant, la proportion de sujets du GP ayant suivi le protocole à la lettre ainsi que faible nombre d'inclus de l'étude n'aurait pas rendu possible la comparaison entre les deux groupes et de tirer les conclusions. De plus, nous ajouterions un biais de sélection car les personnes ayant réalisé correctement le protocole, peut-être plus motivées, avec une meilleure immunologie car moins tombées malade lors de la période du protocole présenteraient un bilan artificiellement positif du protocole effectué.

L'allongement du temps du protocole augmente le risque de perte de vue et le risque d'oubli de réalisation du protocole. En effet, cette période de pandémie, la crainte pour sa propre santé et celle de ses proches, la gestion de la garde d'enfant, le confinement, mais également la gestion de crise dans ce métier en première ligne durant cette crise sanitaire, favorise la fatigue et la baisse de motivation de participer au protocole. De plus, le protocole stipule que le renforcement doit être à 85-90 % de la Pi max. Or, à l'issue des quatre semaines de renforcement, le GP ressentait l'exercice « facile » montrant une adaptation des muscles inspireurs à la charge. Ainsi, nous pouvons penser que la force des muscles inspireurs donc la Pi max augmentait au fur et à mesure des semaines d'entraînement. N'étant pas réévaluée au cours du protocole, la résistance inspiratoire appliquée aux muscles inspireurs n'était sans doute réglée strictement à 85-90 % du Pi max tout au long du protocole mais à un pourcentage de moins en moins important au cours des séances de renforcement. Pour pallier ce biais, l'auto-évaluation par essais/erreur effectuée en suivant les recommandations du manuel de l'appareil (ANNEXE V) a permis d'augmenter la charge résistive. Cependant cela a fait émerger un autre biais car nous ne pouvons certifier que cette charge correspondait à 85-90 % de la Pi max individuelle. N'étant pas présents lors de ce test, il est possible qu'il ait été mal réalisé, sur ou sous-évalué ce qui présente un biais. Le réglage de la résistance du Powerbreathe® Plus n'étant pas précis, il ne permet pas d'être certain du réglage.

4.2.2. Biais méthodologique

Nous avons essayé lors du questionnaire pré-protocole de ne pas orienter ou influencer les réponses. Il est cependant possible que certaines des questions posées comportaient des ambiguïtés. En effet, lors de la question sur l'exposition aux fumées, certains participants bien que tabagiques actifs ont déclarés ne pas avoir été exposés aux fumées dans les deux mois précédant. Certains ont également répondu ne pas avoir été exposés à des fumées au cours des deux derniers mois alors qu'ils avaient caplé l'ARICO pendant cette période. Or, l'ARICO se caple lorsque l'environnement est irrespirable (gaz, fumées). Les réponses aux questions sur le ressenti lors du port de l'ARICO au repos ainsi que lors d'interventions ou de manœuvres abordaient le plus souvent les limitations orthopédiques et non respiratoires comme nous l'aurions souhaité. De plus, lors de l'entretien individuel, nous avons été contraints, après avoir écouté le ressenti des participants après la manœuvre, de les recentrer sur leur ressenti respiratoire. Ils avaient effectivement tendance à favoriser l'expression de leurs perceptions articulaires, limitations de déplacement. Afin de limiter ce biais, il serait intéressant d'améliorer

le questionnaire pré-protocole en orientant les questions guidant le participant vers les limitations respiratoires induites par le port de l'ARICO.

Les réponses aux questions 4 et 5, pourtant les plus intéressantes pour notre étude semblaient répondues à la hâte. Seuls quelques mots étaient présents sur les copies. Pour limiter ce biais il faudrait modifier l'ordre des questions en mettant les plus importantes et les plus longues à la réflexion au début du questionnaire afin de limiter la lassitude des personnes sondées. Pour faciliter les réponses à ces questions et l'analyse des données, nous aurions pu faire des questions moins ouvertes ou des questions à choix multiples. Cela aurait pris moins de temps de réponse et donc aurait lassé les sujets moins rapidement. Ils auraient alors omis moins de sensations liées à la respiration lors du port de l'ARICO. Nous aurions laissé un espace pour d'éventuel ajout personnel.

4.2.3. Biais de mesure

Un biais lors de la prise des mesures est également possible, notamment lors de l'utilisation des appareils de mesure. Afin de diminuer le risque de biais nous avons étalonné les appareils de mesure respiratoire ainsi que le mètre ruban mural et la balance. Nous avons également veillé à ce que l'opérateur prenant les mesures soit toujours le même et pris soin de suivre les consignes de l'American Thoracic Society, de l'European Respiratory Society (53) et de l'assurance maladie (54) pour reproduire les bonnes pratiques de laboratoires.

La mesure de la perception de l'effort a été effectuée après un exercice de manœuvre mimant les conditions d'intervention du SP lors d'un incendie. Or, cette perception de l'effort est à modérer. En effet, les sujets n'étaient pas en condition réelle d'intervention : le risque n'était pas présent, ce qui diminuait le stress par rapport à une vraie intervention. Il n'y avait pas de place à l'improvisation, les sujets étaient rompus à la manœuvre et connaissaient les lieux. L'environnement était sain, sans fumée, bruit perturbants ou chaleur.

Les résultats recueillis sur la force des muscles inspireurs (P_i max et ampliation thoracique) sont à modérer car ils ne prennent en compte que la charge thoracique imposée par l'ARICO au repos et non les pressions inspiratoires imposées par le masque, la SAD ou la fatigue induite par un effort soutenu. Afin de diminuer ce biais il serait intéressant de prendre ces mesures avant et après la manœuvre afin d'objectiver la fatigue des muscles inspiratoires

lors du port de l'ARICO. De plus les mesures respiratoires objectives recueillies avec l'ARICO peuvent être sous estimées car elles ont été recueillies après les mesures sans port de l'ARICO. Il est possible que ces mesures réalisées antérieurement aient participé à la fatigue des muscles inspirateurs. Les participants étaient invités à régler l'ARICO de façon optimale. Un biais existe car il est possible que tous n'aient pas ajusté l'ARICO de façon identique (trop ou pas assez serré) impactant les résultats des mesures respiratoires objectives. Pour diminuer ce biais, il aurait fallu effectuer les mesures espacées par un temps de repos afin de diminuer l'effet de la fatigue. Les mesures lors du port de l'ARICO peuvent bénéficier du phénomène d'apprentissage permettant d'améliorer les mesures. Il est également possible que les mesures post-protocoles aient été majorées par l'apprentissage des techniques de mesures lors des mesures pré-protocoles. Un biais est également présent lors de l'analyse des résultats du GC car nous n'avons que très peu de données sur leur emploi du temps lors des quatre semaines de renforcement. Les résultats obtenus sont à modérer par les biais individuels comme la fatigue le jour de prise de mesure, le stress, la motivation, l'investissement, la stratégie de gestion de l'exercice, la résistance à l'effort, la mécompréhension lors des prises de mesures, un repas trop copieux avant mesures, une séance de sport dans les heures précédentes, une maladie comme un rhume ou un tabagisme actif peuvent influencer les mesures.

Un biais d'analyse des données est possible si une erreur est survenue lors de l'exploitation des données ou d'une erreur de retranscription sur le logiciel de traitement. Afin de diminuer ce biais et de vérifier la véracité des données, nous avons mesuré et vérifié les valeurs minimales, maximales, l'effectif ainsi que l'écart-type.

4.2.4. Biais de confirmation d'hypothèse

Les participants du GP, sachant qu'ils avaient participé au protocole, auraient pu dépasser leurs limites lors des mesures post-protocoles, sur-estimant ainsi leurs performances. Ils auraient également pu sous-estimer les difficultés rencontrées attribuant ces résultats aux effets du protocole de renforcement. À l'inverse les participants du GC auraient pu être déçus ou penser qu'ils étaient moins performants que le GP car ils n'ont pas pu participer au protocole. Ce biais aurait pu influencer leurs performances ou leur ressenti lors du port de l'ARICO en sur-estimant les difficultés et en sous-estimant leurs performances. Il aurait été possible d'éviter ce biais par une procédure d'insu en simple ou double aveugle avec

un GP effectuant le protocole à 85-90 % de leur P_i max et un GC effectuant le protocole à 50 % de leur P_i max (ce qui n'a, dans la littérature montré aucun bénéfice). Cependant, notre budget ne nous a pas permis de fournir un Powerbreathe® à tous les participants et partager l'appareil aurait posé des problèmes d'hygiène, de mobilité et aurait présenté un risque d'erreur lors du changement de la résistance inspiratoire.

4.3. Perspectives

Les aléas rencontrés lors de cette étude ne nous ont malheureusement pas permis de répondre aux autres questions ni de conclure sur l'efficacité de notre protocole de renforcement sur le confort et les capacités respiratoires des SP lors de leurs interventions sous ARICO. Suite à notre intervention et nos recherches, d'autres questionnements ont vu le jour et nous avons observé de nombreux axes qu'il serait intéressant d'approfondir afin de faciliter le travail et l'aisance du SP lors d'interventions sous ARICO.

Les SP les plus proches du feu (effectuant le rôle de binôme d'attaque (BAT)) durant une intervention ont plus de risque d'être exposés à de fortes concentrations aux particules toxiques favorisant le développement des symptômes ou maladies pulmonaires (35). Afin de limiter les expositions, différentes solutions sont envisageables : effectuer des rotations d'équipe ou des rotations de fonction (BAT, binôme de secours, binôme d'alimentation (BAL)) au sein de la même équipe (34), éduquer au port optimal les équipements de protections individuelles, favoriser les circuits « propre » et « sale » après une intervention en milieu asphyxiant, nettoyer régulièrement les EPI ainsi que le matériel et les véhicules.

Diminuer la charge thoracique et ses conséquences néfastes sur la respiration est également à envisager. Pour se faire nous pourrions proposer la réduction du poids de l'ARICO ou le remplacement de l'air des bouteilles par de l'héliox (21 % d'oxygène et de 79 % d'hélium). Ce mélange permet de diminuer la densité et de réduire les turbulences réduisant ainsi les résistances et augmentant les débits (11). Dans une pensée plus ergonomique d'adaptation de la machine à l'homme, il serait intéressant de retravailler sur le dossard de l'ARICO afin qu'il soit plus ajustable au porteur dans le but de limiter la perte de mobilité rachidienne. Il serait également pertinent de mener une étude afin de voir s'il existe une relation entre les années de services et la proprioception avec l'ARICO.

Il serait également pertinent de proposer une étude avec un protocole de renforcement des muscles expirateurs, pour lutter contre la résistance expiratoire lors du port de l'ARICO.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les mesures recueillies pré-protocoles nous ont permis de répondre seulement à quelques unes des questions posées au début de l'élaboration de cette étude.

Cette étude nous a permis de confirmer que la charge imposée par l'ARICO participe fortement à l'inconfort des SP ainsi qu'à la fatigue des muscles inspireurs et à la réduction des capacités pulmonaires diminuant ainsi leurs performances en intervention. Bien qu'indispensable, le renforcement des muscles inspireurs semble être oublié lors des entraînements des SP. En effet, lors de notre questionnaire pré-protocole, un seul des dix sujets confie avoir déjà pensé les renforcer mais aucun ne connaissait ou n'avait été sensibilisé aux protocoles de renforcement ni à leurs bénéfices. De plus, les SP ne bénéficient pas d'informations sur les muscles inspireurs ni sur leur renforcement et son intérêt lors de leurs interventions. Le masseur-kinésithérapeute (MK) pourrait être utile pour aider les SP. Pour ce faire, les MK SP pourraient recevoir les SP lors d'un premier entretien individuel afin d'effectuer un bilan. Il pourrait organiser des ateliers afin de les informer sur l'anatomie et le fonctionnement des muscles inspireurs, leur apprendre des exercices de renforcement et les guider pour l'adaptation de la charge d'exercice. Il serait également important de rappeler aux SP certaines consignes quant aux réglages des sangles de l'ARICO : serrer en premier la sangle abdominale afin de répartir le poids sur les deux membres inférieurs puis les sangles thoraciques, ne pas serrer au maximum afin de ne pas augmenter les contraintes thoraciques et faire monter l'ARICO trop haut sur le dos du porteur afin de limiter la restriction de mobilité du rachis cervical dû au fond de la bouteille.

Nous pourrions alors développer la profession de MKSP qui est très récente (2012) et l'exporter au reste de la France. Afin de permettre le suivi régulier des SP au sein des unités opérationnelles, il faudrait former les EAP au protocole. Ces derniers, plus nombreux sur le territoire pourraient être un atout dans la gestion de ce projet. Le MK pourrait également envisager des conseils de manutention lors du port de charges lourdes, des conseils d'étirement ou de renforcement musculaire en collaboration avec les EAP.

Dans cette même dynamique et afin de toucher un plus grand nombre de personne, nous pourrions proposer la diffusion d'informations relatives au renforcement des muscles inspireurs et son intérêt dans le métier de SP. Pour se faire, différents moyens de communication s'offrent à nous afin d'améliorer ces axes de réflexion : diffusion d'articles dans le journal national des SP, boîte d'e-mail professionnelle, publication d'affiches dans les locaux des unités opérationnelles ou lors des FMPA. Afin de leur permettre de garder une trace des informations données, des livrets simplifiés récapitulant tous les éléments pourraient leur être fourni.

Le renforcement des muscles inspireurs nous semble indispensable au métier de SP afin de lutter contre les charges thoraciques imposées par l'ARICO et ses conséquences néfastes afin d'optimiser la force des muscles inspireurs, les capacités respiratoires et l'aisance des SP lors de leurs interventions.

Bibliographie

1. Ministère de l'intérieur. Statistiques officielles des services départementaux d'incendie et de secours pour l'année 2018 [Internet]. 2020 [consulté le 11 avril 2020]. Disponible sur: <https://www.interieur.gouv.fr/Publications/Statistiques/Securite-civile/2018>
2. Sapeurs-pompiers de France. Missions des sapeurs-pompiers [En ligne]. 2015 [mise à jour en 2019, consultée le 11 avril 2020]. Disponible sur: <https://www.pompiers.fr/pompiers/nous-connaître/missions-des-sapeurs-pompiers>
3. Lacour B, Belon J-P. Physiologie humaine. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2016. 29 p. ISBN: 978-2-294-75376-3
4. Shei, R-J, Chapman, RF, Gruber AH, Mickleborough TD. Respiratory Effects of Thoracic Load Carriage Exercise and Inspiratory Muscle Training as a Strategy to Optimize Respiratory Muscle Performance with Load Carriage. Springer Sci Rev. 2017;5,1-2:49-64.
5. Degano B. Physiologie respiratoire. EMC-pneumologie, 2013; 10,3:14.
6. Sabry S, Holzer A, Dinh-Xuan AT. Physiologie respiratoire: mécanique de la respiration et équation du mouvement respiratoire. ITBM-RBM. 2005;26,1:2-4.
7. Michael Jaeger J, Titus BJ, Blank RS. Essential Anatomy and Physiology of the Respiratory System and the Pulmonary Circulation. Slinger: Springer International Publishing. 2019. 1057 p. ISBN : 978-3-030-00858-1
8. Dufour, M. Anatomie de l'appareil locomoteur-Tome3. Tête et tronc. 3^e éditin. Issy-lès-Moulineaux: Elsevier Masson; 2017. 405 p. ISBN: 978-2-294-75259-9
9. Kapandji, IA. Anatomie fonctionnelle. Tête et rachis. 6^e édition. Paris; Maloine. 2007. 328 p. ISBN: 978-2-224-02649-3
10. Shahid, Z, Burns, B. Anatomy, Abdomen and Pelvis, Diaphragm. Treasure Island (FL): StatPearlsPublishing; 2019. PMID: 29262082

11. Butcher, SJ, Jones, RL, Mayne, JR, Hartley, TC, Petersen, SR. Impaired exercise ventilatory mechanics with the self-contained breathing apparatus are improved with heliox. *Eur J Appl Physiol.* 2007;101,6 :659-669
12. Bastien, GJ, Willems, PA, Schepens, B, Heglund, NC. Effect of load and speed on the energetic cost of human walking. *Eur J Appl Physiol.* 2005;94.1-2 :76-83
13. Bezier, N, MSA. Description de l'appareil respiratoire isolant-ARI : le dossard [Photographie]. Histoire de pompier, 27 avr 2019. Disponible : <https://www.histoiresdepompier.fr/2019/04/27/description-de-lappareil-respiratoire-isolant-ari/>
14. Faghy, MA, Brown, PI. Thoracic load carriage-induced respiratory muscle fatigue. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114,5 :1085-1093
15. Taylor, NAS, Peoples, GE, Petersen, SR. Load carriage, human performance, and employment standards. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2016;41,6:131-147
16. Berlowitz, DJ, Tamplin, J. Respiratory muscle training for cervical spinal cord injury. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;7:1-42.
17. Armstrong, NC, Gay, LA. The effect of flexible body armour on pulmonary function. *Ergonomics.* 2016;59,5:692-696.
18. Bygrave, S, Legg, S, Myers, S, Llewellyn, M. Effect of backpack fit on lung function. *Ergonomics.* 2004;47,3:324-329.
19. Kapandji, AI. Anatomie fonctionnelle. Membre supérieur. 6^e édition. Paris; Maloine. 2005. 356 p. ISBN: 978-2-224-02647-9
20. Météo-France. La pression [En ligne]. [Consulté le 11 avr 2020]. Disponible: <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/parametres-observees/pression>
21. Taylor, NAS, Lewis, MC, Notley, SR, Peoples, GE. A fractionation of the physiological burden of the personal protective equipment worn by firefighters. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112,8:2913-2921

22. Girardin.P.Service Départemental d'Incendie et de Secours de la Moselle. Référentiel de formation incendie des sapeurs-pompiers. 2016. AlfreSCO » Détails du document [consulté le 14 avr 2020]. Disponible: <https://extranet.sdis57.fr/share/page/site/memento-formation/document-details?nodeRef=workspace://SpacesStore/8dad19bf-6eee-48cf-8af8-885d12d737d1>
23. Thouret, JM, Jolliet, P, Chevolet, JC. Mesure de l'espace mort physiologique (VD/VT) chez des patients intubés en ventilation mécanique: comparaison entre la chambre mixique et la calorimétrie indirecte. *Réanimation Urgences*. 2000;9,2:109-114.
24. Segizbaeva, MO, Timofeev, NN, Donina, ZhA, Kur'yanovich, EN, Aleksandrova, NP. Effects of Inspiratory Muscle Training on Resistance to Fatigue of Respiratory Muscles During Exhaustive Exercise. *Adv Exp. Med Biol*. 2014;840:35-43
25. Respiratory Muscle Fatigue: Report of the Respiratory Muscle Fatigue Workshop Group. *Am Rev Respir Dis*. 1990;142,2:474-480.
26. Roussos, C, Zakynthinos, S. Fatigue of the respiratory muscles. *Intensive Care Med*. 1996;22,2:134-155.
27. Cogo, A, Bonini, M, Onorati, P. Exercise and Sports Pulmonology: Pathophysiological Adaptations and Rehabilitation. Cham: Springer International Publishing; 2019. 221. ISBN: 978-3-030-05257-7
28. Sheel, AW, Boushel, R, Dempsey, JA. Competition for blood flow distribution between respiratory and locomotor muscles: implications for muscle fatigue. *J Appl Physiol*. 2018;125,3:820-831.
29. Rodriguez, RF, Townsend, NE, Aughey, RJ, Billaut, F. Respiratory muscle oxygenation is not impacted by hypoxia during repeated-sprint exercise. *Respir Physiol Neurobiol*. 2019;260:114-121.
30. Welch, JF, Archiza, B, Guenette, JA, West, CR, Sheel, AW. Sex differences in diaphragmatic fatigue: the cardiovascular response to inspiratory resistance. *J Physiol*. 2018;596,17:4017-4032.

31. Wylegala, JA, Pendergast, DR, Gosselin, LE, Warkander, DE, Lundgren, CEG. Respiratory muscle training improves swimming endurance in divers. *Eur J Appl Physiol.* 2007;99,4:393-404.
32. Hostler, D, Pendergast, DE. Respiratory Responses during Exercise in Self-contained Breathing Apparatus among Firefighters and Nonfirefighters. *Saf Health Work.* 2018;9,4:468-472.
33. Donovan, KJ, McConnell, AK. Do fire-fighters develop specific ventilatory responses in order to cope with exercise whilst wearing self-contained breathing apparatus? *Eur J Appl Physiol.* 1999;80,2:107-12.
34. Wallace, MAG, Pleil, JD, Oliver, KD, Whitaker, DA, Mentese, S, Fent, Kenneth, W, Horn F&G. Targeted GC-MS analysis of firefighters' exhaled breath: Exploring biomarker response at the individual level. *J Occup Environ Hyg.* 2019;16,5:355-366.
35. Choi, J-H, Shin, J-H, Lee, M-Y, Chung, I-S. Pulmonary function decline in firefighters and non-firefighters in South Korea. *Ann Occup Environ Med.* 2014:26-29
36. Mustajbegovic J, Zuskin E, Schachter EN, Kern J, Vrcic-Keglevic M, Heimer S, et al. Respiratory function in active firefighters. *Am J Ind Med.* juill 2001;40,1:55-62.
37. Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé. Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations. Paris: Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé; 2000. 60p. ISBN : 2-910653-72-2
38. Kellens, I, Cannizzaro, F, Gouilly, P, Crielaard, J-M. Entraînement de la force des muscles inspiratoires chez le sujet sportif amateur. *Rev Mal Respir.* 2011;28,5:602-8.
39. Sperlich, B, Fricke, H, de Marées, M, Linville, JW, Mester, J. Does respiratory muscle training increase physical performance? *Mil Med.* 2009;174,9:977-982.
40. Lotters, F, van Tol, B, Kwakkel, G, Gosselink, R. Effects of controlled inspiratory muscle training in patients with COPD: a meta-analysis. *Eur Respir J.* 2002;20,3:570-577.
41. Edwards, AM, Wells, C, Butterly, R. Concurrent inspiratory muscle and cardiovascular training differentially improves both perceptions of effort and 5000 m running performance compared with cardiovascular training alone. *Br J Sports Med.* 2008;42,10,:523-527.

42. Volianitis, S, McConnell, AK, Koutedakis, Y, Mcnaughton, L, Backx, K, Jones, DA. Inspiratory muscle training improves rowing performance: *Med Sci Sports Exerc.* 2001;803-809.
43. Griffiths, LA, McConnell, AK. The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *Eur J Appl Physiol.* 2007;99,5:457-466.
44. Johnson, MA, Sharpe, GR, Brown PI. Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *Eur J Appl Physiol.* 2007;101,6:761-770.
45. Tong, TK, Fu, FH, Chung, PK, Eston, R, Lu, K, Quach, B, Nie, J, So, R. The effect of inspiratory muscle training on high-intensity, intermittent running performance to exhaustion. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008;33,4:671-681.
46. Kilding, AE, Brown, S, McConnell, AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108,3:505-511.
47. Faghy, MA, Brown, PI. Training the inspiratory muscles improves running performance when carrying a 25 kg thoracic load in a backpack. *Eur J Sport Sci.* 2016;16,5:585-94.
48. Guyot, S. Le renforcement spécifique des muscles inspiratoires permet-il d'améliorer les performances des canoës-kayakistes de haut niveau ? 2017. 28p. Diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute :Dijon, Institut de formation en masso-kinésithérapie de Dijon.
49. Raab, AM, Krebs, J, Pfister, M, Perret, C, Hopman, M, Mueller, G. Respiratory muscle training in individuals with spinal cord injury: effect of training intensity and -volume on improvements in respiratory muscle strength. *Spinal Cord.* 2019;57,6.
50. Enright, SJ, Unnithan, VB. Effect of Inspiratory Muscle Training Intensities on Pulmonary Function and Work Capacity in People Who Are Healthy: A Randomized Controlled Trial. *Phys Ther.* 2011;91,6:894-905.
51. Kellens, I, Crielaard, J-M, Demarest B. Évaluation de la force des muscles respiratoires chez le sujet sain. *Kinésithérapie Rev.* 2010;10,101:28-35.
52. Gedda, M. Traduction française des lignes directrices CONSORT pour l'écriture et la lecture des essais contrôlés randomisés. *Kinésithérapie Rev.* 2015;15,157:28-33.
53. Graham, BL, Steenbruggen, I, Miller, MR, Barjaktarevic, IZ, Cooper, BG, Hall, GL, Hallstrand, TS, Kaminsky, DA, McCarthy, K, McCormack, MC, Oropez, CE, Rosenfeld, M, Stanojevic, S, Swanney, MP, Thompson, BR. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 2019;200,8:70-88.

54. Déroulement d'une spirométrie. 14 nov 2019.[en ligne].[page consultée le 17 avr 2020]
<https://www.ameli.fr/assure/sante/examen/exploration/deroulement-spirometrie>
55. Miller, MR. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J.* 2005;26,1:153-161.
56. Green, M, Road, J, Sieck, C, Similowski, T. Évaluation de la force des muscles respiratoires. *Rev Mal Respir*, 2004;21,3-c3:21-51.
57. Charloux, A. Exploration de la force des muscles respiratoires. *La lettre du pneumologue*,2013;16,4:151-152.
58. Reggiori, B. Mesure de la P_Imax chez des sujets sains. 2006. 21p. Mémoire de fin d'année : Nancy, Institut de formation en masso-kinésithérapie de Nancy.
59. Gouilly, P, Reggiori, B, Gnos, PL, Schuh, O, Muller, K, Dominguez, A. À propos de la mesure de l'ampliation thoracique. *Kinésithérapie Rev.* 2009;9,88:49-55.
60. Graham, BL, Steenbruggen, I, Miller, MR, Barjaktarevic, IZ, Cooper, BG, Hall, GL, Hallstrand, TS, Kaminsky, DA, McCarthy, McCormack, MC, Oropez, CE, Rosenfeld, M, Stanojevic, S, Swanney, MP, Thompson, BR. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 2019;200,8:70-88.
61. ADELFA Association des épidémiologistes de langue française. Recommandations de déontologie et bonnes pratiques en épidémiologie – version France.2017 [page consultée le 14mars2019]https://www.ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/9771c86bf98d7af854c30b202846ab35.pdf
62. BiostaTGV. Statistiques en ligne [en ligne]. [page consultée le 23 avril 2020]. Disponible sur: <https://biostatgv.sentiweb.fr/?module=tests/chideux>
63. Lavillunière, N, Leiffen, D, Arvers, P. Stress et santé au travail chez les sapeurs-pompiers de Paris. 2006. [page consultée le 28 avril 2020]. <https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=Lavillunière,+N,+Leiffen,+D,+Arvers,+P.+Stress+et+santé+au+travail+chez+les+sapeurs-pompiers+de+Paris.+2006;4.&ie=UTF-8&oe=UTF-8>

ANNEXES

ANNEXE I : Photographies présentant 2 tenues des SP lors de leurs missions.

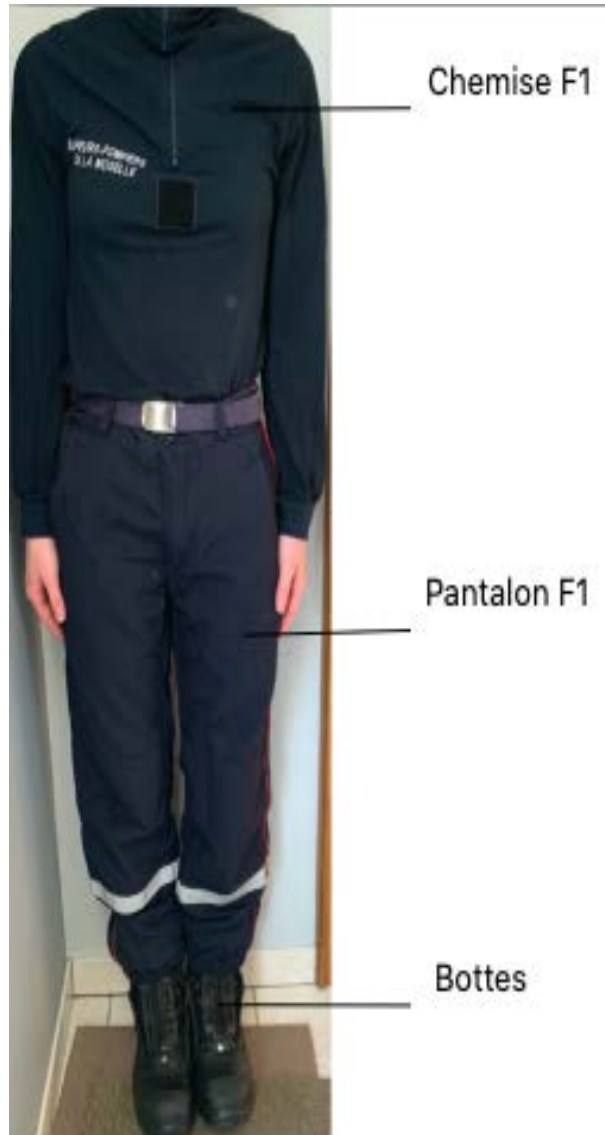


Figure 1 : Photographie de la tenue F1 d'exercice et d'intervention des sapeurs-pompiers de la Moselle.

C'est la tenue de base du sapeur-pompier. Elle est portée lors des interventions de secours à personnes mais également lors des incendies sous la tenue de feu. Elle se compose d'une chemise F1 et d'un pantalon F1 fabriqué dans un tissu aux propriétés thermostables et résistant à l'abrasion et l'arrachement. Les bottes multi-usages possèdent une semelle anti-perforation ainsi qu'une coque sur le devant du pied. Elles résistent également à la chaleur.

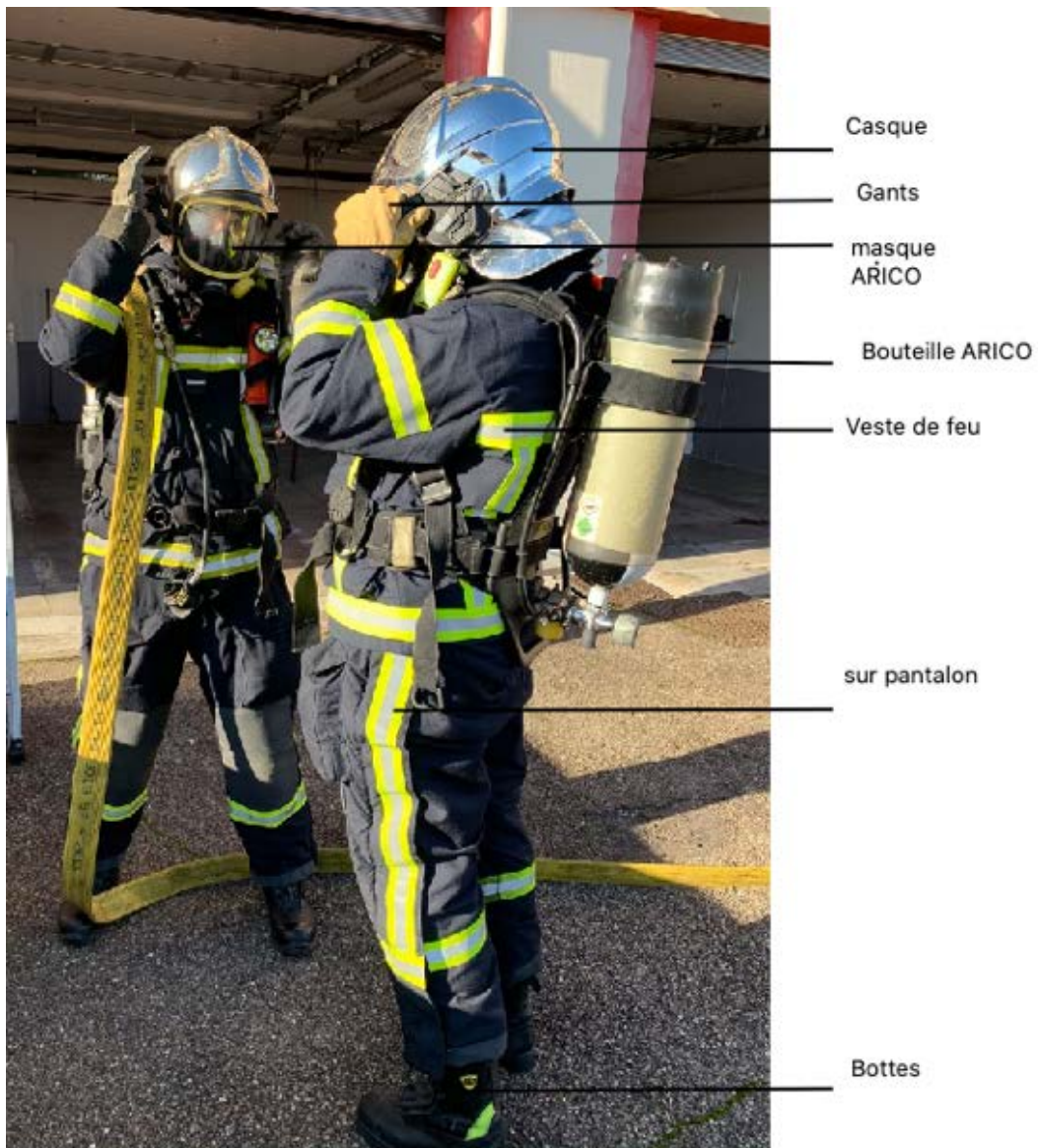


Figure 2 : Photographie de la tenue feu urbains des sapeurs-pompiers de la Moselle.

Cette tenue est portée au-dessus de la tenue d'exercice et d'intervention lorsqu'un risque nécessite une protection thermique, cutané ou respiratoire. Elle se compose d'un casque englobant la totalité du crâne. Il se compose de deux écrans faciaux permettant une protection contre la chaleur irradiante et une protection oculaire en cas de projection, d'un système d'accroches pour fixer la pièce faciale de l'appareil respiratoire isolant (ARICO). Une cagoule se place sous le casque permettant une protection thermique et cutanée. Une veste textile et un sur-pantalon en fibres thermostables et ignifuges. Des gants en cuir ou textiles permettant une protection thermique (brûlures) et cutanée (coupures). Si nécessaire, le port d'un ARICO si un risque existe pour les voies respiratoires.

ANNEXE II : Contraintes issues de l'environnement ou des équipements impactant les capacités respiratoires et physiques, les sens et l'aisance des SP.

Des facteurs environnementaux dus à l'incendie

- La chaleur provenant de l'incendie et majorée par l'exercice.
- Le bruit provenant de l'incendie et majoré par la SAD de l'ARICO où l'inspiration est bruyante lors de l'arrivée d'air après avoir abaissé la pression dans le masque. Vidéo 1 disponible : <https://noemiehen.wixsite.com/website>
- Le manque de visibilité due aux fumées issues de la combustion et majoré par la pièce faciale de l'ARICO.

Ces facteurs environnementaux conduisent à la modification des sens :






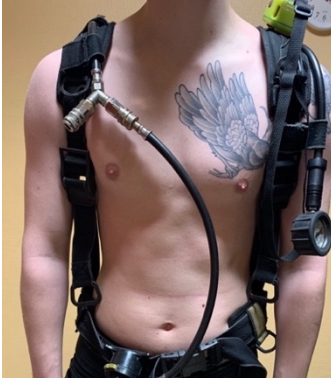
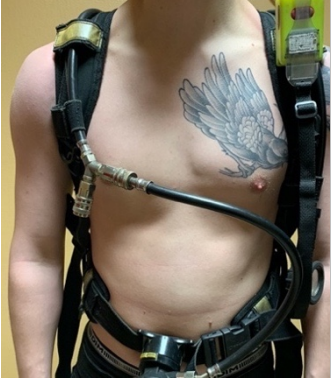
- La vue : le champ visuel du sapeur-pompier est entravé par les fumées et par le port de la pièce faciale. Pour pallier ce déficit de visibilité, le porteur devrait effectuer plus de mouvements cervicaux afin de balayer l'espace du regard, or, ces mouvements sont limités par le port du harnais qui place le fond de la bouteille sous la nuque du porteur. De plus, lors de la respiration de la buée peut apparaître dans le masque facial réduisant encore le champ visuel. Il y a alors un déficit persistant de la visibilité de l'opérateur, source d'angoisse et de danger dans le manque de prise d'informations du milieu environnant.
- L'équilibre : l'équilibre est géré par trois systèmes : la vision, le système proprioceptif, le système vestibulaire. Nous avons vu que la vision se trouve entravée. La perte des repères et lignes horizontales induira une perte partielle de l'équilibre du sapeur-pompier. Le système proprioceptif constitué des mécanorécepteurs superficiels (cutanés) et profonds (musculo-tendineux et articulaires) renseigne sur la position du corps dans l'espace. Ils sont sensibles à la tension et à la pression. Lors du port de l'ARICO, les contraintes s'exerçant sur ces articulations augmentent, pouvant induire en erreur le système proprioceptif. Deux des trois systèmes de gestion de l'équilibre se trouvent perturbés, il y a un risque de perte d'équilibre pouvant mener à des chutes. De plus, le ballant d'inertie de la bouteille ainsi que l'ajout de poids dans le dos modifient le centre de gravité du porteur pouvant mener à des pertes d'équilibre.
- Le touché : le sens du touché est entravé par le port d'équipement de protection thermique épais (veste, pantalon, gants).

- L'audition : lors de la progression sous ARICO, bien qu'équipée d'une membrane phonique, le sapeur-pompier verra son acuité auditive diminuer par les interférences des bruits alentours dus à l'incendie (crépitements, explosions, chute d'objets), au port du casque couvrant les oreilles ainsi que par le bruit de sa respiration dans le masque (déclenchement de la soupape à la demande lors de l'inspiration et du rejet d'air par expiration forcée). Ces bruits interférant dans la communication du binôme d'intervention (dont la voix ne sera perceptible qu'à 1 ou 2 mètres) ou l'appel de potentielles victimes, complexifient leurs missions. Le risque est que le porteur soit tenté d'enlever son masque un instant pour communiquer avec son binôme, s'exposant ainsi à une intoxication.
- L'audition : la respiration se faisant dans une bouteille d'air isolé du milieu environnant, l'opérateur ne pourra pas sentir les gaz ou autres odeurs toxiques ou chimiques ne leur permettant pas de savoir s'il se trouve dans un environnement où existe un risque supplémentaire (explosion de gaz).
- Sensibilité thermique : l'exposition aux rayonnements des flammes est diminuée par la pièce faciale ainsi que par les équipements de protection individuelle. Bien qu'utile pour la progression dans un milieu sous forte chaleur, cette diminution de la sensation de chaleur conduit le sapeur-pompier à minimiser l'effet thermique sur son corps (sudation élevée donc perte d'eau et de sels minéraux).
- Schéma corporel : l'ARICO peut majorer la circonférence thoracique de 50 à 60 %, augmentant le gabarit du porteur. Le schéma corporel est la représentation spatiale de notre corps dans l'espace. Il s'acquiert au cours du développement et est le regroupement d'afférences sensorielles extéroceptives données par le monde qui nous entoure (sens du toucher, de la vision et de l'audition) ainsi que d'afférences proprioceptives, kinesthésiques, vestibulaires, articulaires, musculaires et tendineuses. Comme décrit précédemment, lors des missions des sapeurs-pompiers sous couvert de l'ARICO, les afférences sensorielles sont perturbées, les mouvements sont restreints, le gabarit du porteur et son poids est majoré. Le schéma corporel se trouve alors modifié augmentant les difficultés durant leurs interventions. Cependant, le cerveau étant doué de plasticité neuronale, il est capable d'intégrer de nouvelles informations. Ainsi, avec de l'expérience, il est possible de diminuer cette modification du schéma corporel en intégrant les nouvelles contraintes imposées par ce système en intégrant la nouvelle image corporelle intégrant le dispositif ARICO limitant ainsi les pertes d'équilibres. Ainsi le déficit de mobilité rachidienne, la modification du schéma

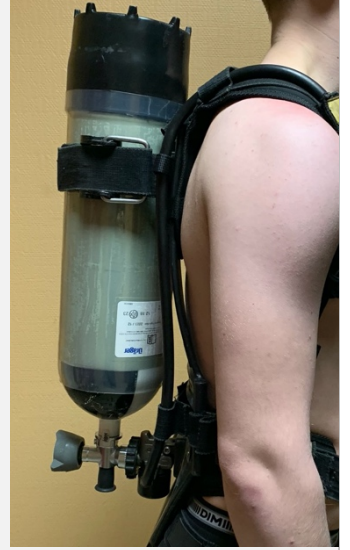
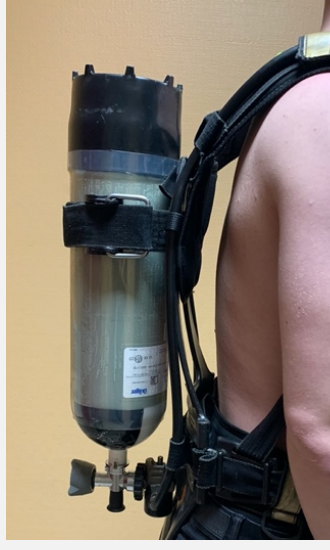
corporel, la réduction du champs visuel et le poids de l'appareil compromettent la progression horizontale et verticale, la marche, les retournements, l'abaissement et le relevage. Toutes ces modifications accompagnées par la dangerosité de l'intervention, la notion de victime à secourir, la chaleur liée au matériel mais également au stress, augmente les dépenses énergétiques augmentent ainsi le travail de la pompe cardiaque (fréquence cardiaque) et la fatigue (muscles squelettique et respiratoires : fréquence respiratoire et BORG)

La modification des facteurs environnementaux concourt à la modification des facteurs individuels en induisant une augmentation du poids et du périmètre corporel du SP, de l'anxiété, de la fatigue et du stress (64). À leur tour, les modifications des facteurs individuels induisent des risques pour la santé (insomnie, anxiété, dépression, fatigue physique et psychologique, stress post-traumatique, épuisement professionnel) et des effets indésirables (inconfort, mal de dos, sensations de difficultés respiratoires et d'étouffements, nausées, vomissements, claustrophobie) compliquant leurs missions. Certaines pouvant être soulagées par le renforcement des muscles inspireurs (force et fatigue des muscles inspireurs), d'autres pourraient être améliorées par une modification du matériel (périmètre corporel, modification des sens, charge). La diminution de l'une des contraintes imposées aux sapeurs-pompier permet de faciliter le travail du sapeur-pompier en intervention.

ANNEXE III : Photographie du port de l'ARICO sangles ajustées, trop serrées, trop lâches.

	Ajustement adéquat	Ajustement lâche	Ajustement serré
Vue supérieure			
Vue antérieure	 		

Vue latérale



Vue supérieure



ANNEXE IV : Ensemble des documents fournis aux participants de l'étude.

	QUESTIONNAIRE DE DÉBUT DE PROTOCOLE
--	--

Intitulé de l'intervention :

Parcours type SP

Date : janv 2020

Vous avez acceptez de participer au protocole de recherche intitulé: Le renforcement spécifique des muscles inspirateurs permet-il d'améliorer l'aisance et les capacités respiratoires des sapeurs-pompiers, lors de leurs interventions sous appareil respiratoire isolant à circuit ouvert ? Dans le cadre de cette étude, merci de compléter la fiche ci-dessous.

Les données enregistrées lors de cette étude feront l'objet d'un traitement informatisé par l'investigateur des recherches. S'agissant de données nominatives, vous bénéficiez à tout moment, du droit d'accès et de rectification des données vous concernant auprès des responsables de l'étude et, en ce qui concerne les informations de nature médicale, ce droit est exercé par l'intermédiaire de Mme.Hen Noémie et de M.Mickael Kind conformément à la loi 78-17 du 06 janvier 1978 relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, modifiée par la loi n°94-548 du 1er juillet 1994, relative au traitement des données nominatives ayant pour fin la recherche dans le domaine de la santé.

1. Identité

Nom		Prénom		Matricule	
Date de naissance		Sexe	<input type="checkbox"/> F	<input type="checkbox"/> M	
Taille	m	Poids	kg		
Tabagisme	<input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui	nombre de paquet par jour		
			nombre d'année de tabagisme		

Avez-vous des:

Antécédants chirurgicaux	
Maladies respiratoires	
Maladies cardiaques	
Autres? (hypertension artérielle, diabète, ...):	

2. Professionnel

<input type="checkbox"/> Sapeur-pompier professionnel	<input type="checkbox"/> Sapeur-pompier volontaire	
	Emploi:	
Nombre d'années de service	Grade:	
Avez-vous été exposé aux fumées au cours des 2 derniers mois?	<input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui
	nombre de fois en tant que	nombre de fois ou l'ARICO à été caplet
BAT		
BAL		
conducteur		
chef d'agré		

Etes-vous à jour de vos visites médicales auprès du service SSSM du SDIS 57? oui non

Avez-vous été déclaré "apte" au service et au port de l'ARICO par le service SSSM du SDIS 57? oui non

Etes-vous à jour de vos FMIPA INC? oui non

3. Pratique d'une activité sportive

Type	nombre d'heures par semaine

Avez-vous déjà été sensibilisé au renforcement des muscles inspireurs?

non

oui

Dans quel contexte?	
Quels exercices pratiquez-vous?	
A quelle fréquence?	

4. Ressenti lors du port de l'ARICO au repos

.....
.....
.....

5. Ressenti lors du port de l'ARICO en intervention/manoeuvre

.....
.....
.....

Souhaitez-vous recevoir vos résultats par mail? oui non

si oui merci de noter votre adresse mail:

Je soussigné(e)..... [prénom et nom], atteste sur l'honneur que les déclarations faites sur ce questionnaire sont exactes.

Fait à,

Le.....

Signature,

Merci pour vos réponses !

CARNET DE SUIVIT
PROTOCOLE DE RENFORCEMENT DES MUSCLES INSPIRATEURS

|

Nom :

Prénom :

Pi max :

Réglage du Powerbreathe :

Date	Nombre d'inspiration (30)	Nombre de répétition (2)	Ressentie (Exprimez avec vos mots les difficultés et sensations rencontrées)	Vérification de la résistance OUI/NON

Fiche d'explication du protocole.

Protocole de renforcement

Avant de débiter merci de lire attentivement la notice de l'appareil.

Étape 1 :

Vérifier l'état général de votre appareil.

Vérifier que votre appareil est bien réglé sur C'est-à-dire que la partie inférieure du tube blanc (bouton de réglage de la dose) se trouve au niveau du curseur.....

Étape 2 :

Mettez-vous debout, détendez-vous. Tenez l'appareil par la poignée, placez l'embout buccal dans votre bouche, recouvrez-le hermétiquement avec vos lèvres et maintenez les parties à mordre avec vos dents.

Étape 3 : videz vos poumons au maximum puis inspirez par la bouche le maximum d'air possible aussi rapidement et énergétiquement que possible tout redressant le dos et en gonflant la poitrine.

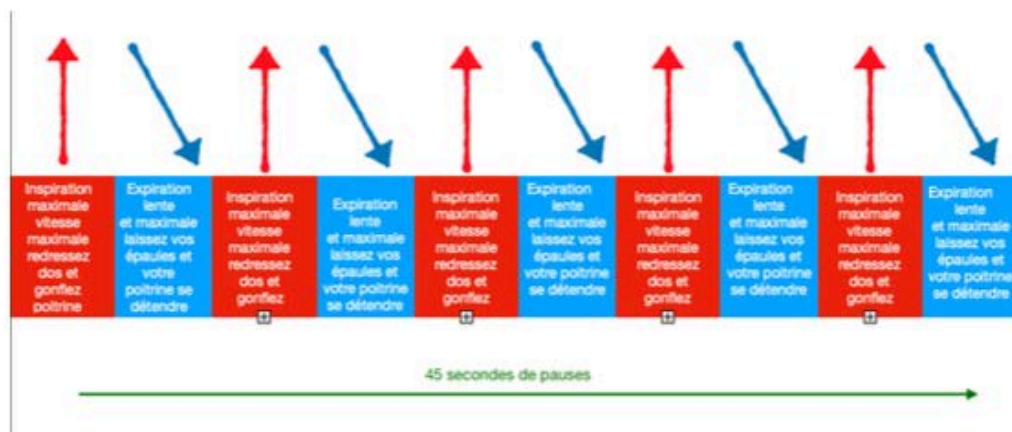
Étape 4 :

Expirez lentement et passivement par la bouche tout l'air disponible dans vos poumons en laissant votre poitrine et vos épaules se détendre. Faites une pause jusqu'à ce que vous ressentissiez à nouveau le besoin d'inspirer.

Attention : si vous avez la tête qui tourne, faites une pause

NB : un clip nasal est à votre disposition, il permet d'aider à respirer par la bouche, il n'est pas obligatoire.

Effectuez 2 fois par jour le protocole suivant :



X6

Ainsi vous allez faire **6 fois 5 cycles** respiratoires (5 inspirations + 5 expirations) à l'aide de l'appareil avec **45 secondes** de pauses entre chaque cycle. Cet exercice est à répéter **deux fois par jour** durant **4 semaines** afin de prétendre aux bénéfices attendus.

Étape 6 :

Remplissez votre carnet de suivi

Pour toutes questions ou soucis n'hésitez pas à me joindre.

Formulaire de consentement libre et éclairé.

LETTRE D'INFORMATION
DESTINEE AUX PATIENTS
POUR PARTICIPATION A UNE RECHERCHE IMPLIQUANT LA PERSONNE
HUMAINE

Titre de la recherche :

Le renforcement spécifique des muscles inspirateurs permet-il d'améliorer l'aisance et les capacités respiratoires des sapeurs-pompiers, lors de leurs interventions sous appareil respiratoire isolant à circuit ouvert ?

Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de participer à une étude de recherche clinique.

Cette lettre d'information vous détaille en quoi consiste cette étude.

Vous pourrez prendre le temps pour lire et comprendre ces informations de réfléchir à votre participation, et pour demander au masseur-kinésithérapeute responsable de l'étude de vous expliquer ce que vous n'aurez pas compris.

BUT DE L'ETUDE

EFFECTUER UN RENFORCEMENT DES MUSCLES INSPIRATEURS AFIN D'OPTIMISER L'AISANCE ET LES CAPACITES RESPIRATOIRES DES SAPEURS-POMPIERS LORS DE LEURS INTERVENTIONS SOUS PORT DE L'APPAREIL RESPIRATOIRE ISOLANT A CIRCUIT OUVERT.

BENEFICE(S) ATTENDUS

Amélioration de l'aisance respiratoire, amélioration de la force des muscles respiratoires, diminution de la perception de l'effort respiratoire.

DEROULEMENT DE L'ETUDE

Lors de cette étude, les différentes étapes listées ci-dessous vous seront demandées :

- un questionnaire portant votre identité et votre état santé.
- un test mimant les conditions d'interventions des sapeurs-pompiers lors d'un incendie. Ce test s'effectuera au sein de l'unité opérationnelle de Behren-lès- Forbach. Lors de ce test, vos paramètres

Note d'information / Formulaire de consentement à une recherche biomédicale.

Protocole le renforcement spécifique des muscles inspirateurs permet-il d'améliorer l'aisance et les capacités respiratoires des sapeurs-pompiers, lors de leurs interventions sous appareil respiratoire isolant à circuit ouvert ? Date de version n°0001 datée du 20/01/2020

physiques (tension artérielle, pouls, saturation en oxygène) ainsi que votre ressenti de l'effort mené (échelle de Borg et questionnaire libre) seront mesurés.

- des tests portant sur vos capacités respiratoires (spirométrie, pression inspiratoire maximale, pression expiratoire maximale, sniff test) ainsi que sur vos paramètres physiques (taille, poids, tension artérielle, pouls, saturation en oxygène, amplitudes thoraciques) seront effectuées au cabinet de masso-kinésithérapie de M.Kind situé à Stiring Wendel.
- un protocole de renforcement des muscles inspiratoires d'une durée de 4 semaines à raison de 2x30 inspirations quotidienne à l'aide d'un Powerbreathe réglé pour chaque sujet à 90% de leur Pimax.
- le remplissage d'un carnet de suivi pour le protocole qui s'effectue en autonomie.
- des tests portant sur vos capacités respiratoires (spirométrie, pression inspiratoire maximale, pression expiratoire maximale, sniff test) ainsi que sur vos paramètres physiques (taille, poids, tension artérielle, pouls, saturation en oxygène, amplitudes thoraciques) seront effectuées au cabinet de masso-kinésithérapie de M.Kind situé à Stiring Wendel.
- un test mimant les conditions d'interventions des sapeurs-pompiers lors d'un incendie. Ce test s'effectuera au sein de l'unité opérationnelle de Behren-lès-Forbach. Lors de ce test, vos paramètres physiques (tension artérielle, pouls, saturation en oxygène) ainsi que votre ressenti de l'effort mené (échelle de Borg et questionnaire libre) seront mesurés.
- le remplissage d'un questionnaire sur votre ressenti lors du protocole de renforcement ainsi que votre aisance respiratoire (échelle de Borg et questionnaire libre)

RISQUES POTENTIELS

Sensation de gêne lors des manœuvres d'inspiration contre résistance, allergie aux embouts buccaux utilisés pour les mesures et pour le renforcement musculaire.

FRAIS MEDICAUX

Votre collaboration à ce protocole de recherche biomédicale n'entraînera pas de participation financière de votre part. Conformément à la loi, tous les frais liés à l'étude seront pris en charge par le promoteur de l'étude.

LEGISLATION - CONFIDENTIALITE

Toute information vous concernant recueillie pendant cet essai sera traitée de façon confidentielle. Seuls les responsables de l'étude et éventuellement les autorités de Santé pourront avoir accès à ces données. A l'exception de ces personnes -qui traiteront les informations dans le plus strict respect du secret médical-, votre anonymat sera préservé. La publication des résultats de l'étude ne comportera aucun résultat individuel.

Si traitement informatisé des données :

Les données enregistrées à l'occasion de cette étude feront l'objet d'un traitement informatisé par le promoteur. S'agissant de données nominatives, vous bénéficiez à tout moment, du droit d'accès et de rectification des données vous concernant auprès des responsables de l'étude et, en ce qui concerne les informations de nature médicale, ce droit est exercé par l'intermédiaire de Mme.Hen Noémie et de M.Mickael Kind conformément à la loi 78-17 du 06 janvier 1978 relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, modifiée par la loi n°94-548 du 1er juillet 1994, relative au traitement des données nominatives ayant pour fin la recherche dans le domaine de la santé.

Conformément à l'article L. 1122-1 du Code de la Santé Publique (loi de Mars 2002 relative aux droits des malades les résultats globaux de l'étude pourront vous être communiqués si vous le souhaitez.

Si vous avez des questions pendant votre participation à cette étude, vous pourrez contacter le masseur-kinésithérapeute responsable de l'étude, M.Kind, tél : 06.80.43.74.19 ou Mme.Hen, tél : 07.82.18.46.21.

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à cette étude. Cela n'influencera pas la qualité des soins qui vous seront prodigués.

Vous pouvez également décider en cours d'étude d'arrêter votre participation sans avoir à vous justifier.

Nous vous remercions d'avoir pris le temps de lire cette lettre d'information. Si vous êtes d'accord pour participer à cette recherche, nous vous invitons à signer le formulaire de consentement ci-joint.

**FORMULAIRE DE CONSENTEMENT
POUR LA PARTICIPATION A UNE RECHERCHE BIOMEDICALE**

Titre de la recherche :

Le renforcement spécifique des muscles inspirateurs permet-il d'améliorer l'aisance et les capacités respiratoires des sapeurs-pompiers, lors de leurs interventions sous appareil respiratoire isolant à circuit ouvert ?

Je soussigné(e)(nom et prénom du sujet),

accepte de participer à l'étude : le renforcement spécifique des muscles inspirateurs permet-il d'améliorer l'aisance et les capacités respiratoires des sapeurs-pompiers, lors de leurs interventions sous appareil respiratoire isolant à circuit ouvert ?

Les objectifs et modalités de l'étude m'ont été clairement expliqués par Noémie Hen et/ou Mickael Kind.

J'ai lu et compris la fiche d'information qui m'a été remise.

J'accepte que les documents de mon dossier médical qui se rapportent à l'étude puissent être accessibles aux responsables de l'étude et éventuellement aux autorités de santé. A l'exception de ces personnes, qui traiteront les informations dans le plus strict respect du secret médical, mon anonymat sera préservé.

J'accepte que les données nominatives me concernant recueillies à l'occasion de cette étude puissent faire l'objet d'un traitement automatisé par les organisateurs de la recherche. Je pourrai exercer mon droit d'accès et de rectification auprès de Noémie Hen et/ou Mickael Kind.

J'ai bien compris que ma participation à l'étude est volontaire.

Je suis libre d'accepter ou de refuser de participer, et je suis libre d'arrêter à tout moment ma participation en cours d'étude. Cela n'influencera pas la qualité des soins qui me seront prodigués.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de cette étude de leurs responsabilités. Je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Après en avoir discuté et avoir obtenu la réponse à toutes mes questions, j'accepte librement et volontairement de participer à la recherche qui m'est proposée.

Fait à

le

Nom et signature de l'investigateur

Signature du sujet

ANNEXE V : Guide d'utilisation du Powerbreathe® Plus Heavy Resistance.

POWER PLUS₊ breathe

Mode d'emploi



www.powerbreathe.com

Table des matières

Introduction	1
Précautions.....	2 & 3
Description du produit	3
Commencer à utiliser votre POWERbreathe	4, 5 & 6
Formation au POWERbreathe	7 & 8
POWERbreathe pour s'échauffer avant l'exercice	9
Entretien	10
Montage du POWERbreathe	11
Coordonnées	12
Garantie et déni de responsabilités.....	13
Spécifications techniques et gamme de choix de charge	14

Introduction

Cher client,

Nous vous remercions d'avoir acheté POWERbreathe. Vous devriez commencer à ressentir les bénéfices de l'utilisation de votre POWERbreathe, correctement utilisé, en quelques semaines. POWERbreathe oxygénera de façon plus stable vos muscles, entraînant moins de manques de souffle lors des exercices ou d'activités. Il concerne tant les athlètes que les individus souffrant de problèmes respiratoires, notamment de COPD (bronchopneumopathie chronique obstructive) et d'asthme.

POWERbreathe utilise une technique connue sous le nom d'entraînement contre résistance. Celle-ci renforce les muscles respiratoires en les faisant travailler plus intensément, de la même façon que la musculature à laquelle vous pourriez faire appel pour augmenter la puissance des muscles de vos bras. En vous entraînant avec POWERbreathe, vous remarquerez que l'inspiration vous demande un effort plus intense. C'est l'effet de l'entraînement contre résistance sur les muscles utilisés pour inspirer, principalement les muscles du diaphragme et du thorax. Il n'y a pas de résistance lorsque vous expirez, vous expirez normalement, en laissant se détendre la poitrine et les muscles de la respiration et en expirant naturellement l'air hors de vos poumons.

Vous avez peut-être connaissance de certaines techniques respiratoires, comme celles qu'utilise le yoga, qui favorisent la respiration nasale. Bien que l'entraînement avec POWERbreathe impose de respirer par la bouche et non par le nez, il obéit à des principes similaires et vous permettra d'améliorer encore la puissance et le contrôle de votre respiration. POWERbreathe sera donc le complément idéal de ces techniques respiratoires.

Le régime d'entraînement POWERbreathe prouvé en laboratoire qui consiste à pratiquer 30 inspirations, en principe deux fois par jour ne demande que quelques minutes. Pour être sûr de profiter au maximum de votre POWERbreathe, veuillez lire attentivement ce livret d'instructions et prendre le temps de vous habituer à votre POWERbreathe.

Pour activer la garantie
Veuillez vous assurer d'enregistrer l'achat de votre POWERbreathe en vous rendant sur le site www.powerbreathe.com
Merci.

1

Précautions d'emploi

POWERbreathe - La stimulation des muscles respiratoires (RMT en anglais) / stimulation des muscles inspiratoires (IMT en anglais) se fait sans médicaments ; elle convient donc à presque tout le monde et ne devrait causer aucun effet secondaire nocif, utilisée correctement. En cas de doutes quant à l'adéquation de votre appareil POWERbreathe Plus, ou en cas de problèmes de santé, veuillez consulter votre médecin.

Veuillez lire les précautions et CONTRE-INDICATIONS suivantes afin de vous assurer d'utiliser le POWERbreathe Plus en toute sécurité et de la manière convenable :

PRÉCAUTIONS :

- N'apportez pas de modifications à des médicaments prescrits ou à un programme de traitement prescrit, sans consulter votre médecin
- Dans le but de prévenir la transmission potentielle d'infections, nous vous recommandons de ne pas prêter votre POWERbreathe Plus à d'autres utilisateurs, notamment aux membres de leur famille
- Ce produit n'a pas pour but de diagnostiquer, traiter, soigner ou prévenir quelque maladie que ce soit.
- Le POWERbreathe Plus ne doit être utilisé que pour exercer les muscles inspiratoires. Aucune autre utilisation n'est prévue ou sous-entendue.
- Toute personne de moins de 16 ans ne devrait utiliser le POWERbreathe RMT / ITM que sous la supervision d'un adulte.
- Le POWERbreathe Plus contient des petites pièces et ne convient pas aux enfants moins de 7 ans
- Lors de toute stimulation à l'aide du POWERbreathe Plus, vous devez sentir une résistance lors de l'inhalation mais sans ressentir de douleurs. Si vous ressentez une ou des douleurs en utilisant le POWERbreathe Plus, cessez immédiatement de l'utiliser et consultez votre médecin
- Certains utilisateurs peuvent ressentir un léger inconfort au niveau de l'oreille lorsqu'ils utilisent le POWERbreathe Plus,

surtout s'ils se remettent d'un rhume. L'insuffisance d'équilibre de la pression entre la bouche et les oreilles en est la cause. Si les symptômes persistent, consultez votre médecin.

• Si vous souffrez d'un rhume, d'une sinusite ou d'une infection des voies respiratoires, nous vous conseillons de ne pas utiliser votre POWERbreathe Plus avant la disparition des symptômes. En cas de doute, consultez votre médecin.

En outre, les conditions suivantes ont été mises en évidence, et nécessitent les conseils d'un professionnel de la santé, avant l'utilisation d'un appareil POWERbreathe Plus :

- Des antécédents de pneumothorax spontané (un affaissement pulmonaire, qui n'était pas dus à une lésion traumatique, par exemple à une côte cassée) car ils peuvent conduire à une nouvelle condition de ce type. Suite à un pneumothorax traumatique et / ou une côte cassée, le POWERbreathe Plus ne doit pas être utilisé avant le rétablissement complet.
- Hypertension artérielle pulmonaire
- Grosses bulles sur une radio de la poitrine
- Ostéoporose marquée accompagnée d'antécédents de fractures des côtes
- Désaturation pendant ou après IMT (< 94 %)

CONTRE-INDICATIONS: la stimulation des muscles respiratoires (RMT) / des muscles inspiratoires (IMT), notamment la stimulation

2

Précautions d'emploi

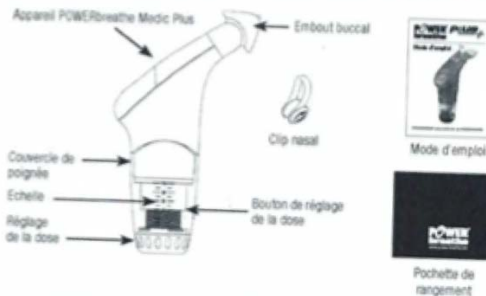
À l'aide du POWERbreathe Plus, n'est pas recommandée chez les patients présentant certaines affections telles que :

- Le POWERbreathe Plus ne convient pas aux patients asthmatiques, déclenchant peu les symptômes et souffrant d'excacerbations fréquentes et graves, ou déclençant peu la dyspnée.
- N'utilisez pas le POWERbreathe Plus si vous souffrez d'une déchirure du tympan ou de toute autre affection de l'oreille.
- Le POWERbreathe Plus ne convient pas aux patients dont la pression et le volume ventriculaire en fin de diastole, sont élevés dans le ventricule gauche.
- Le POWERbreathe Plus ne convient pas aux patients dont les signes d'insuffisance cardiaque et symptômes sont plus sérieux après une RMT / MT.

Veuillez-vous rappeler : en cas de doute, consultez votre médecin spécialiste des voies respiratoires ou pneumologue.

Il est cliniquement prouvé que la RMT / MT par POWERbreathe peut améliorer les symptômes, la tolérance à l'exercice et la qualité de vie dans le cas des principales maladies décelantes telles que la MPOC, l'asthme et l'insuffisance cardiaque. Si vous-même ou votre médecin souhaitez obtenir davantage d'informations sur l'efficacité clinique des appareils POWERbreathe, veuillez visiter notre site Internet (www.powerbreathe.com). En cas de questions supplémentaires concernant POWERbreathe, veuillez contacter le distributeur POWERbreathe de votre pays.

Description du produit



Vos débuts avec POWERbreathe

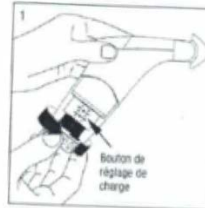


Schéma 1 : Réglage du POWERbreathe

Retirez le dispositif POWERbreathe Plus et le clip nasal de l'emballage. En tenant POWERbreathe Plus verticalement, exercez-vous à régler la charge d'entraînement : faites tourner le bouton de réglage de charge dans le sens des aiguilles d'une montre pour augmenter la charge d'entraînement et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour diminuer le niveau d'entraînement. Observez l'échelle graduée qui se trouve sur le côté du POWERbreathe Plus. Lorsque vous tourez le bouton de réglage de charge, le manchon indicateur de charge interne se déplace vers le haut ou vers le bas, indiquant votre charge actuelle d'entraînement sur cette échelle.

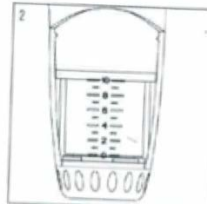


Schéma 2 : Charge 0

Régalez maintenant le POWERbreathe Plus à la charge 0. À cette charge, la base du manchon blanc interne doit être alignée avec la charge la plus basse de l'échelle, comme indiqué sur le schéma. **Remarque : N'essayez pas d'abaisser la charge en dessous de la charge 0, cela pourrait endommager le filetage de réglage.**

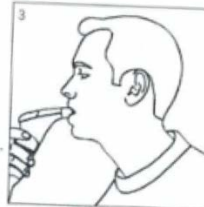


Schéma 3 : Mettez le POWERbreathe Plus dans votre bouche

installez-vous en position assis ou debout et détendez-vous. En tenant POWERbreathe Plus par la poignée, placez l'embout buccal dans la bouche, les lèvres le recouvrant hermétiquement, en maintenant fermement les parties à mordre entre les mâchoires supérieure et inférieure.

Vos débuts avec POWERbreathe



Schéma 4 : Inhalation par le POWERbreathe Plus

Videz vos poumons au maximum puis inspirez rapidement et énergiquement par la bouche. Inspirez autant d'air que vous le pouvez, aussi vite que possible, en redressant le dos et en gonflant la poitrine.

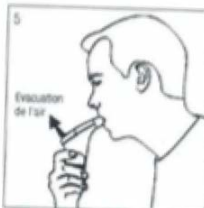


Schéma 5 : Expiration par le POWERbreathe Plus

Expirez maintenant lentement et passivement par la bouche jusqu'à ce que vos poumons soient vides, en laissant les muscles de votre poitrine et de vos épaules se détendre. Faites une pause jusqu'à ce que vous ressentiez à nouveau le besoin d'inspirer. Répétez l'exercice jusqu'à ce que vous vous sentiez à l'aise pour respirer avec POWERbreathe Plus.

Note : n'haitez pas. Si vous avez la tête qui tourne, ralentissez et faites une pause après une expiration.



Schéma 6 : Utilisation du clip nasal.

Mettez à présent le clip nasal de façon à ce qu'il comprime vos narines, comme indiqué sur le schéma. Continuez à vous exercer en inspirant vigoureusement puis en expirant lentement et à fond. Note : le clip nasal aide à respirer par la bouche plutôt que par le nez. Il n'est cependant pas indispensable et certains préfèrent s'entraîner sans clip nasal.

Vos débuts avec POWERbreathe

vez la charge d'entraînement qui vous convient

yez d'effectuer 30 respirations complètes sur la charge 0 en suivant la méthode de ration décrite. Si dans un premier temps, vous ne parvenez pas à effectuer les 30 rations d'affilée, ne vous inquiétez pas. Chacun est différent et construire vos muscles ratoires peut demander du temps.

vous arrivez facilement à effectuer les 30 respirations, tournez le bouton de réglage de arge dans le sens des aiguilles d'une montre pour augmenter le niveau d'entraînement, puis rouvez les exercices.

augmentant ainsi graduellement la charge jusqu'à ce que vous parveniez juste à effectuer 30 respirations, vous découvrirez quel est la charge d'entraînement la mieux adaptée à ée cas.

usque vous auez découvert cette charge, fixez-vous pour objectif d'effectuer 30 respirations ux fois par jour, le matin et le soir.

z le temps, vous découvrirez qu'il devient facile d'effectuer 30 respirations. gmentez alors la charge d'entraînement d'environ un quart de tour, de façon à juste nvenir à effectuer 30 respirations. Note : l'échelle n'est là qu'à titre indicatif. Ne vous sentez es obligés d'avancer d'une graduation complète chaque fois que vous augmentez votre charge d'entraînement.

retien de votre respiration

es quatre à six semaines, vos muscles respiratoires devraient s'être considérablement orcés et vous ne devriez pas être essouffé pendant l'activité. Il vous suffira d'utiliser ERbreathe Plus deux fois tous les deux jours pour continuer à être moins essouffé et à étir de performances améliorées. Utilisez votre POWERbreathe Plus deux fois par jour pour suffire orlner de profiter d'une réduction des manques de souffle, et améliorerez les performances i des exercices.

POWERbreathe et formation

POWERbreathe Plus dispose d'une charge d'entraînement commençant à une charge à laquelle tout le monde devrait s'habituer. Au début, concentrez-vous sur votre respiration. Dans ce cas, nous conseillons de laisser la charge d'entraînement à 0 pendant la première semaine. Essayez d'effectuer 30 respirations, deux fois par jour. Essayez de respirer 30 fois, deux fois par jour. Si vous ne parvenez pas à effectuer les 30 respirations à la suite, reposez-vous une minute et recommencez, jusqu'à ce que vous atteigniez 30 respirations en tout.

Quand vous arrivez facilement à effectuer plus de 30 respirations sans vous arrêter, augmentez la charge d'entraînement d'un quart de tour. Après cette augmentation, il se peut qu'à la séance suivante vous ne puissiez pas effectuer 30 respirations d'affilée. Continuez à vous entraîner à cette charge et vous devriez bientôt parvenir à 30 respirations à la suite. Chaque fois que vous arrivez facilement à effectuer plus de 30 respirations sans vous arrêter, augmentez la charge d'entraînement. Fixez-vous comme objectif d'augmenter la charge d'entraînement d'un quart de tour chaque semaine.

Lorsque vous commencez l'entraînement avec le POWERbreathe Plus, vous trouverez que vous pouvez respirer plus de 30 fois à une charge 0. Si tel est le cas, augmentez la charge d'entraînement d'un quart de tour chaque jour. Vous atteindrez rapidement une charge qui vous demandera un effort et aurez du mal à effectuer 30 respirations d'affilée. Lorsque vous atteignez cette charge, ne augmentez la charge que lorsque vous effectuerez de nouveau plus de 30 respirations avec facilité.

Que vous soyez un athlète de premier plan ou que vous vouliez simplement monter un escalier sans être essouffé, n'oubliez pas que POWERbreathe Plus doit être utilisé régulièrement. Plus vous consacrez d'efforts à votre entraînement avec POWERbreathe Plus, plus vous en ressentirez les bénéfices. Toutefois, ne soyez pas lent à effectuer plus de deux séries de 30 respirations par jour, ou plus de 30 respirations par séance. Efforcez-vous plutôt d'atteindre la charge la plus exigeante pour 30 respirations deux fois par jour. N'oubliez pas que la récupération est une composante importante du processus d'entraînement et que vos muscles inspiratoires ont besoin de temps pour se reposer et s'adapter entre les séances d'entraînement.

7

POWERbreathe Plus pour l'échauffement avant l'exercice

Des recherches ont montré que l'échauffement standard avant l'exercice physique néglige d'échauffer les muscles respiratoires, ce qui entraîne un essouffement excessif pendant le début de l'exercice. POWERbreathe Plus peut être utilisé pour échauffer ces muscles de façon spécifique avant l'exercice, en utilisant une charge réduite.

Pour ce faire, vous devez d'abord déterminer votre charge d'entraînement actuelle et en vérifiant la position du manchon indicateur de charge d'entraînement sur l'échelle graduée. Pour les exercices d'échauffement, la résistance de POWERbreathe Plus doit être réglée à 80 % environ de votre résistance normale à l'entraînement. Le tableau suivant peut vous servir de guide pour calculer votre charge d'échauffement idéale à partir de votre charge d'entraînement actuelle.

Charge d'entraînement actuelle	Charge d'échauffement idéale
10	8
9	7
8	6,5
7	5,5
6	5
5	4
4	3
3	2,5
2	1,5
1	1
0	0

Après avoir réglé POWERbreathe Plus à la charge appropriée pour l'échauffement, effectuez deux séries de 30 respirations avec deux minutes de repos entre chaque série. Essayez d'inspirer profondément et énergiquement. Cet échauffement doit être effectué dans les cinq minutes qui précèdent l'activité physique, l'entraînement ou la compétition.

(NOTE : un tour complet du bouton de réglage de charge augmente ou diminue la résistance d'un niveau.)

9

POWERbreathe et formation

Remarque : Les consignes d'entraînement suivantes imposent un effort assez important et nous les conseillons uniquement à ceux qui ont l'habitude de pratiquer une activité physique exigeante.

POWERbreathe Plus est analogue à tous les entraînements : son résultat dépend de vos efforts, et si vous cessez de l'utiliser, ses bénéfices disparaissent peu à peu. Si vous utilisez POWERbreathe Plus pour améliorer vos performances, vous souhaitez peut-être, au-delà de la pratique régulière de votre entraînement POWERbreathe Plus, aller un peu plus loin.

Lorsque vous vous entraînez avec POWERbreathe Plus pour les performances, utilisez le même programme d'entraînement « 30 respirations deux fois par jour », mais soyez conscient que seul un entraînement intense vous procurera des bénéfices optimaux. En d'autres termes, respirez aussi profondément et aussi énergiquement que vous le pouvez et tentez d'atteindre l'« échec » dans le cadre des 30 respirations. « Échec » signifie que, lorsque vous atteignez 30 respirations, vous ne pouvez pas effectuer une respiration complète. Si vous décourrez que vous pouvez effectuer plus de 30 respirations avec facilité, augmentez votre charge d'entraînement d'un quart de tour. Peut-être n'atteindrez-vous pas les 30 respirations à votre séance suivante, mais insistez, en quelques jours vous y arriverez à nouveau. De cette façon, vous vous entraînez toujours à la charge optimale.

Plus vite vous terminez les 30 respirations, plus l'effet de l'entraînement sera sensible sur vos muscles inspiratoires. Pour un bénéfice optimal, effectuez les 30 respirations aussi vite que possible sans avoir d'étourdissement. Si vous avez un étourdissement, faites une pause à la fin d'une respiration et attendez de ressentir le besoin de respirer à nouveau. Ne soyez pas tenté de vous entraîner plus de deux fois par jour, ou d'effectuer plus de 30 respirations en une séance. N'oubliez pas que la récupération est une composante importante du processus d'entraînement et que vos muscles inspiratoires ont besoin de temps pour se reposer et s'adapter entre les séances d'entraînement avec POWERbreathe Plus.

8

oins et entretien

évaluations d'emploi

POWERbreathe Plus est conçu pour être aussi robuste et durable que possible. Avec quelques ans, votre POWERbreathe Plus devrait durer de nombreuses années. Veuillez lire les précautions d'emploi ci-après pour veiller à ce que votre POWERbreathe Plus reste en parfait état :

Ne tentez pas d'abaisser la charge en-dessous de la charge 0, qui correspond au réglage minimum : essayer de dévisser davantage le mécanisme risque d'endommager le réglage de réglage.

Ne tentez pas de séparer les parties supérieure et inférieure du corps principal du dispositif, elles doivent rester emboîtées en permanence.

Conservez votre POWERbreathe Plus dans la poche de rangement fournie ou un récipient propre adapté. Assurez-vous toujours que votre POWERbreathe Plus soit sec avant de le ranger.

ettoyage

endant son utilisation, votre POWERbreathe est exposé à la salive ; nous vous conseillons de le nettoyer fréquemment pour le maintenir en bon état de fonctionnement.

Plusieurs fois par semaine, faites tremper votre POWERbreathe dans de l'eau tiède pendant dix minutes environ puis frottez-le avec un chiffon doux sous de l'eau courante tiède, en accordant une attention particulière à l'embout buccal. Secouez-le pour éliminer l'excès d'eau et laissez-le sécher sur une serviette propre.

Une fois par semaine, suivez la même procédure mais trempez votre POWERbreathe dans un solution de nettoyage douce ou approuvée au lieu de le mettre dans de l'eau. Le solution de nettoyage utilisée doit être utilisée sur le matériel touchant la bouche, notamment celles utilisées sur les bouteilles pour les bébés. Les tablettes nettoyantes POWERbreathe peuvent être achetées chez tous les revendeurs du monde entier, ou rendez-vous sur le site www.powerbreathe.com pour de plus amples détails.

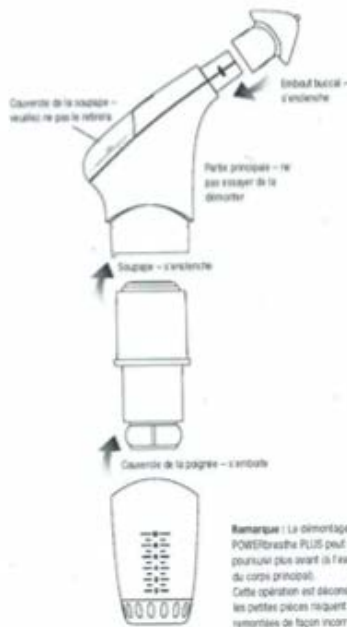
Pour conserver votre POWERbreathe Plus dans un état parfait, rincez-le après utilisation en le tenant à l'envers sous un robinet pour que l'eau puisse circuler dans l'appareil. Secouez-le pour éliminer l'excès d'eau et laissez-le sécher sur une serviette propre.

Si un plus amples nettoyage est nécessaire, le POWERbreathe Plus peut être démonté comme indiqué le schéma en page 11. Si vous le démontez, faites attention de ne pas perdre de pièces.

Note : le POWERbreathe Plus ne doit pas être lavé au lave-vaisselle.

10

Montage du POWERbreathe PLUS



11

Spécifications techniques

Embout	Élastomère thermoplastique (TPE)
Couvercle de poignée transparent	Polycarbonate
Ajusteur au bouchon soyeux	ABS avec Santoprene surmoulant
Clape	silicone 60
Joint torique	Caoutchouc de nitrile
Caoutchouc clip nasal	silicone 40
Clip nasal	nylon
Tous les autres composants	ABS (acrylonitrile butadiène styrène)

Remarque : Les matériaux répondent aux normes FDA en ce qui concerne la composition, les additifs et les propriétés, le cas échéant en conformité avec la directive 93/42/CEE relative aux dispositifs médicaux Annexe I (Exigences essentielles).

Plage de sélection de charge

Les réglages précis de la charge peuvent varier en fonction de : (1) la hauteur analogique du ressort de tension étalonnée, et de la précision à laquelle la charge est choisie, (2) du petit effet du débit respiratoire sur la compression du ressort, notamment que les hauts débits respiratoires entraînent une plus grande compression du ressort, et un petite augmentation de la charge (Caine & McConnell, 2000). Cet effet est habituel à tous les dispositifs utilisant un ressort, et sa taille est décuplée en augmentant la gamme de ressorts (elle est plus importante avec un ressort d'une plage maximale de 90cmH₂O comparée à un ressort d'une plage moyenne), elle est aussi plus importante sur des réglages inférieurs absolus de charge (Caine & McConnell, 2000).

Caine MP & McConnell AK. (2000). Mise au point et évaluation d'un entraîneur des muscles respiratoires à limite de pression, devant être utilisé dans le contexte des performances sportives. Journal of Sports Engineering 3, 149-159.

Modèle	Charge (- cmH ₂ O) à 1Lsec-1										
	Paramètre de charge										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RL	17	25	33	41	49	58	66	74	82	90	98
RM	23	39	55	72	88	104	121	137	153	170	186
RI	29	53	78	102	127	151	176	200	225	249	274

RL	RM	RI	Clé des niveaux de résistance
RESISTANCE LEGERE	RESISTANCE MOYENNE	RESISTANCE IMPORTANTE	Niveau d'introduction pour les nouveaux usagers. Résistance légère Pour les personnes de traitement en forme à long et court terme. Résistance moyenne Uniquement pour ceux ayant atteint la charge maximale sur un mode de résistance moyenne. Résistance importante

14

Garantie (veuillez conserver ces informations)

* Cette garantie permet à l'acheteur de disposer de droit légaux spécifiques. L'acheteur peut également disposer d'autres droits. POWERbreathe International Ltd. garantit par la présente à l'acheteur, dont le nom doit être dûment inscrit sur celui-ci, que le produit qui lui est vendu est exempt de défauts pièces et main d'œuvre. Les obligations de POWERbreathe International Ltd. conformément à cette garantie, se limitent aux réparations ainsi qu'au remplacement de cette appareil ou de pièces de l'appareil, faisant suite à inspection pièce et main d'œuvre. Une mauvaise utilisation, un abus, des accidents ou la négligence de prendre certaines précautions, un mauvais entretien ou utilisation commerciale, des boîtiers cassés ou fêlés, ne sont pas couverts par cette garantie. Au cours de la garantie de deux ans, le produit sera réparé ou remplacé (à notre discrétion et sans frais). Le garantie de couvre pas les dégâts ou dégâts consécutifs dus à un entretien non autorisé par POWERbreathe International Ltd.

Les garanties ci-contenues remplacent expressément toute autre garantie, notamment toute garantie sous entendue de qualité marchande et / ou d'adéquation à cette utilisation.

Clause d'exemption de responsabilité

Les appareils POWERbreathe ne sont pas des jouets. Ce produit est conçu exclusivement à des fins d'exercices respiratoires. Tout autre usage est déconseillé.

Demandez toujours l'avis de votre médecin ou autre professionnel de la santé, en cas de questions concernant un certain état de santé. Ce produit n'a pas pour but de diagnostiquer, soigner ou prévenir quelle que maladie que ce soit. Les résultats peuvent varier individuellement. Aucune revendication n'est émise ni impliquée concernant l'utilisation du présent équipement, ou les résultats de son utilisation.

Toujours lire le mode d'emploi avant utilisation. Les informations contenues dans ce manuel ne sont données qu'à titre informatifs.

Les appareils POWERbreathe contiennent de petites pièces, et ne conviennent pas aux enfants de moins de 7 ans.

Remarque : Ce produit est étanché à titre d'hygiène, et ne peut être renvoyé si le joint est brisé.

POWERbreathe International Ltd n'émet aucune affirmation ni garantie quant à ce manuel ou aux produits ci-décrits. POWERbreathe International Ltd ne pourra être tenue responsable de tout dégt, direct ou consécutif, spécial, survenant ou lié à l'utilisation de ce matériel ou des produits ci-décrits.

POWERbreathe est un produit protégé par copyright sur la conception, et breveté. Tout droit réservé. Le programme de développement permanent du fabricant peut entraîner des modifications sans préavis des spécifications.

Le logo POWERbreathe est une marque déposée de POWERbreathe Holdings Ltd.

Tous les noms des produits POWERbreathe sont des marques ou des marques déposées appartenant à POWERbreathe Holdings Ltd.

Tous les renseignements sont exacts à la date de mise sous presse.

POWERbreathe Holdings Ltd. E & OE © 02/2019

13

ANNEXE VI : présentation de la manœuvre type SP.

1 : Effectuer 5 tours du fourgon pompe tonne en trottinant.



Figure 1 : Photographie du fourgon pompe tonne.

2 : S'équiper de la tenue de feu complète (sur pantalon, veste de feu, casque) et ARICO sans le capeler.



Figure 2 : Photographie montrant l'étape habillage en tenue feu urbain.

3 : Dérouler les tuyaux.



Figure 3 : Photographie montrant l'étape visant à dérouler les tuyaux.

4 : Connecter les tuyaux.



Figure 4 : Photographie montrant l'étape de connexion des tuyaux.

5 : Dresser l'échelle.



Figure 5 : Photographie montrant l'étape visant à dresser l'échelle

6 : Capeler l'ARICO.



Figure 6 : Photographie montrant l'étape visant à capeler l'ARICO.

7 : Passer le tuyau entre les jambes et monter l'échelle.



Figure 7 : Photographie montrant l'étape visant à monter l'échelle.

8 : Franchir la fenêtre.



Figure 8 : Photographie montrant l'étape visant à franchir la fenêtre.

Vidéo 2 disponible : <https://noemiehen.wixsite.com/website>

9 : Tirer le tuyau jusqu'à l'étage, effectuer la réserve.



Figure 9 : Photographie montrant l'étape visant à monter un tuyau à l'étage.

Vidéo 3 disponible : <https://noemiehen.wixsite.com/website>

10 : Effectuer un passage de porte.



Figure 10 : Photographie montrant l'étape visant à effectuer le passage de porte.

Vidéo 4 disponible : <https://noemiehen.wixsite.com/website>

11 : Parcourir les 5 mètres.



Figure 11 : Photographie montrant l'étape de parcours des 5m.

12 : Effectuer le passage d'obstacle.



Figure 12 : Photographie montrant l'étape du passage d'obstacle.

Vidéo 5 disponible : <https://noemiehen.wixsite.com/website>

13 : Parcourir 10 mètres.



Figure 13 : Photographie montrant l'étape de parcours des 10m.

14 : Trouver la victime de 80kg, la tracter hors de la pièce sur 15m avec le passage d'obstacle.



Figure 14 : Photographie montrant l'étape de tracter la victime hors de la pièce et d'effectuer avec elle le passage d'obstacle.

Vidéo disponible 6: <https://noemiehen.wixsite.com/website>

ANNEXE VII : Échelle de Borg modifiée et protocole standardisé utilisé lors de ce mémoire.

Cote	Perception
0	Rien du tout
0,5	Très très facile
1	Très facile
2	Facile
3	Moyen
4	Un peu difficile
5	Difficile
6	
7	Très difficile
8	
9	
10	Très très difficile (presque maximal)

LÉGENDE :

	Intensité faible
	Intensité modérée
	Intensité élevée

Figure 1 : Echelle de Borg modifiée.

Voici une échelle vous permettant d'évaluer la perception de l'effort que vous venez de fournir lors de la manœuvre mimant les conditions d'intervention du sapeur-pompier sous port de l'appareil respiratoire isolant. Vous allez évaluer l'intensité de l'effort que vous avez fourni. Lisez l'échelle en entier. La première valeur ne correspond « pas d'effort du tout » et la dernière « effort très très difficile, presque maximal ». La perception de l'effort fournit tient compte de différents paramètres : force développée, fatigue, gênes physique, douleur musculaire, essoufflement. Essayer d'être le plus objectif possible, ne surestimez pas ni ne sous-estimez pas votre perception. Très bien, lisez l'échelle en commençant par lire les adjectifs.

Donnez moi dans un premier temps l'adjectif puis le chiffre qui lui est associé. Vous pouvez donner les valeurs intermédiaires comme 5,5 ou 9,5.

Avez-vous compris ?

ANNEXE VIII : Re transcription du ressenti individuel lors de l'entretien, nuage de mot, tableau et graphiques des notes par participants et moyennes par groupe.

Tableau I : Re transcription du ressenti individuel lors de l'entretien après la manœuvre pré-protocole.

N° d'anonymat	Note données à l'échelle de BORG modifiée	Ressenti individuel recueilli lors de l'entretien individuel
1	3	Ça a été, je n'ai pas senti de difficultés particulières
2	3	J'ai ressenti un essoufflement et un manque de condition physique
3	6	On ne peut pas se mouvoir naturellement. Ça ajoute du stress à la manoeuvre. On ressent plus de pression sur les épaules et le corps. Il faut développer plus de force que normalement pour le même exercice. C'est un effort qu'on ne fait pas d'habitude. On ressent surtout l'effet du poids de l'appareil quand on est au sol et qu'il faut passer sous les obstacles. Je ressens une sensation de blocage dans la poitrine quand je veux respirer. En plus il y a une gêne quand on veut monter la tête pour regarder en l'air. Il faut canaliser sa respiration.
4	4,5	La nuque est bloquée quand on veut regarder en l'air. Ça me tire au niveau de la nuque et des épaules. Je me sens plus large. L'appareil rajoute du poids et de la chaleur. Je me suis senti essoufflé pendant la manoeuvre.
5	3	J'ai ressentie de la fatigue, mais pas de difficulté supplémentaire à par quand il a fallu tirer la victime, c'était plus difficile.
6	7	L'appareil est très lourd. J'ai été très essoufflé durant la manoeuvre. Je pense que je ne suis pas en assez bonne force physique. A la fin de la manoeuvre j'étais très fatigué. Je sentais que l'appareil tirait plus et qu'il fallait que j'inspire plus en tirant plus sur la soupape à la demande. J'ai senti des vertiges et des tremblements à la fin de l'exercice. J'ai beaucoup transpiré.
7	4,5	J'ai ressenti de la fatigue musculaire et de l'essoufflement. C'était un effort important pour moi. J'ai ressenti de la gêne lors des mouvements. J'avais l'impression que mon périmètre thoracique était augmenté. J'ai également senti des difficultés lorsque je voulais lever la tête quand on a mis en place l'échelle. J'ai senti des difficultés quand il fallait passer sous les obstacles, c'était plus physique et difficile pour se mouvoir. J'ai aussi eu de moments de perte d'équilibre à cause de l'ARICO.
8	7	J'ai ressenti des contraintes de poids. Je me sentais isolé de l'environnement autour de moi. L'effort était soutenu. Le pire c'est quand il a fallu porter la victime. C'était vraiment un effort intense. Les mouvements étaient plus difficile surtout à cause de la contrainte de poids de l'ARICO. Avec l'appareil on ne peut pas respirer plus vite, il limite la respiration.
9	5,5	J'ai surtout ressenti le surpoids de la bouteille qui entraîne à la chute. L'effort physique était important. J'ai senti une douleur costale au niveau du diaphragme comme un point de côté. J'ai beaucoup transpiré.
10	2	L'exercice ne m'a pas demandé beaucoup d'effort. J'ai juste eu une gêne lors des déplacements car il fallait adapter des positions différentes.



Figure 1: Nuage de mots des mots les plus utilisés lors du ressenti individuel recueilli durant l'entretien après la manœuvre pré-protocole.

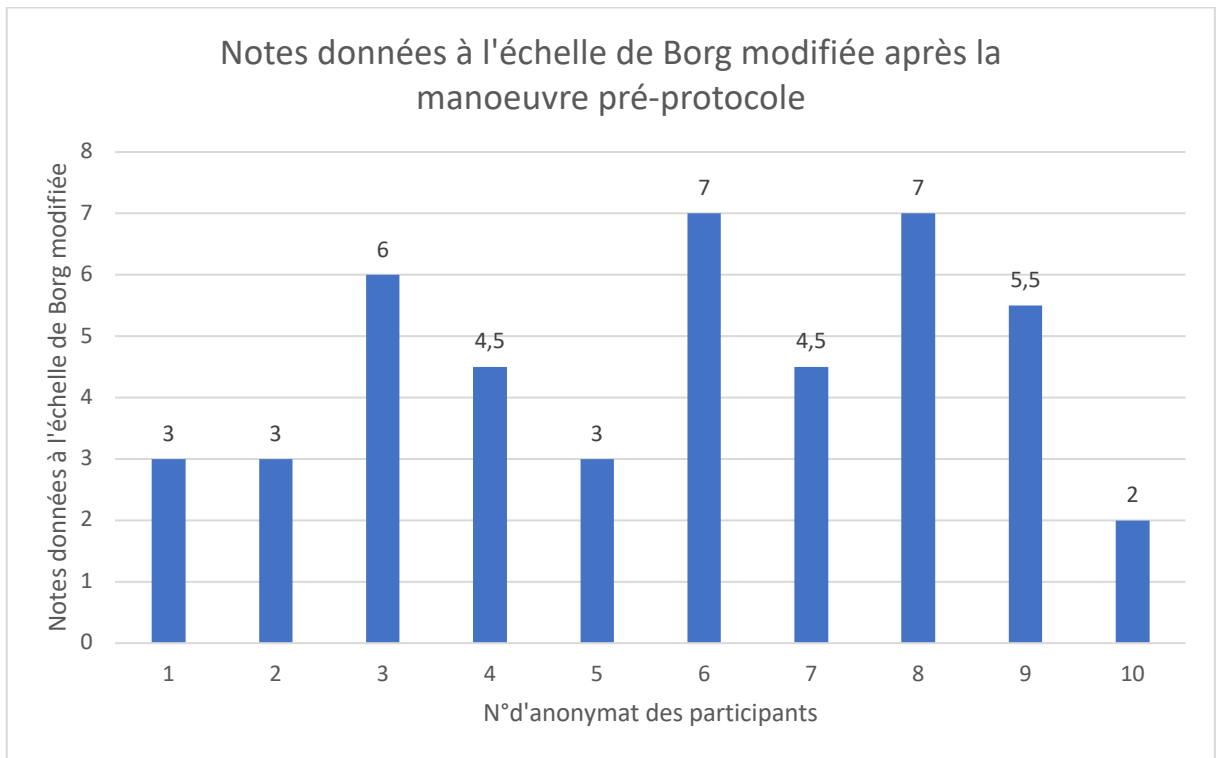


Figure 2: Notes données à l'échelle de Borg modifiées après la manœuvre pré-protocole.

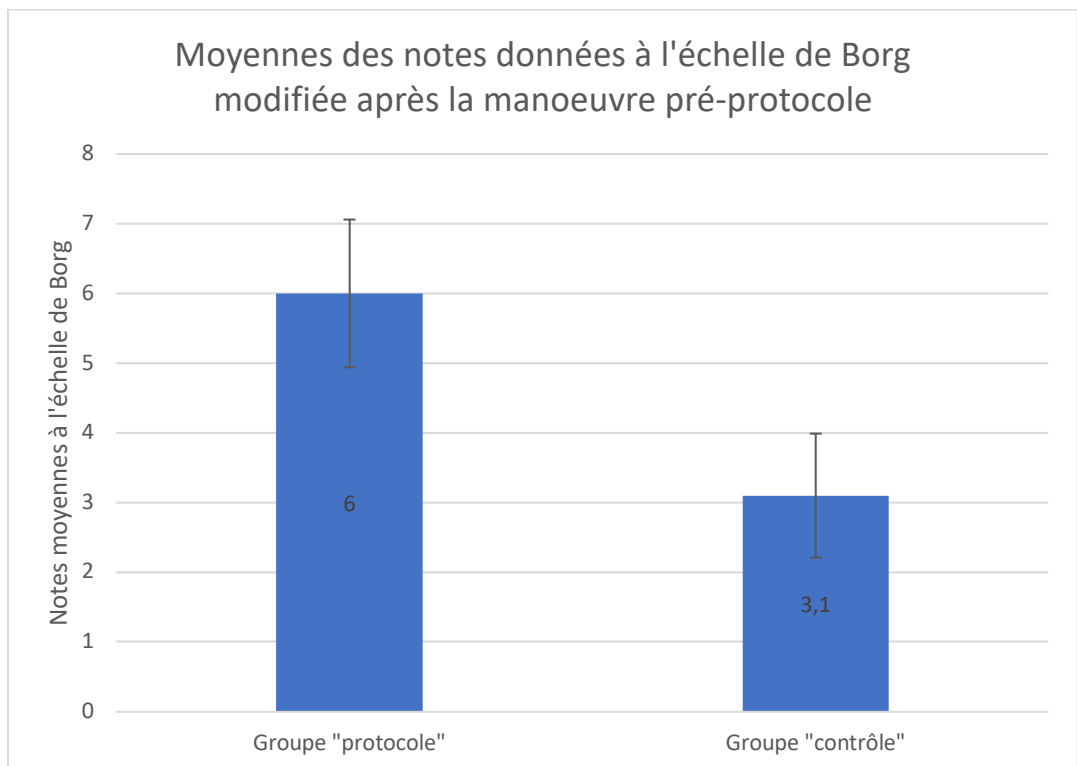


Figure 3: Moyennes par groupe des notes données à l'échelle de Borg modifiée après la manœuvre pré-protocole.

ANNEXE IX : tableaux et figure présentant les participants des deux groupes ainsi que les mesures recueillis pour chaque participant.

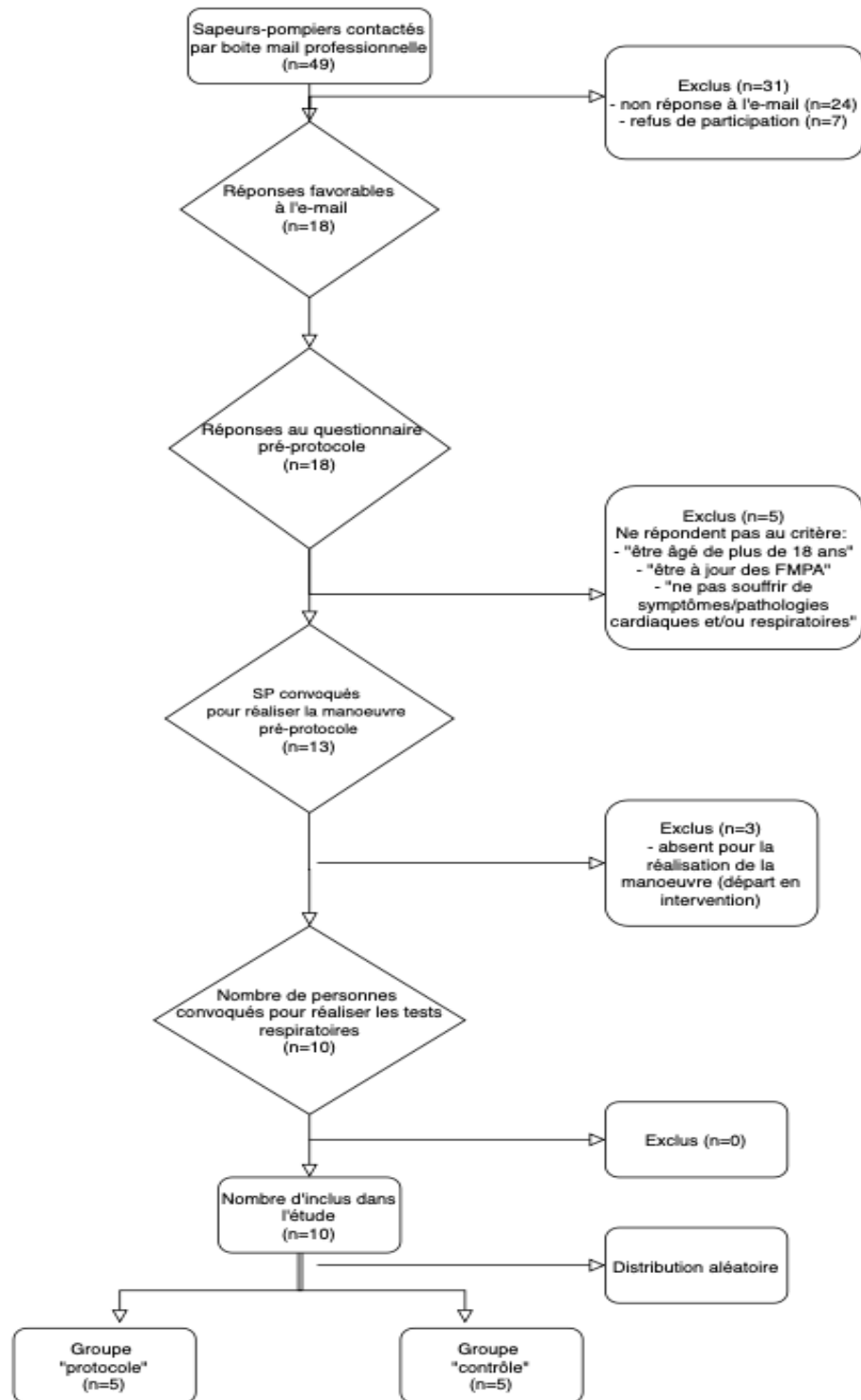


Figure 1: Diagramme de flux présentant la sélection des participants de l'étude.

Tableau I : Présentation des paramètres des participants au groupe « protocole ».

N° d'anonymat	Age	Sexe	Taille	Poids	IMC	Tabagisme	Nombre de paquets par jour	Nombre d'années de tabagisme	Grade	Nombre d'années de service	Sport	Nombre d'heures / semaine
3	19	M	176	68	22	oui	1	4	Sapeur première classe	3	Non	0
6	34	F	180	81	25	non	0	0	Caporal	12	Fitness	2
7	23	F	165	58	21,3	non	0	0	Caporal	6	Non	0
8	31	M	181	92	28,1	non	0	0	Sergent	15	Non	0
9	38	M	184	71	21	non	0	0	Adjudant-chef	20	Course à pied	1

Tableau II: Présentation des paramètres des participants au groupe « contrôle ».

N° d'anonymat	Age	Sexe	Taille	Poids	IMC	Tabagisme	Nombre de paquets par jour	Nombre d'années de tabagisme	Grade	Nombre d'années de service	Sport	Nombre d'heures / semaine
1	43	M	178	80	25,2	non	0	0	Sapeur première classe	4	Football	1
2	19	F	164	76	28,3	oui	0,5	2	Sapeur première classe	2,5	Cardio-hit	2
4	21	M	171	70	23,9	oui	0,5	3	Caporal	5	Cardio-hit	2
5	38	M	174	82	27,1	non	0	0	Sapeur première classe	3	Non	0
10	19	M	175	64	20,9	non	0	0	Sapeur seconde classe	1	Football	10

Tableau III: Récapitulatif des expositions aux fumées au cours des 2 derniers mois ainsi que du nombre d'interventions incendies et positions dans l'équipage.

N° d'anonymat	Exposition aux fumées les 2 derniers mois	Nombre de fois en tant que BAT les 2 derniers mois	Nombre de fois en tant que BAT + ARI les 2 derniers mois	Nombre de fois en tant que BAL les 2 derniers mois	Nombre de fois en tant que BAL + ARI les 2 derniers mois	Nombre de fois en tant que conducteur les 2 derniers mois	Nombre de fois en tant que CA les 2 derniers mois
1	non	1	1	1	0	0	0
2	non	5	1	1	0	0	0
3	oui	3	1	1	0	0	0
4	non	5	2	3	0	0	0
5	non	1	0	1	0	10	0
6	non	0	0	0	0	0	0
7	oui	1	0	0	0	0	0
8	oui	1	1	0	0	0	0
9	non	0	0	0	0	0	2
10	non	1	0	3	0	0	0

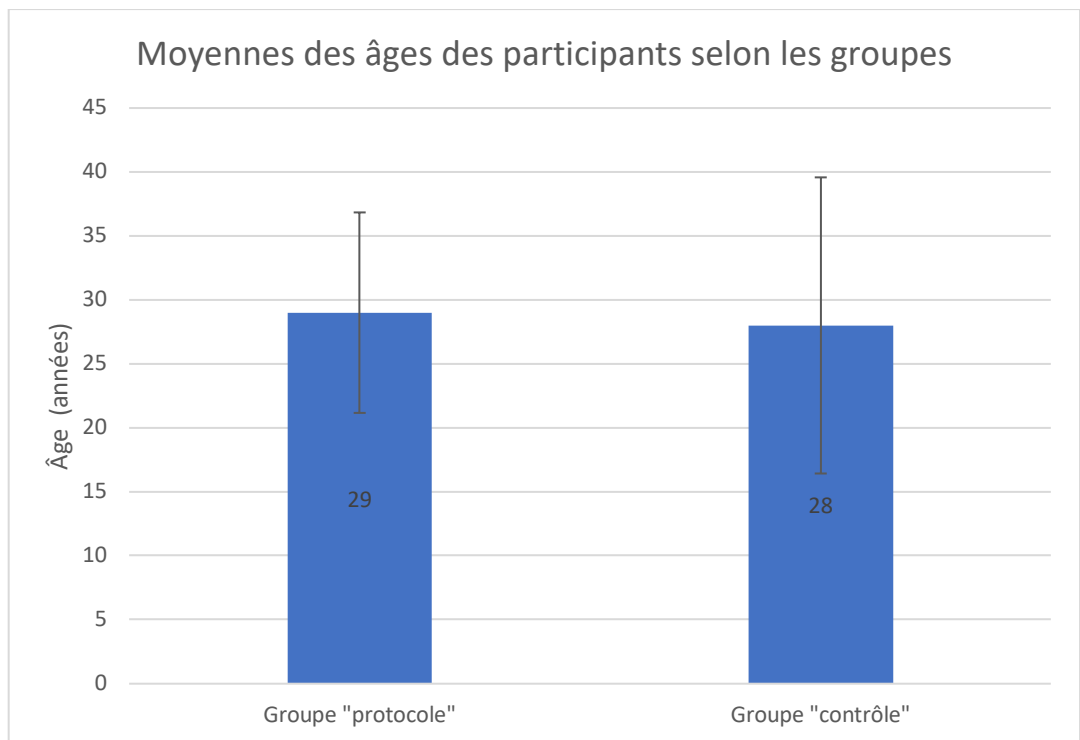


Figure 2: Moyennes des âges des participants par groupe.

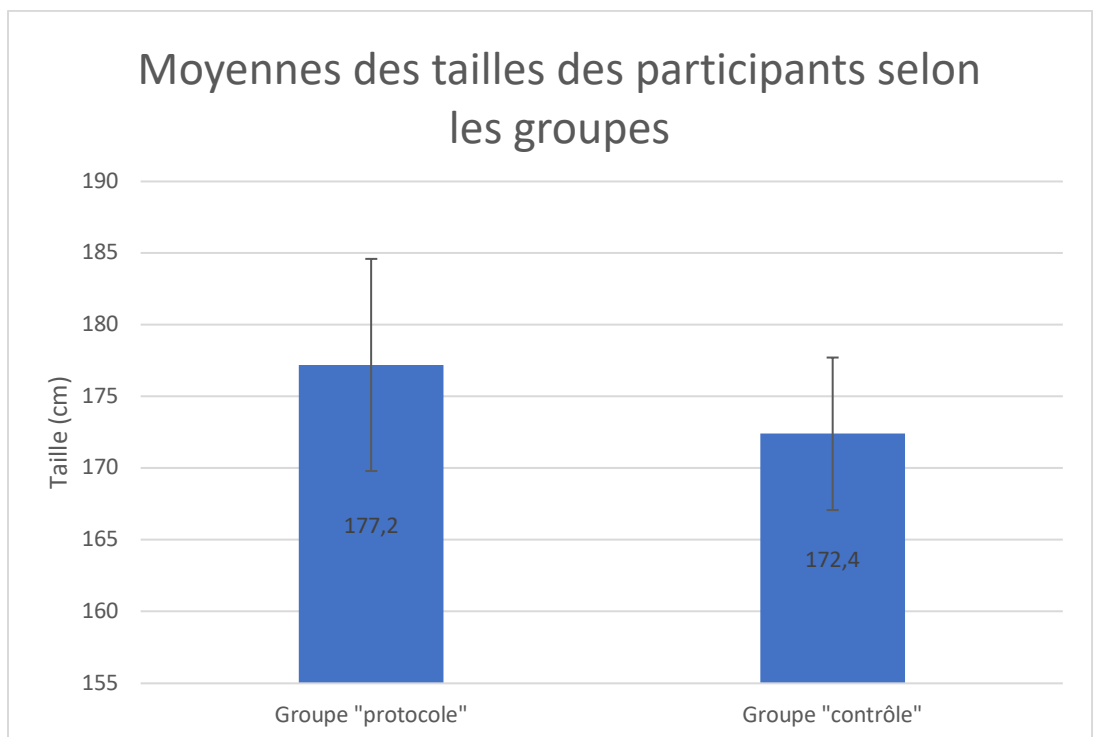


Figure 3: Moyennes des tailles des participants par groupes.

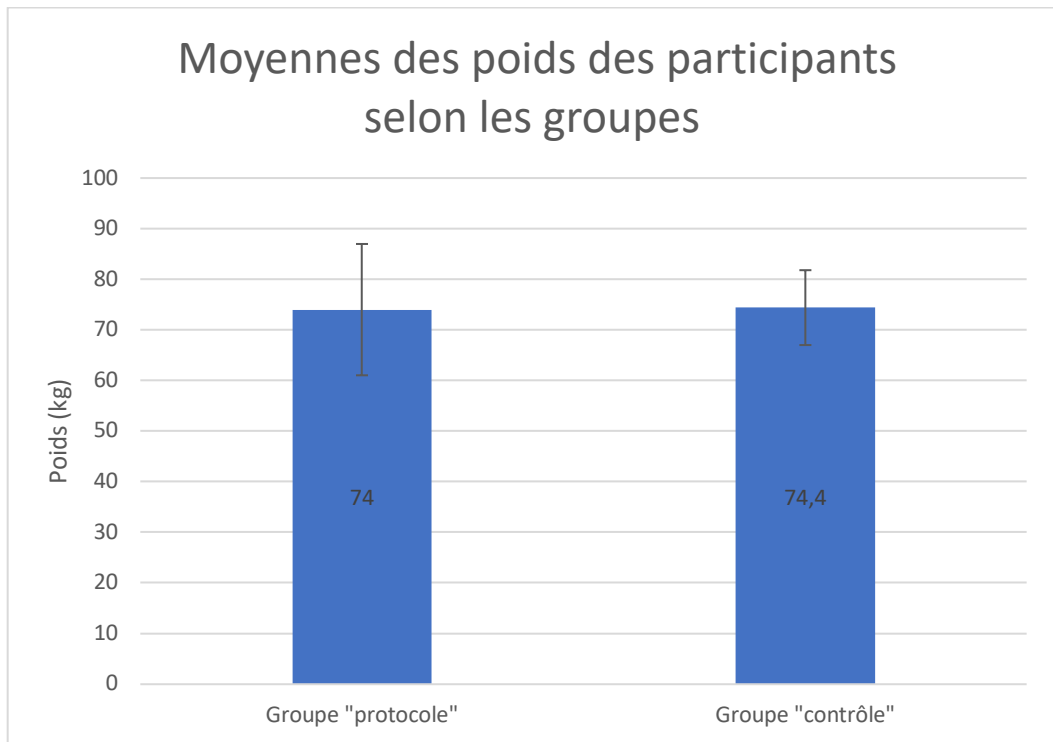


Figure 4: Moyennes des poids des participants par groupes.

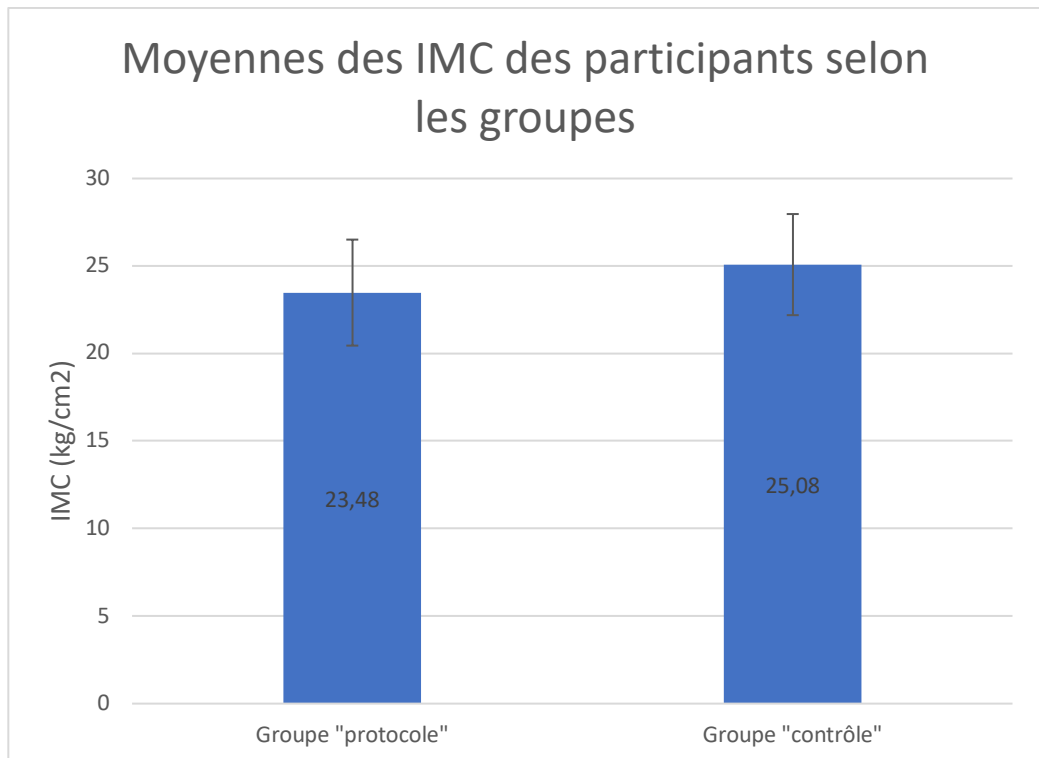


Figure 5: Moyennes des IMC des participants par groupes.

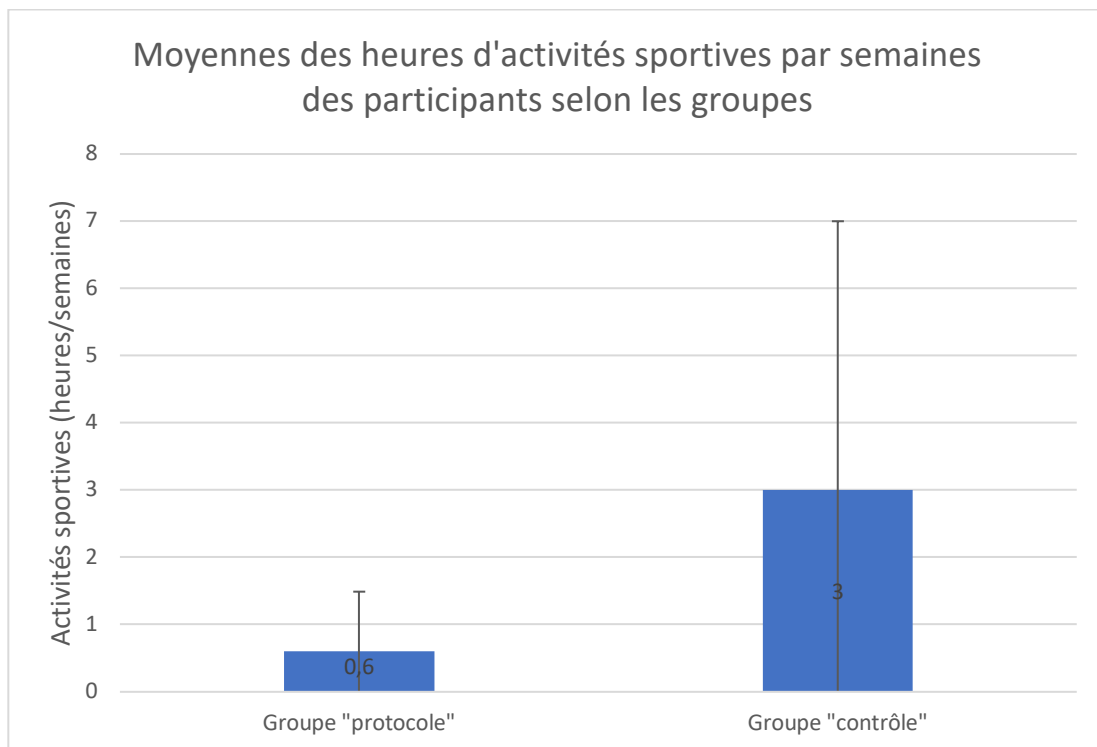


Figure 6: Moyennes des heures d'activités sportives par semaines des participants par groupe.

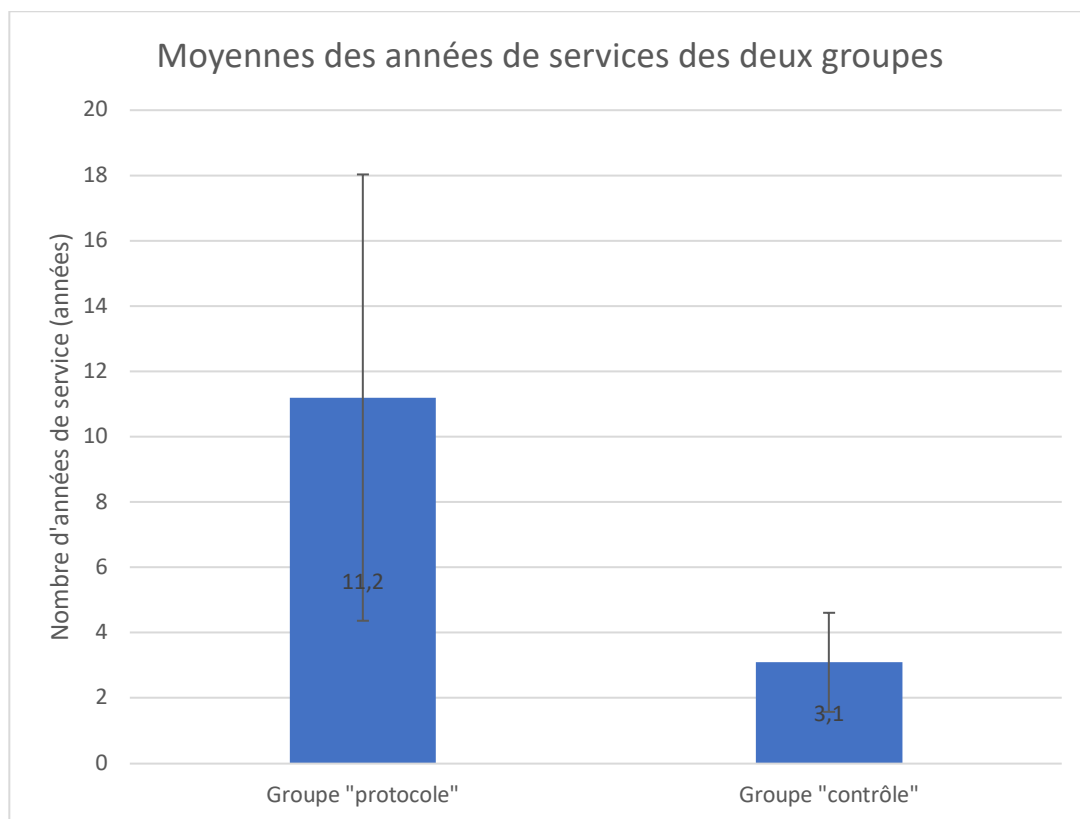


Figure 7: Moyennes des années de services par groupe.

Tableau IV: Présentation par participant des mesures pré-protocoles des pressions inspiratoires maximales avec et sans port de l'ARICO et du taux de variation de Pi max avec et sans ARICO ainsi que le sexe, l'âge et tabagisme.

N° d'anonymat	Sexe	Age	Tabagisme	Pi max sans ARICO (cm H ₂ O)	Pi max avec ARICO (cm H ₂ O)	Taux de variation de la Pi max avec et sans ARICO (%)
1	M	43	Non	118	109	-7,63
2	F	19	Oui	72	63	-12,50
3	M	19	Oui	78	70	-10,26
4	M	21	Oui	88	76	-13,64
5	M	38	Non	102	93	-8,82
6	F	34	Non	65	56	e
7	F	23	Non	114	101	-11,40
8	M	31	Non	116	100	-13,79
9	M	38	Non	90	81	-10,00
10	M	21	Non	137	130	-5,11

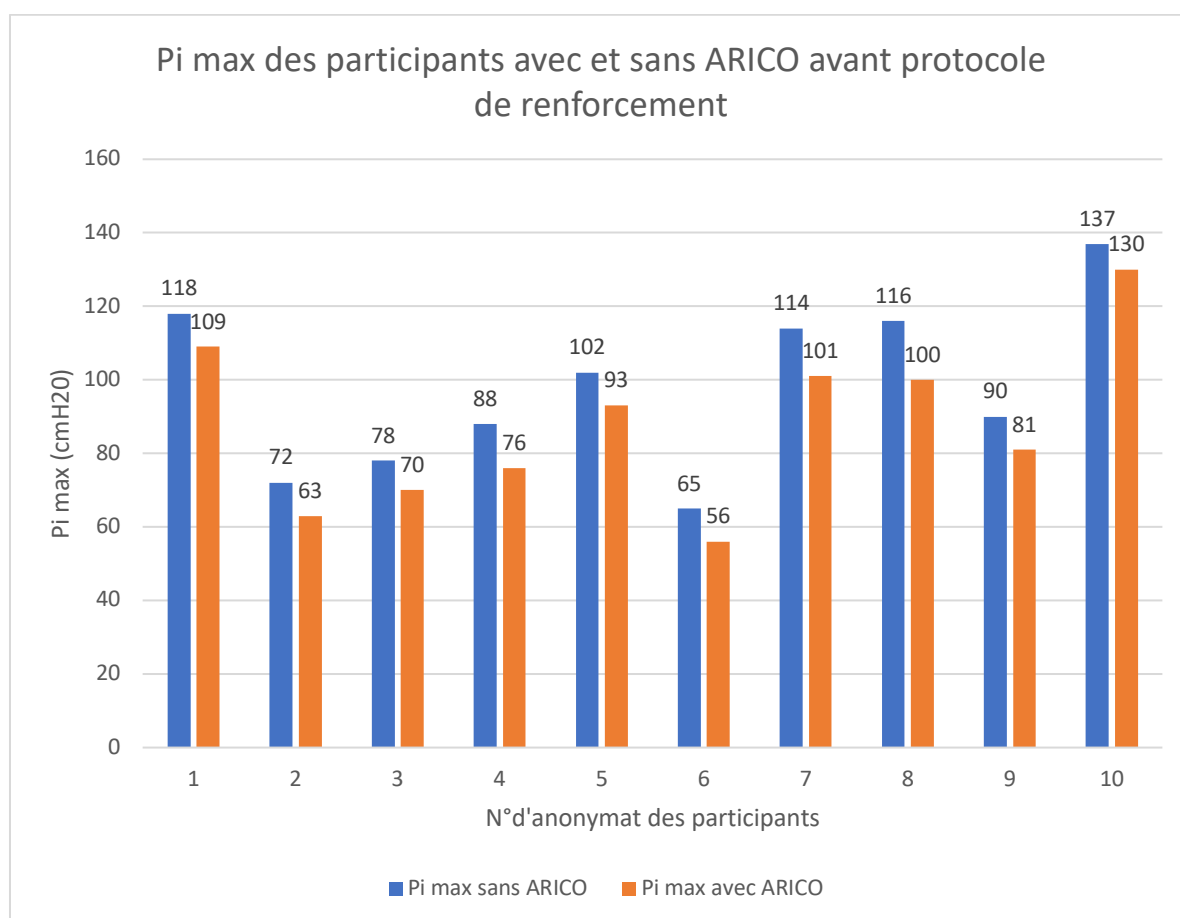


Figure 8: Pi max avec et sans ARICO par participant (pré-protocole).

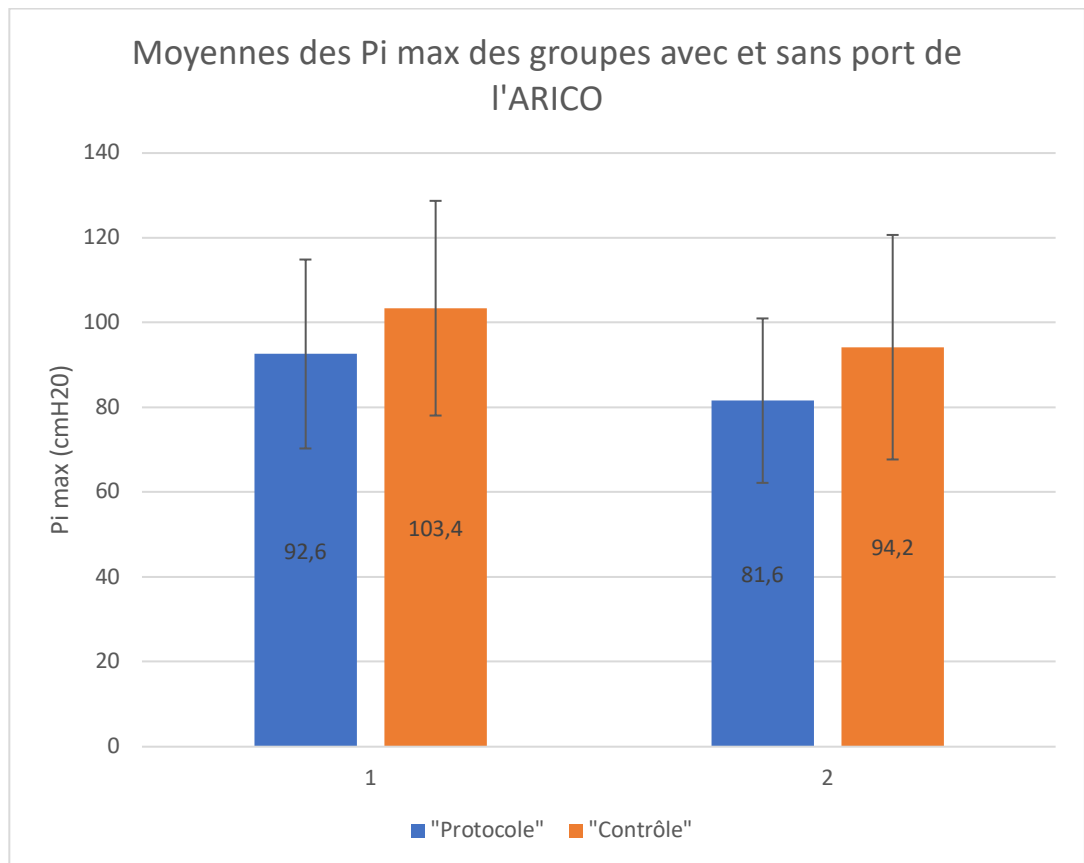


Figure 9: Moyennes des Pi max avec et sans port de l'ARICO par participant (pré-protocole).

Tableau V: Mesures des périmètres thoracique par participant (pré-protocole).

Sujets	AXI (cm)	AXE (cm)	DIFF Ax (cm)	XIY (cm)	XIY (cm)	DIFF Xy (cm)
1	103	99	4	97	93	4
2	104	99	5	110	106	4
3	98,5	96	2,5	95	88	7
4	103	100	3	95	92	3
5	108	104	4	101	100	2
6	101	94	7	105	102	3
7	91	87	4	86	81	5
8	109	104	5	101	97	4
9	98	94	4	93	90	3
10	99	94	5	91	88	3

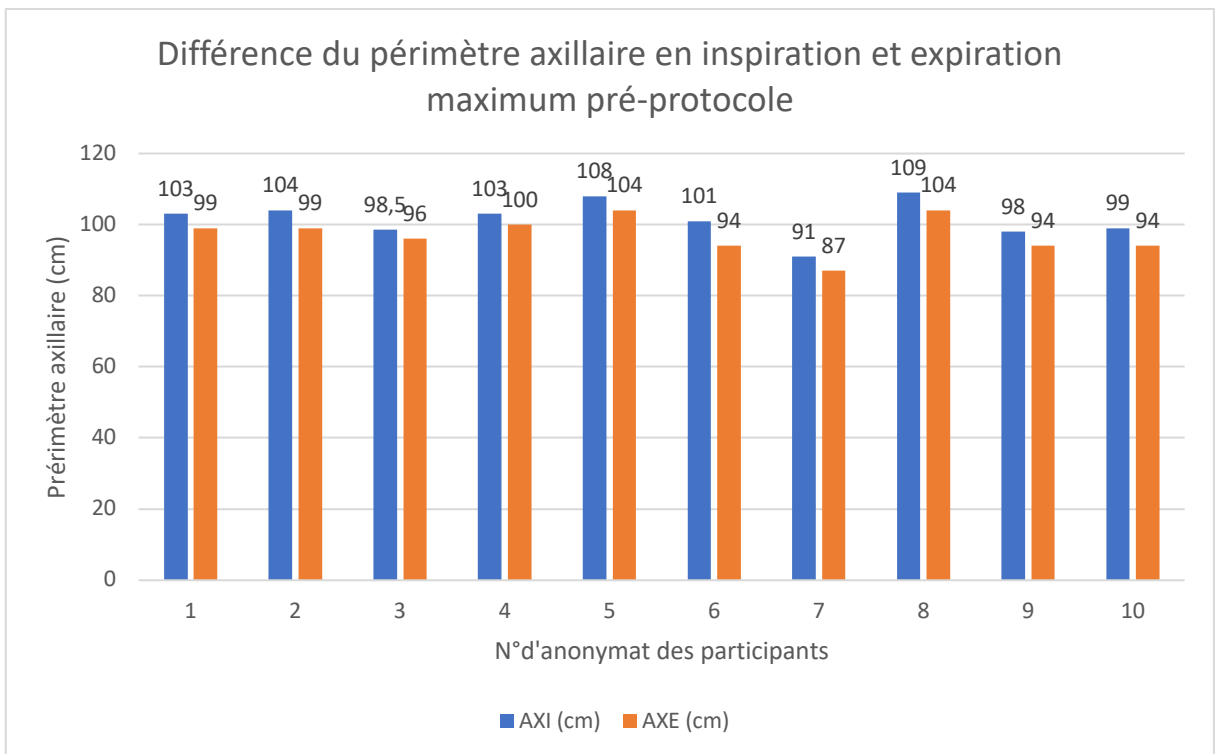


Figure 10: Différence du périmètre axillaire en inspiration et expiration maximum par participant (pré-protocole).

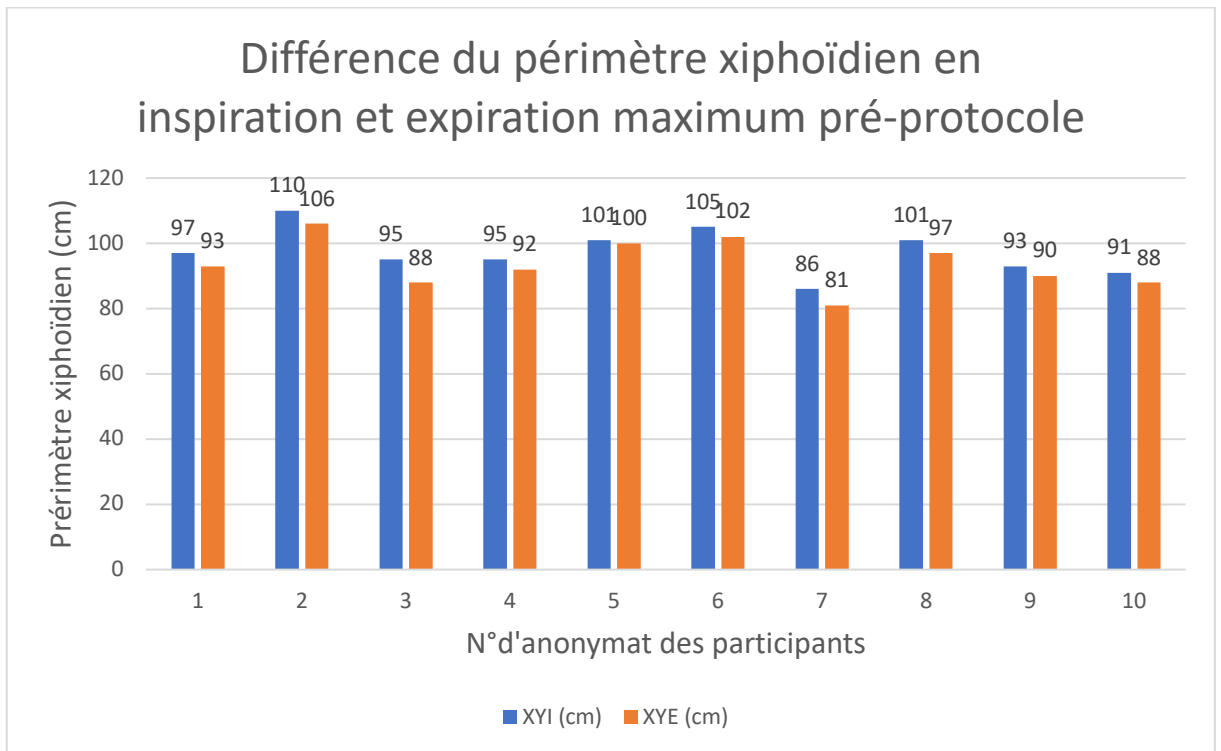


Figure 11: Différence du périmètre xiphoïdien en inspiration et expiration maximum par participant (pré-protocole).

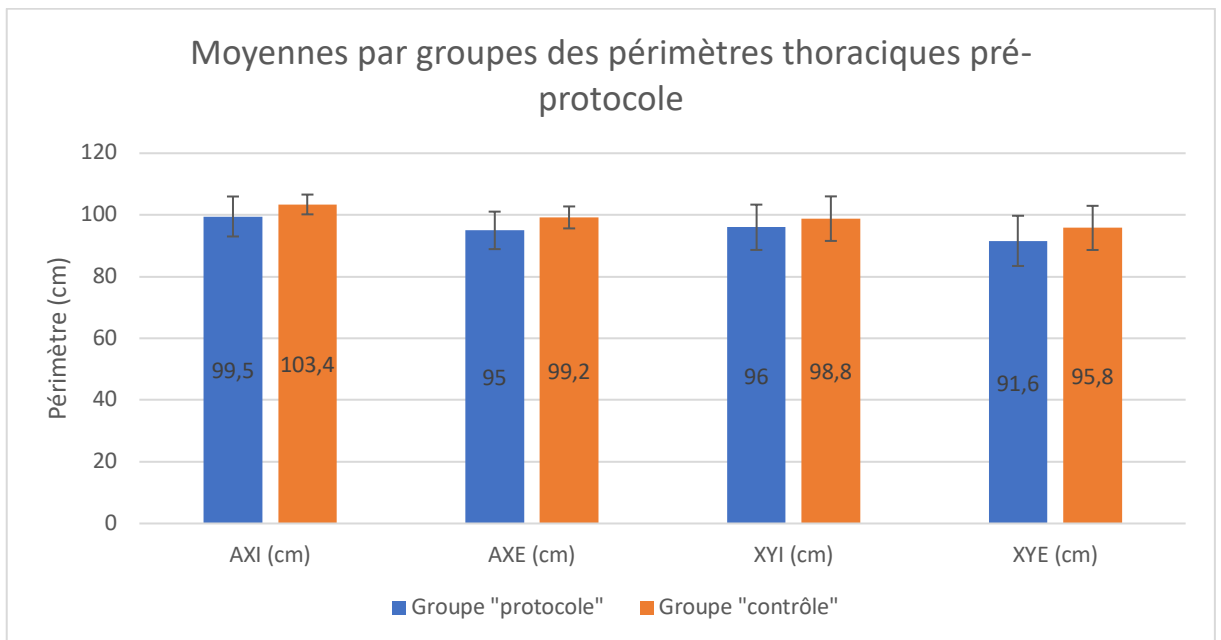


Figure 12: Moyennes des périmètres thoraciques pré-protocole par groupe (pré-protocole).

Tableau VI : Présentation des mesures des paramètres vitaux au repos par participant (pré-protocole).

N° d'anonymat	Fc au repos (bpm)	Fr au repos (cycles par min)	PAS au repos (mmHg)	PAD au repos (mmHg)	SPO2 au Repos (%)
1	61	16	125	81	96
2	85	15	126	80	100
3	63	17	125	73	96
4	85	10	131	96	98
5	108	18	151	101	98
6	76	12	117	82	98
7	82	13	122	62	98
8	59	13	143	86	98
9	83	18	151	98	98
10	53	16	128	86	100

Tableau VII : Présentation des mesures des paramètres vitaux 1 minute après la manœuvre par participant (pré-protocole).

N° d'anonymat	Fc 1min (bpm)	Fr 1min (cycles par min)	PAS 1min (mmHg)	PAD 1min (mmHg)	SPO2 1min (%)
1	91	18	126	78	99
2	125	35	129	74	97
3	112	26	153	76	96
4	139	19	143	84	96
5	150	29	164	96	96
6	131	13	117	80	96
7	123	26	150	93	97
8	133	24	156	79	96
9	130	25	124	94	96
10	93	16	125	75	98

Tableau VIII : Présentation des mesures des paramètres vitaux 10 minutes après la manœuvre par participant (pré-protocole).

N° d'anonymat	Fc 10 min (bpm)	Fr 10min (cycles par min)	PAS 10 min (mmHg)	PAD 10 min (mmHg)	SPO2 10min (%)
1	86	16	164	95	97
2	101	13	125	82	98
3	105	22	105	76	96
4	114	14	126	91	97
5	113	19	119	91	96
6	105	11	130	80	96
7	104	11	115	70	97
8	96	16	120	79	96
9	116	21	126	77	96
10	61	13	122	74	98

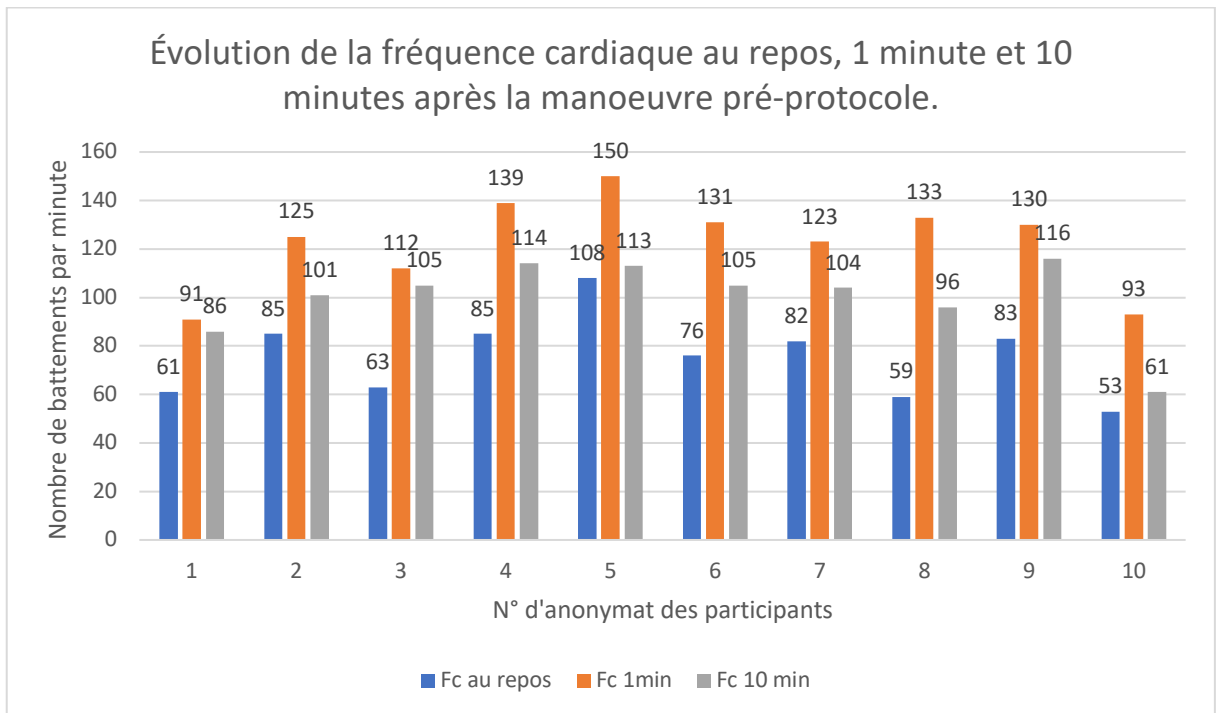


Figure 13: Évolution de la fréquence cardiaque au repos, 1 minute et 10 minutes par participant (pré-protocole).

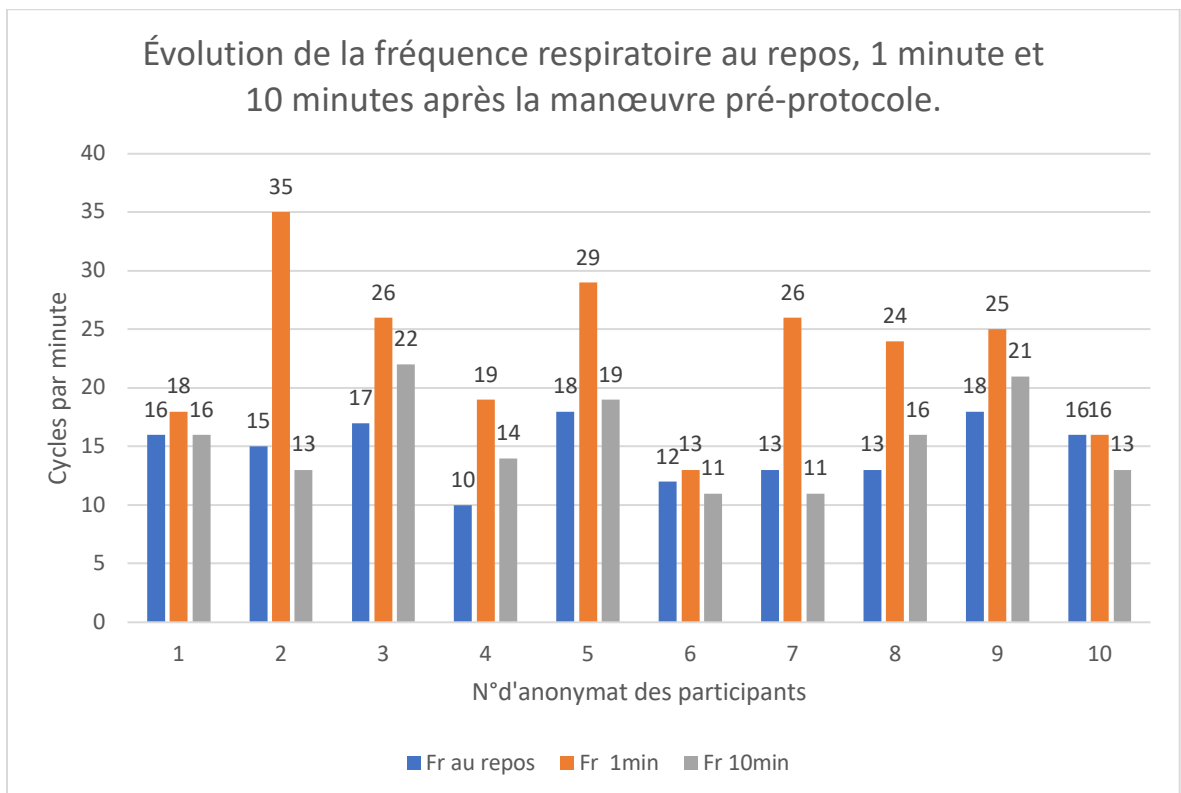


Figure 14: Évolution de la fréquence respiratoire au repos, 1 minute et 10 minutes par participant (pré-protocole).

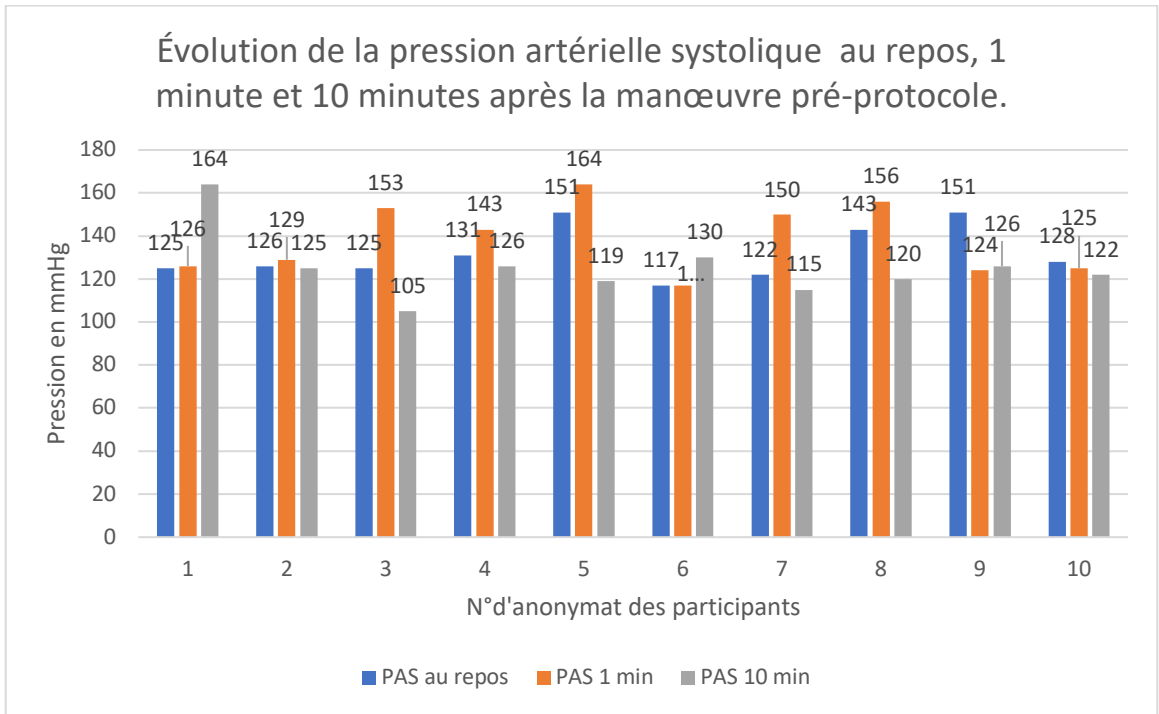


Figure 15: Évolution de la pression artérielle systolique au repos, 1 minute et 10 minutes par participant (pré-protocole).

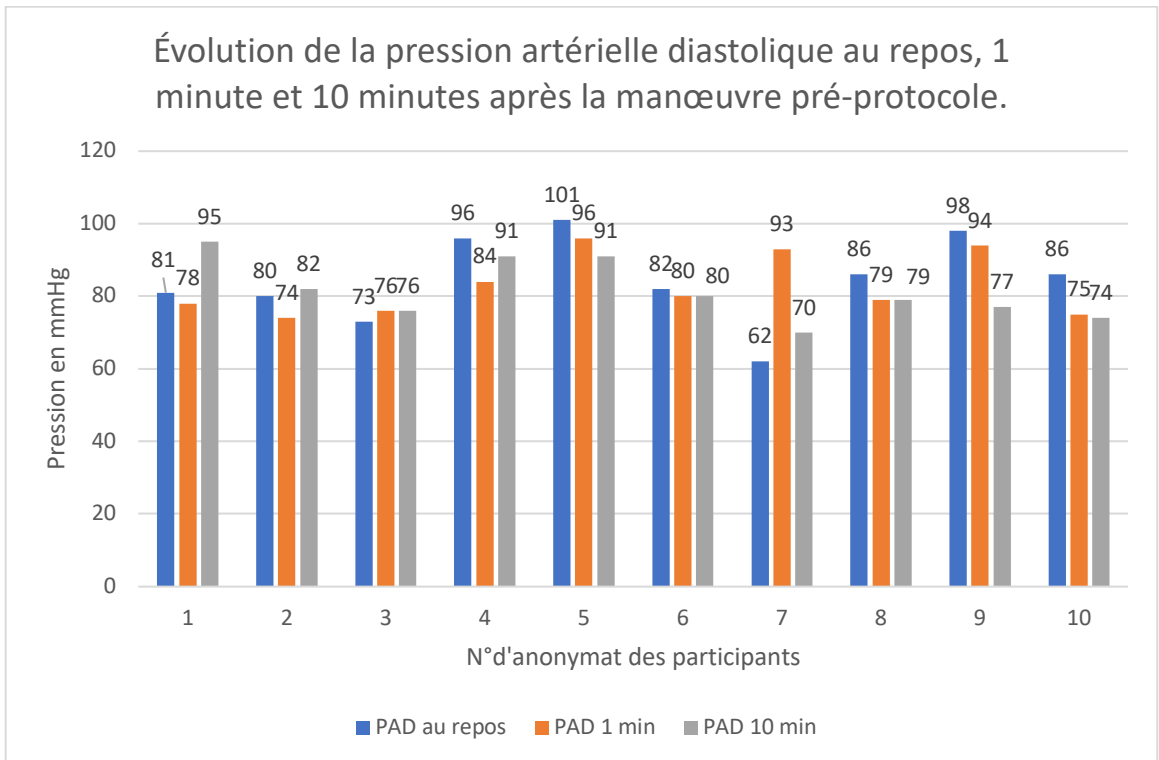


Figure 16: Évolution de la pression artérielle diastolique au repos, 1 minute et 10 minutes par participant (pré-protocole).

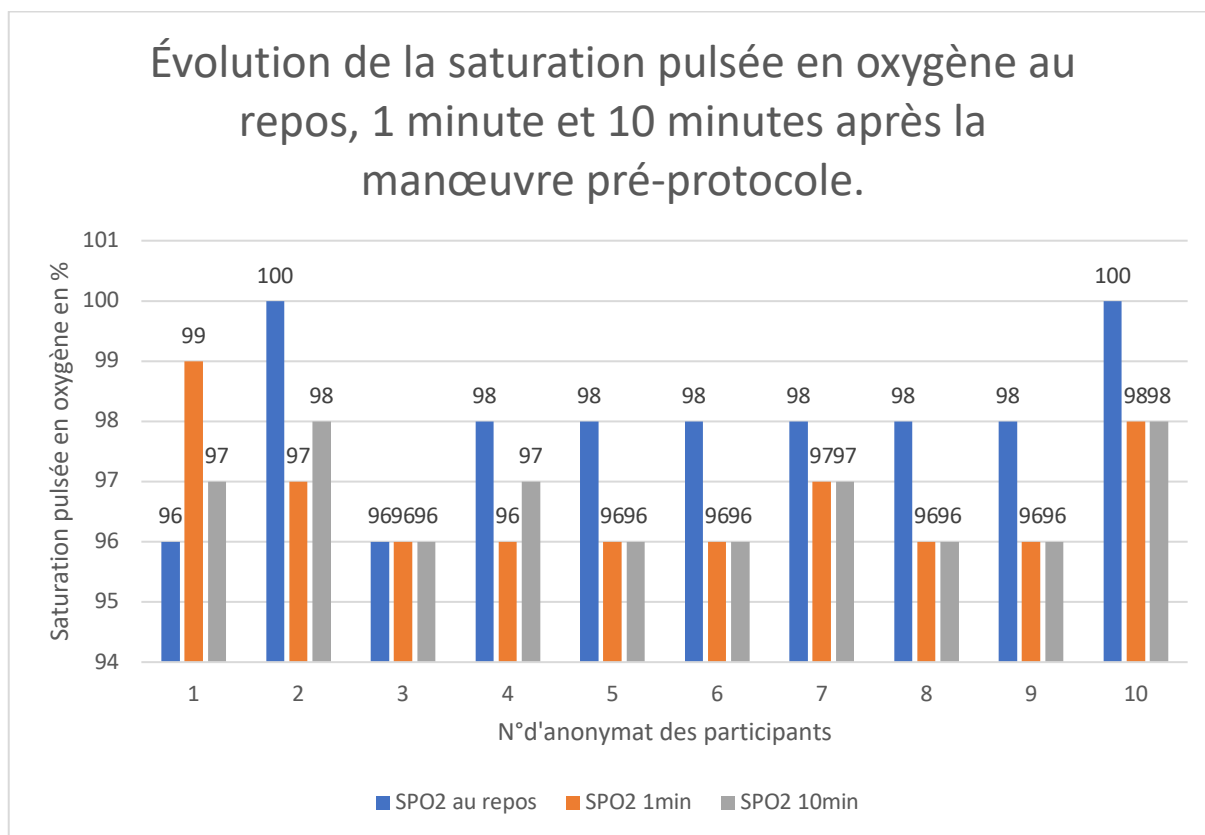


Figure 17: Évolution de la saturation pulsée en oxygène au repos, 1 minute et 10 minutes par participant (pré-protocole).

Tableau IX: Pressions initiale, finale et consommées, temps de parcours total et temps de parcours avec l'ARICO capelé et débit par participants lors de la manœuvre pré-protocole.

N° d'anonymat	Pression initiale de la bouteille (bar)	Pression finale de la bouteille (bar)	Pression consommée	Temps de parcours	Temps de parcours avec l'ARICO capelé	Débit (L/min): $Q = \frac{(PxV)}{T}$
1	270	150	120	12:36,7	06:51,4	110,60
2	250	140	110	18:05,9	07:54,6	87,53
3	150	100	50	12:36,7	05:11,4	58,71
4	280	170	110	18:05,9	07:54,6	87,53
5	280	165	115	12:36,7	06:51,4	105,99
6	300	140	160	15:18,4	07:53,3	127,49
7	150	70	80	12:40,6	05:29,8	90,74
8	160	0	160	12:36,7	05:11,4	187,87
9	290	155	135	15:18,4	07:53,3	107,57
10	185	110	75	12:40,6	05:29,8	85,07

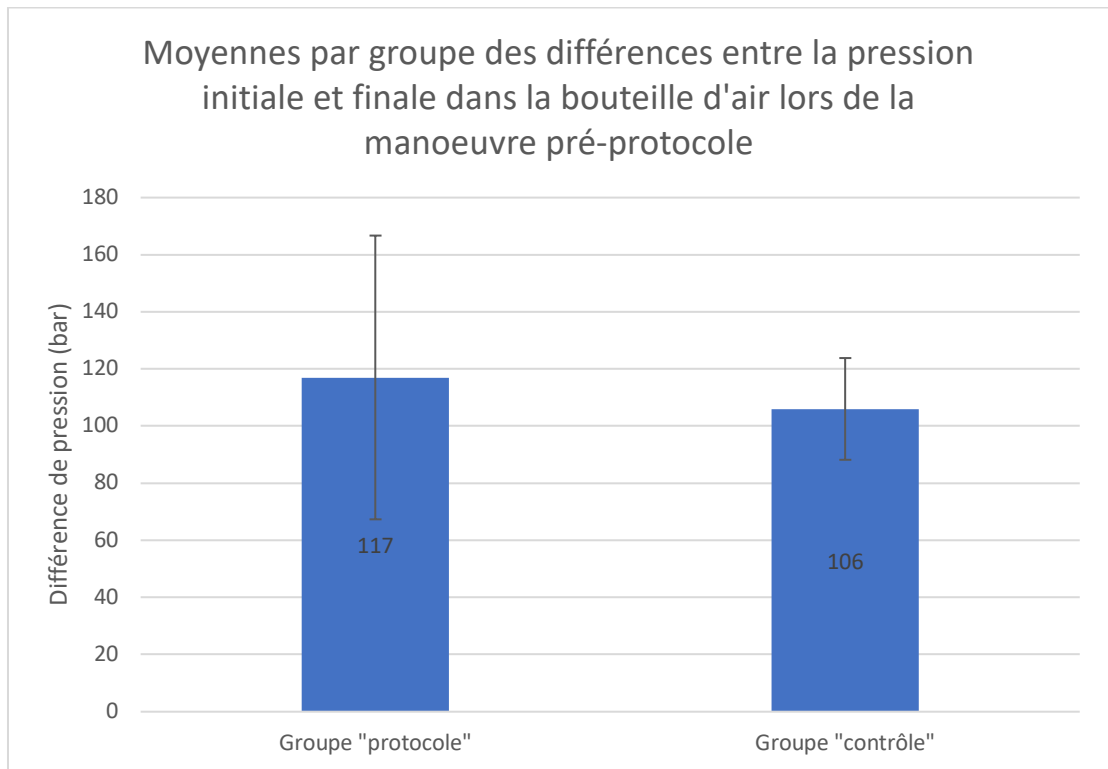


Figure 18: Moyennes des différences entre la pression initiale et finale dans la bouteille d'air par groupe (pré-protocole).

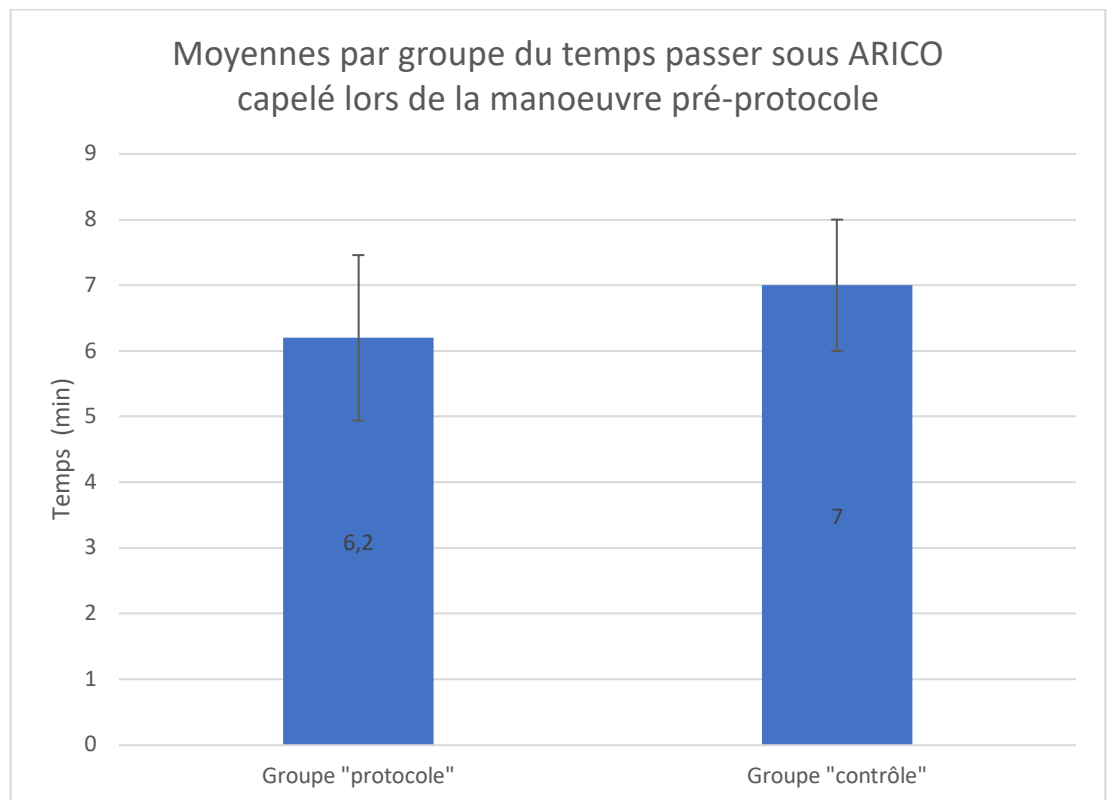


Figure 19: Moyennes du temps passer sous ARICO capelé par groupe (pré-protocole).

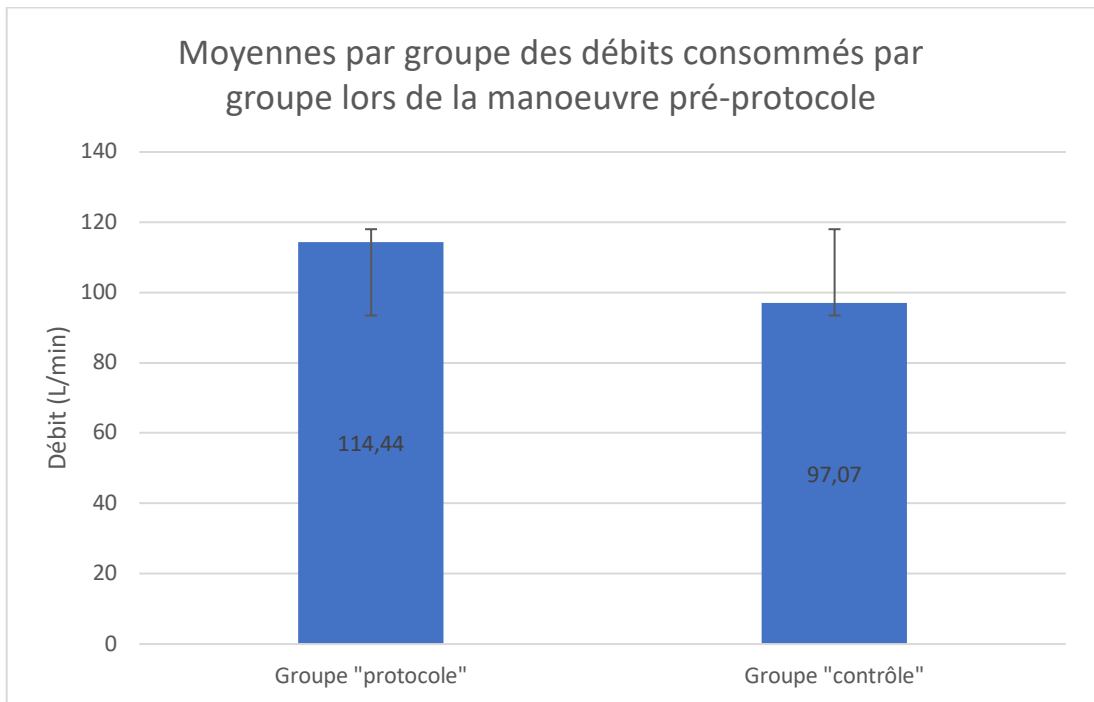


Figure 20: Moyennes des débits consommés par groupe lors de la manoeuvre pré-protocole.

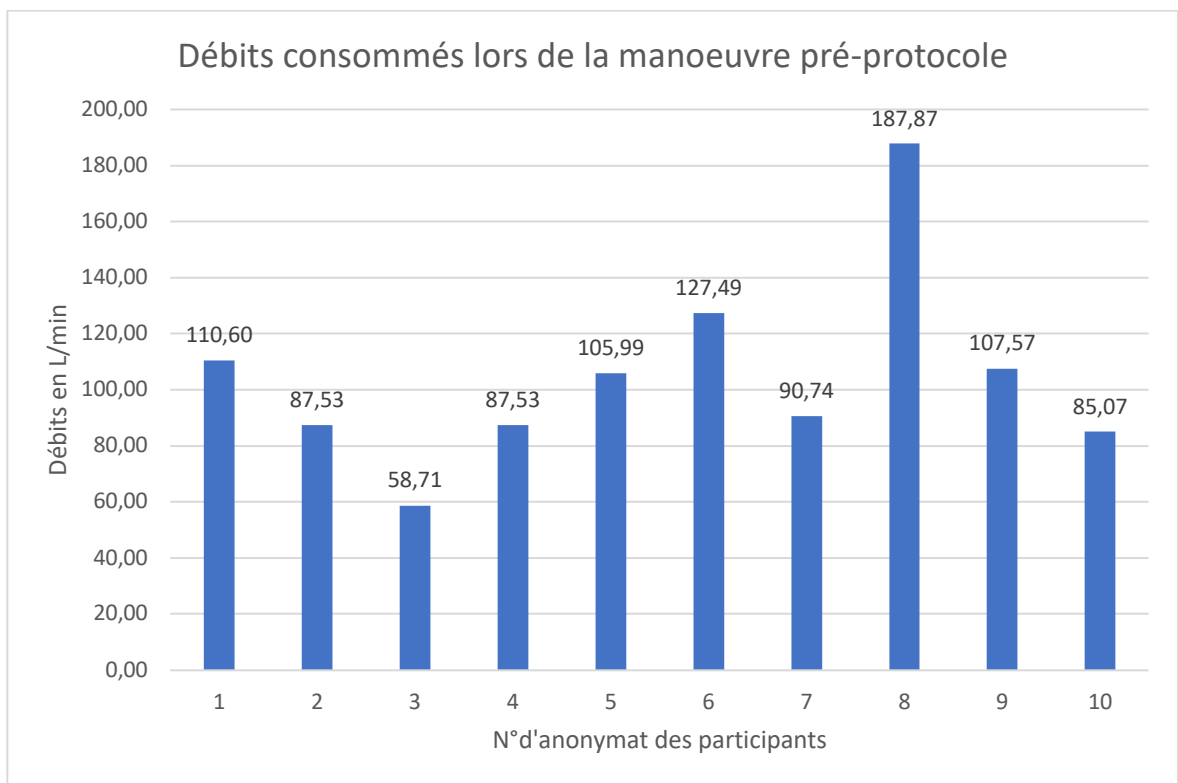


Figure 21: Débits consommés par participant lors de la manoeuvre pré-protocole.

Tableau X: Présentation par participants de la CI avec et sans ARICO lors des mesures pré-protocole.

N° d'anonymat	CI sans ARICO	CI avec ARICO	Taux de variation (%)
1	3,39	3,24	-4,42
2	2,94	3,16	7,48
3	2,62	2,69	2,67
4	3,04	2,93	-3,62
5	3,14	3,73	18,79
6	3,15	3,01	-4,44
7	3,31	3,36	1,51
8	4,26	3,78	-11,27
9	3,07	3,02	-1,63
10	2,51	2,24	-10,76

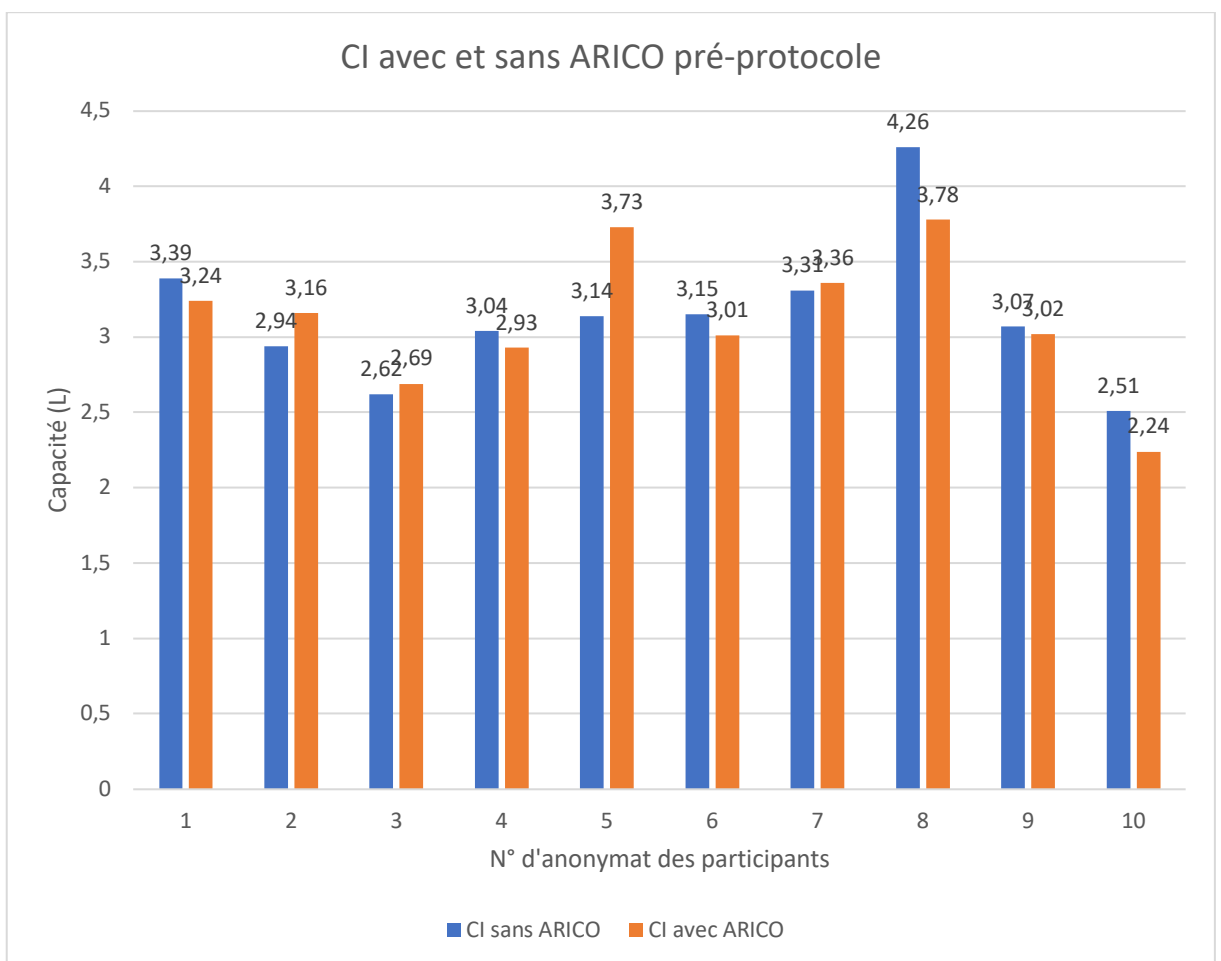


Figure 22: CI avec et sans ARICO par participants (pré-protocole).

Tableau XI: Présentation par participants de la CVF avec et sans ARICO lors des mesures pré-protocole.

N° d'anonymat	CVF sans ARICO	CVF avec ARICO	Taux de variation (%)
1	4,04	4,26	5,45
2	4,38	4,07	-7,08
3	5,28	4,9	-7,20
4	4,55	4,24	-6,81
5	4,64	4,53	-2,37
6	4,09	3,63	-11,25
7	5,08	4,51	-11,22
8	4,78	4,57	-4,39
9	4,24	4,19	-1,18
10	4,46	5,07	13,68

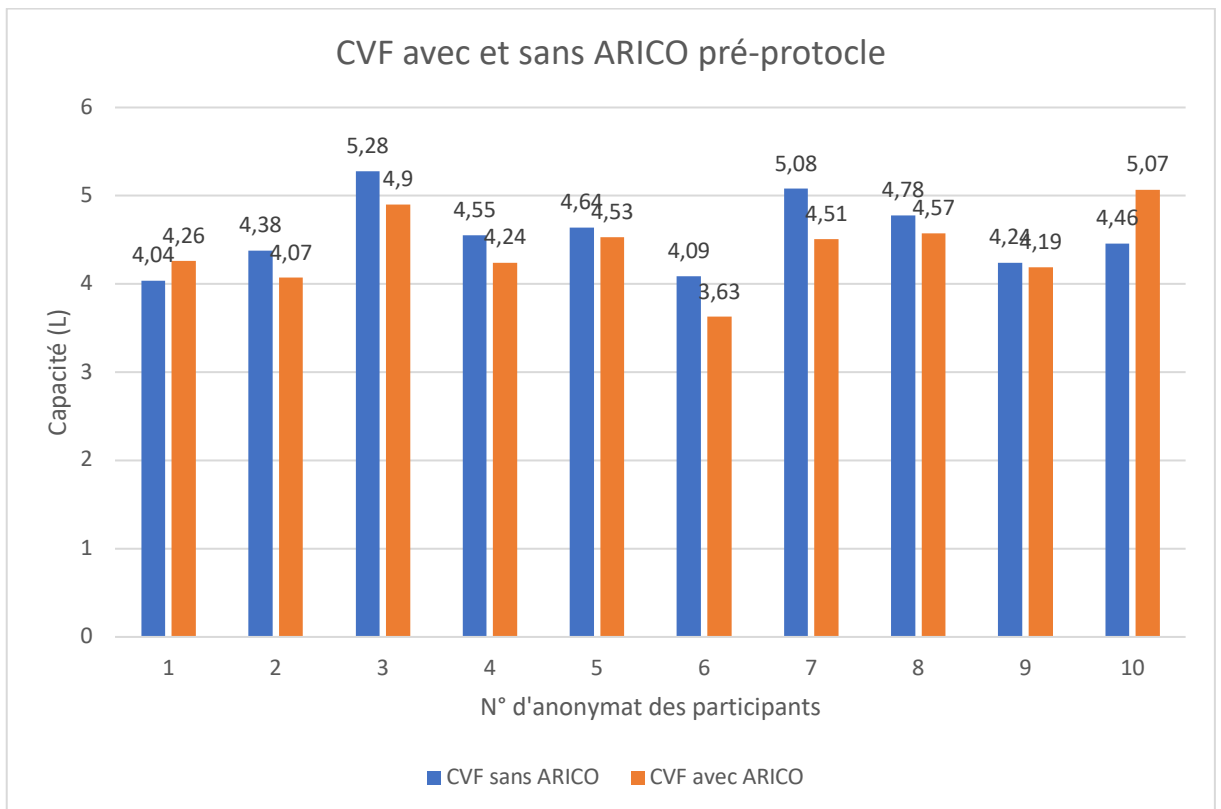


Figure 23 : CVF avec et sans ARICO par participants (pré-protocole).

Tableau XII : Présentation par participants du VRE avec et sans ARICO lors des mesures pré-protocole.

N° d'anonymat	VRE sans ARICO	VRE avec ARICO	Taux de variation (%)
1	1,22	1,07	-12,30
2	1,39	1,21	-12,95
3	2,06	2,13	3,40
4	1,45	1,27	-12,41
5	1,65	0,99	-40,00
6	0,9	0,64	-28,89
7	2,04	1,77	-13,24
8	0,43	0,37	-13,95
9	1,51	1,54	1,99
10	1,65	1,77	7,27

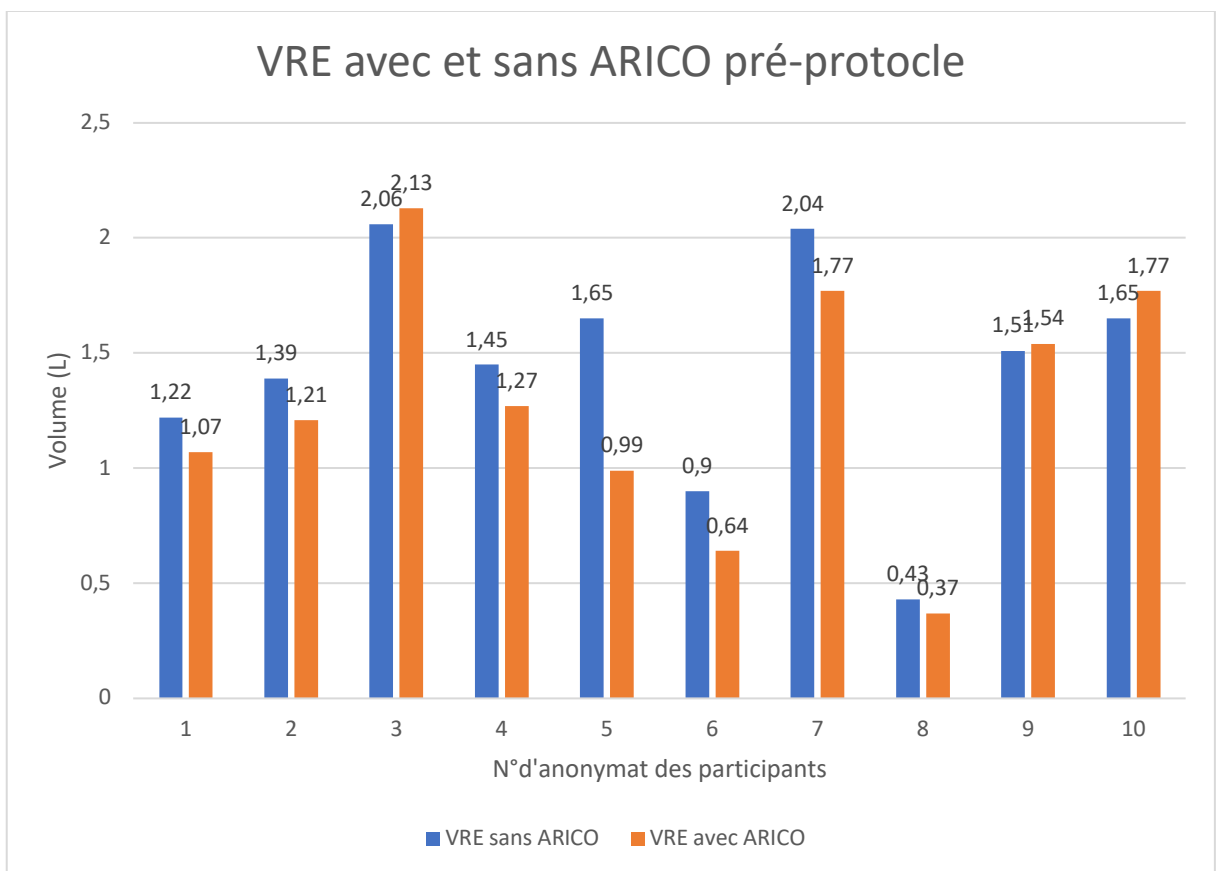


Figure 24 : VRE avec et sans ARICO par participants (pré-protocole).

Tableau XIII : Présentation par participants du VEMS avec et sans ARICO lors des mesures pré-protocole.

N° d'anonymat	VEMS sans ARICO	VEMS avec ARICO	Taux de variation (%)
1	3,55	3,5	-1,41
2	3,83	3,74	-2,35
3	4,18	3,99	-4,55
4	4,22	4,01	-4,98
5	3,83	3,57	-6,79
6	3,36	2,99	-11,01
7	4,54	4,23	-6,83
8	4,34	3,93	-9,45
9	3,88	3,84	-1,03
10	3,99	4,11	3,01

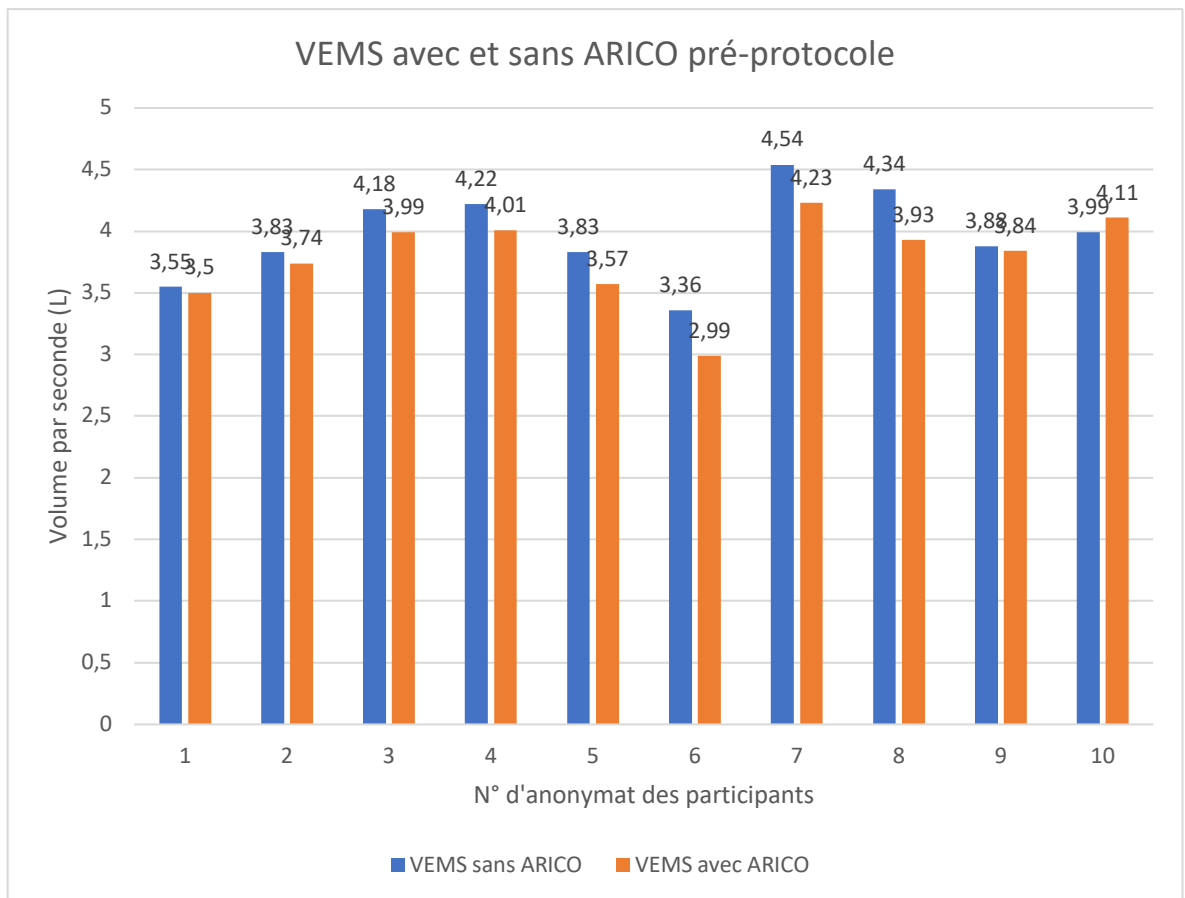


Figure 25 : VEMS avec et sans ARICO par participants (pré-protocole).

Tableau XIV : Présentation par participants de la CVI avec et sans ARICO lors des mesures pré-protocole.

N° d'anonymat	CVI sans ARICO	CVI avec ARICO	Taux de variation (%)
1	4,61	4,31	-6,51
2	4,33	4,37	0,92
3	4,68	4,82	2,99
4	4,49	4,2	-6,46
5	4,79	4,72	-1,46
6	4,05	3,65	-9,88
7	5,35	5,13	-4,11
8	4,69	4,15	-11,51
9	4,58	4,56	-0,44
10	4,16	4,01	-3,61

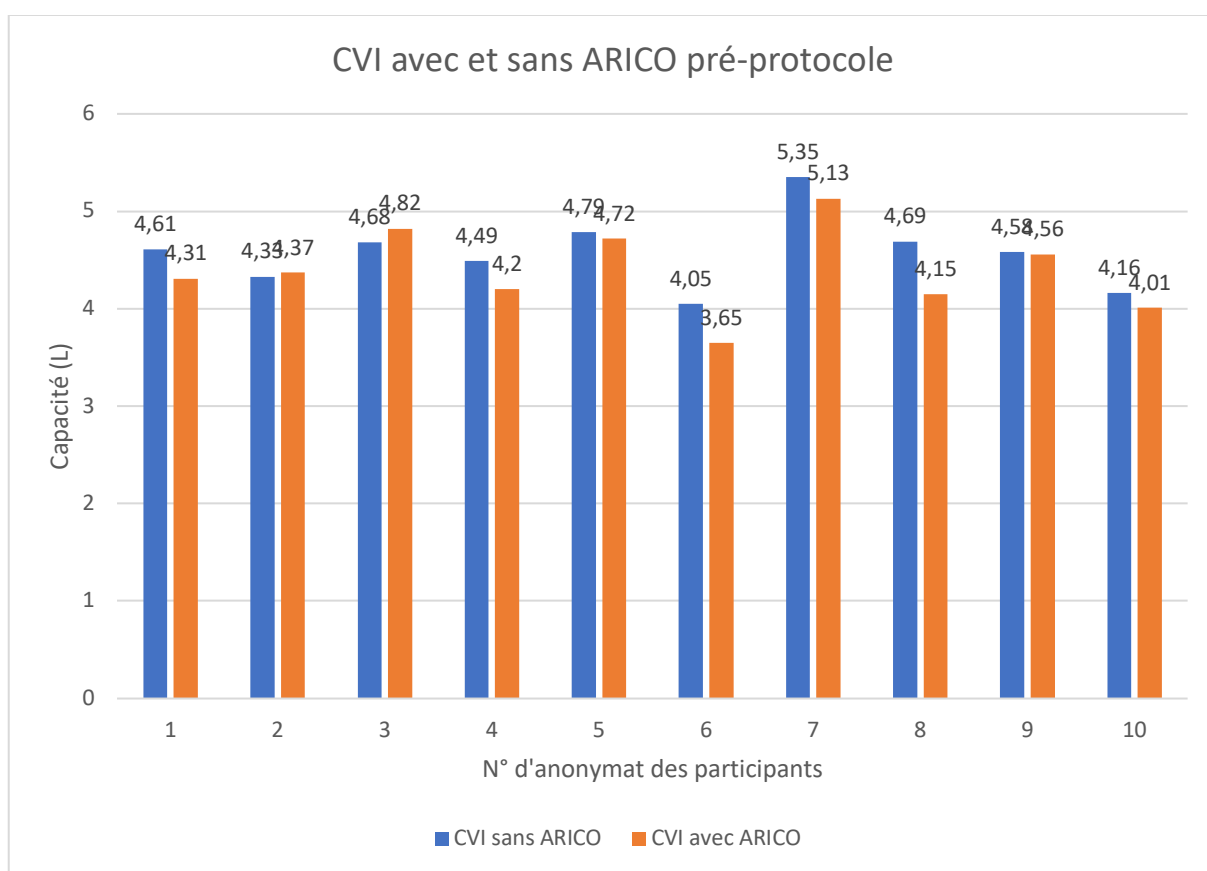


Figure 26 : CVI avec et sans ARICO par participants (pré-protocole).

Tableau XV : Présentation par participants de la DEP avec et sans ARICO lors des mesures pré-protocole.

N° d'anonymat	DEP sans ARICO	DEP avec ARICO	Taux de variation (%)
1	10	10,08	0,80
2	7,44	6,88	-7,53
3	7,74	7,26	-6,20
4	10,73	11,13	3,73
5	8,55	8,01	-6,32
6	6,65	6,25	-6,02
7	8,59	9,22	7,33
8	6,02	5,48	-8,97
9	12,98	10,47	-19,34
10	7,43	5,03	-32,30

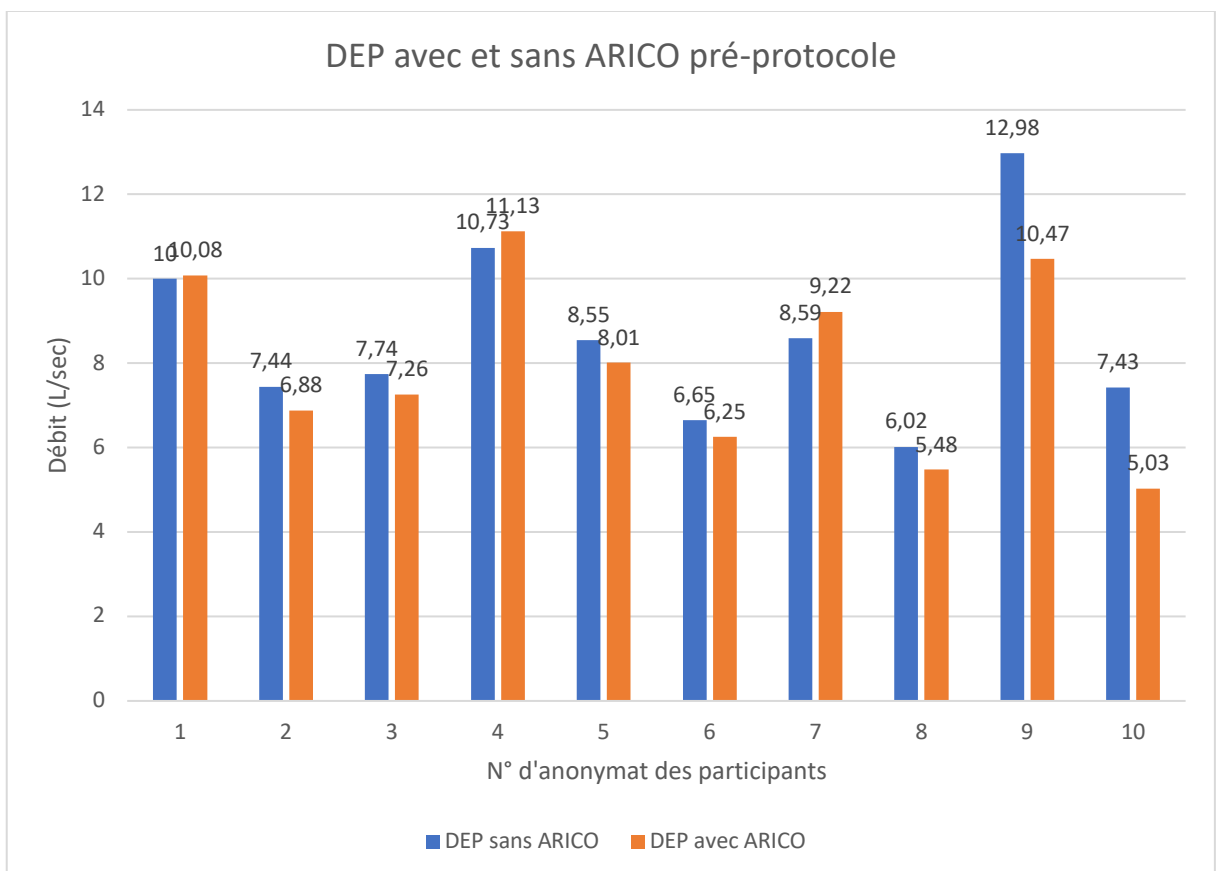


Figure 27 : DEP avec et sans ARICO par participants (pré-protocole).

Tableau XVI : Présentation par participants du rapport Tiffeneau avec et sans ARICO lors des mesures pré-protocole.

N° d'anonymat	VEMS/CVF sans ARICO	VEMS/CVF avec ARICO	Taux de variation (%)
1	87,9	82,2	-6,48
2	87,4	91,9	5,15
3	79,2	81,4	2,78
4	92,7	94,6	2,05
5	82,5	78,8	-4,48
6	82,2	82,4	0,24
7	89,4	93,8	4,92
8	90,8	86	-5,29
9	91,5	91,6	0,11
10	89,5	81,1	-9,39

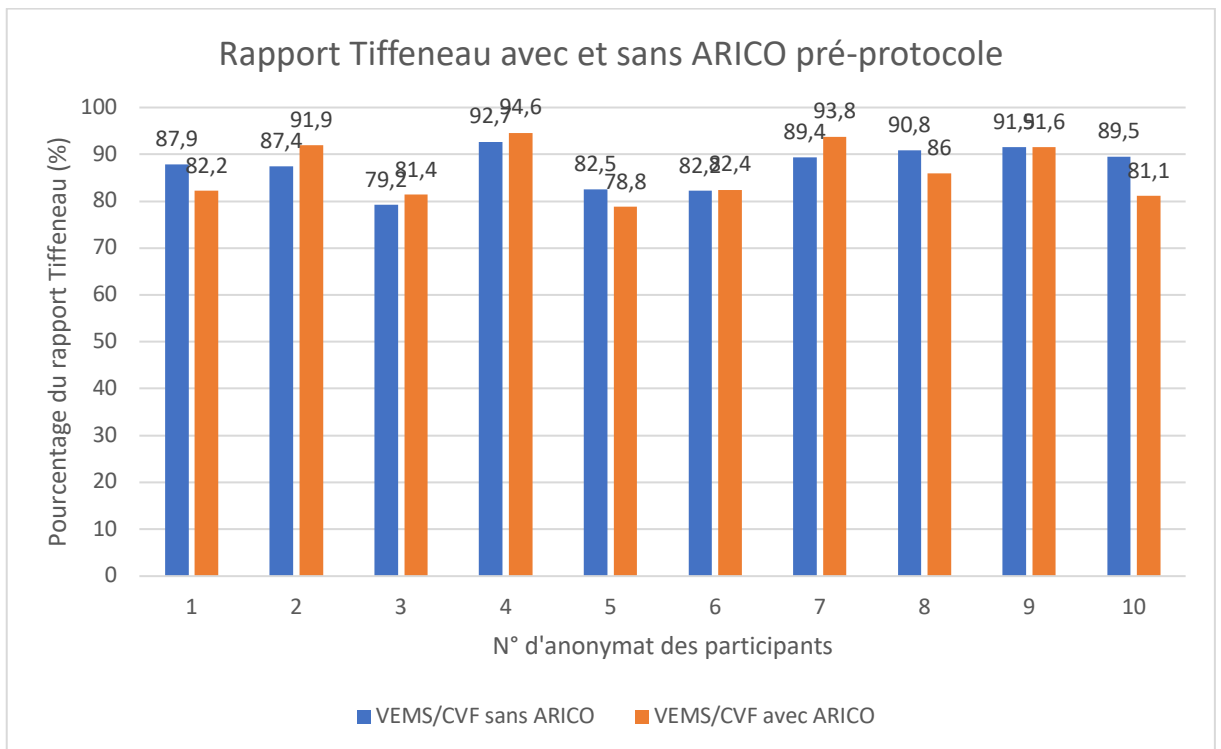


Figure 28 : Rapport Tiffeneau avec et sans ARICO par participants (pré-protocole).

Tableau XVII : Présentation par participants de la CV avec et sans ARICO lors des mesures pré-protocole.

N° d'anonymat	CV sans ARICO	CV avec ARICO	Taux de variation (%)
1	4,61	4,31	-6,51
2	4,33	4,37	0,92
3	4,68	4,82	2,99
4	4,49	4,2	-6,46
5	4,79	4,72	-1,46
6	4,05	3,65	-9,88
7	5,35	5,13	-4,11
8	4,69	4,15	-11,51
9	4,58	4,56	-0,44
10	4,16	4,01	-3,61

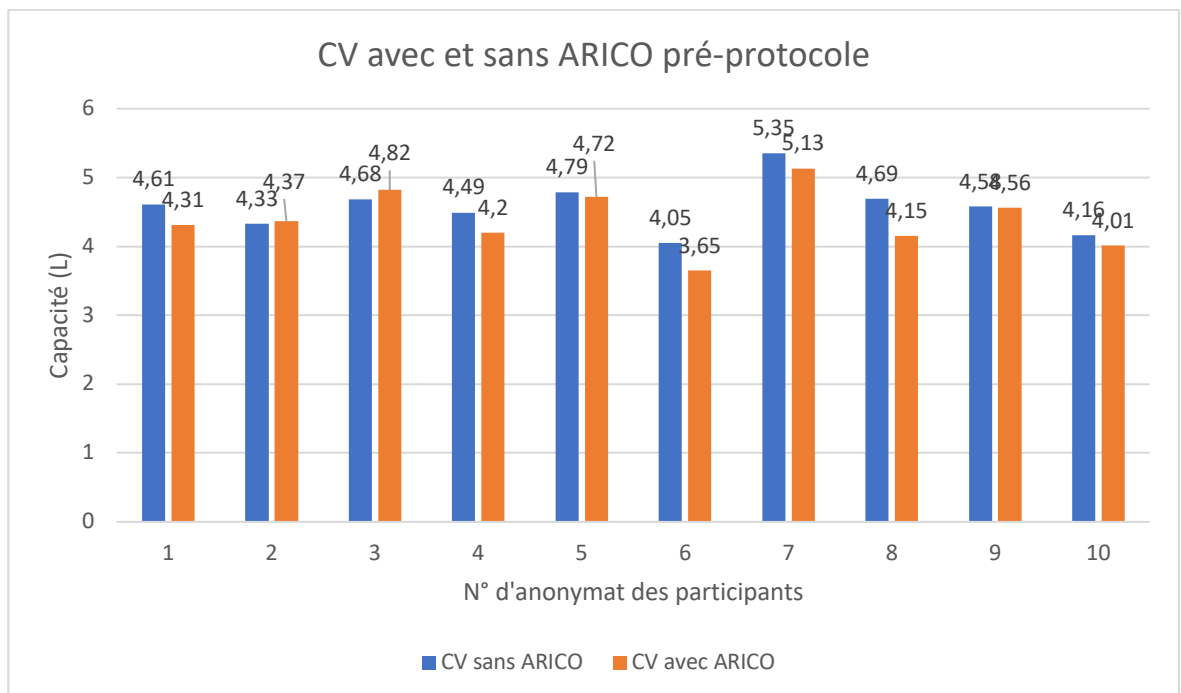


Figure 29 : CV avec et sans ARICO par participants (pré-protocole).

Tableau XVIII: présentation des caractéristiques de la population générale de l'étude.

Caractéristiques de la population générale de l'étude (n=10)		
Age (années)		28,50 ± 9,33
Taille (cm)		174,80 ± 6,58
Poids (kg)		74,20 ± 9,96
IMC (kg/cm ²)		24,28 ± 2,92
Activités sportives (heures/semaine)		1,80 ± 3,01
VEMS (L)	Sans ARICO	3,97 ±0,36
	Avec ARICO	3,79 ±0,36
	Δ Sans et avec ARICO (%) $\left(\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100\right)$	-4,53
CVF (L)	Sans ARICO	4,55 ±0,41
	Avec ARICO	4,40 ±0,41
	Δ Sans et avec ARICO (%) $\left(\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100\right)$	-3,30%
CVI (L)	Sans ARICO	8,61 ±2,10
	Avec ARICO	7,98 ±2,15
	Δ Sans et avec ARICO (%) $\left(\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100\right)$	-7,32
DEP (L)	Sans ARICO	4,57 ±0,36
	Avec ARICO	4,39 ±0,43
	Δ Sans et avec ARICO (%) $\left(\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100\right)$	-3,94
VRE (L)	Sans ARICO	1,43 ±0,49
	Avec ARICO	1,28 ±0,54
	Δ Sans et avec ARICO (%) $\left(\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100\right)$	-10,49%
CI (L)	Sans ARICO	3,14 ±0,48
	Avec ARICO	3,12 0,46
	Δ Sans et avec ARICO (%) $\left(\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100\right)$	-0,64
CV (L)	VR Sans ARICO	4,57 ±0,36
	Avec ARICO	4,39 ±0,43
	Δ Sans et avec ARICO (%) $\left(\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100\right)$	-3,94
Rapport Tiffneau	Sans ARICO	87,31 ± 4,51

	Avec ARICO	86,38 ±6,0
	Δ Sans et avec ARICO (%) $\left(\frac{\text{avec ARICO} - \text{sans ARICO}}{\text{sans ARICO}} \times 100\right)$	-1,07
Fréquence cardiaque moyenne (bpm)	au repos	75,5 ± 16,60
	une minute après la manœuvre	122,7 ± 18,99
	dix minutes après la manœuvre	100,1 ± 16,41
Fréquence respiratoire moyenne (cycles par minute)	au repos	14,8 ± 2,70
	une minute après la manœuvre	23,1 ± 6,61
	dix minutes après la manœuvre	15,6 ± 3,95
Pression artérielle systolique (mmH ₂ O)	au repos	131,9 ± 12,11
	une minute après la manœuvre	138,7 ± 16,40
	dix minutes après la manœuvre	125,2 ± 15,34
Pression artérielle diastolique (mmH ₂ O)	au repos	84,5 ± 11,87
	une minute après la manœuvre	82,9 ± 8,40
	dix minutes après la manœuvre	81,5 ± 8,24
Saturation pulsée en oxygène (%)	au repos	98 ± 1,33
	une minute après la manœuvre	96,7 ± 1,06
	dix minutes après la manœuvre	96,7 ± 0,82

ANNEXE X : Auto-évaluation par l'échelle PEDro

Échelle PEDro

1. les critères d'éligibilité ont été précisés	non <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/>	où: 2.2
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 checked="" type="checkbox"/>	où: 2.2
3. la répartition a respecté une assignation secrète	non <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/>	où: 2.2
4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants	non <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/>	où: 2.2
5. tous les sujets étaient "en aveugle"	non <input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où: 2.2
6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle"	non <input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où: 2.2
7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où: 2.2
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 checked="" type="checkbox"/>	2.2 où: 2.5 3.1
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 checked="" type="checkbox"/>	3.2 où: 2.2
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels	non <input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où: 3.2
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 checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/>	où: 3.2

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.

Dernière modification le 21 juin 1999. Traduction française le 1 juillet 2010

Précisions pour l'utilisation de l'échelle PEDro:

- Tous les critères **Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté.** Si, lors de la lecture de l'étude, on ne retrouve pas le critère explicitement rédigé, le point ne doit pas être attribué à ce critère.
- Critère 1 Ce critère est respecté si l'article décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.
- Critère 2 Une étude est considérée avoir utilisé une *répartition aléatoire* si l'article mentionne que la répartition entre les groupes a été faite au hasard. La méthode précise de répartition aléatoire n'a pas lieu d'être détaillée. Des procédures comme pile ou face ou le lancé de dés sont considérées comme des méthodes de répartition aléatoire. Les procédures quasi-aléatoires, telles que la répartition selon le numéro de dossier hospitalier ou la date de naissance, ou le fait de répartir alternativement les sujets dans les groupes, ne remplissent pas le critère.
- Critère 3 Une *assignation secrète* signifie que la personne qui a déterminé si un sujet répondait aux critères d'inclusion de l'étude ne devait pas, lorsque cette décision a été prise, savoir dans quel groupe le sujet serait admis. Un point est attribué pour ce critère, même s'il n'est pas précisé que l'assignation est secrète, lorsque l'article mentionne que la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou que la répartition a été réalisée par table de tirage au sort en contactant une personne à distance.
- Critère 4 Au minimum, lors d'études concernant des interventions thérapeutiques, l'article doit décrire au moins une mesure de la gravité de l'affection traitée et au moins une mesure (différente) sur l'un des critères de jugement essentiels en début d'étude. L'évaluateur de l'article doit s'assurer que les résultats des groupes n'ont pas de raison de différer de manière cliniquement significative du seul fait des différences observées au début de l'étude sur les variables pronostiques. Ce critère est respecté, même si les données au début de l'étude ne sont présentées que pour les sujets qui ont terminé l'étude.
- Critères 4, 7-11 Les *critères de jugement* essentiels sont ceux dont les résultats fournissent la principale mesure de l'efficacité (ou du manque d'efficacité) du traitement. Dans la plupart des études, plus d'une variable est utilisée pour mesurer les résultats.
- Critères 5-7 Être "*en aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "*en aveugle*" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "*en aveugle*" si le sujet l'est aussi.
- Critère 8 Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement *à la fois* le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes *et* le nombre de sujets auprès de qui les mesures ont été obtenues pour les critères de jugement essentiels. Pour les essais dans lesquels les résultats sont mesurés à plusieurs reprises dans le temps, un critère de jugement essentiel doit avoir été mesuré pour plus de 85% des sujets à l'une de ces reprises.
- Critère 9 Une *analyse en intention* de traiter signifie que, lorsque les sujets n'ont pas reçu le traitement (ou n'ont pas suivi l'intervention contrôle) qui leur avait été attribué, et lorsque leurs résultats sont disponibles, l'analyse est effectuée comme si les sujets avaient reçu le traitement (ou avaient suivi l'intervention contrôle) comme attribué. Ce critère est respecté, même sans mention d'une analyse en intention de traiter si l'article mentionne explicitement que tous les sujets ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle comme attribué.
- Critère 10 Une comparaison statistique *intergroupe* implique une comparaison statistique d'un groupe par rapport à un autre. Selon le plan expérimental de l'étude, cela peut impliquer la comparaison de deux traitements ou plus, ou la comparaison d'un traitement avec une intervention contrôle. L'analyse peut être une simple comparaison des résultats mesurés après administration des traitements, ou une comparaison du changement dans un groupe au changement dans un autre (quand une analyse factorielle de variance a été utilisée pour analyser les données, ceci est souvent indiqué sous la forme d'une interaction groupe x temps). La comparaison peut prendre la forme d'un test sous hypothèses (qui produit une valeur "p", décrivant la probabilité que les groupes diffèrent uniquement du fait du hasard) ou prendre la forme d'une estimation (par exemple: différence de moyennes ou de médianes, différence entre proportions, nombre nécessaire de sujets à traiter, risque relatif ou rapport de risque instantané dit "hazard ratio") et de son intervalle de confiance.
- Critère 11 Une *estimation de l'effet* est une mesure de la taille de l'effet du traitement. L'effet du traitement peut être décrit soit par une différence entre les groupes, soit par le résultat au sein (de chacun) de tous les groupes. Les *estimations de la variabilité* incluent les écarts-types, les erreurs standards, les intervalles de confiance, les intervalles interquartiles (ou autres quantiles) et les étendues. Les estimations de l'effet et/ou de la variabilité peuvent être fournies sous forme graphique (par exemple, les écarts-types peuvent être représentés sous forme de barres d'erreurs dans une figure) à la condition expresse que le graphique soit clairement légendé (par exemple, qu'il soit explicite que ces barres d'erreurs représentent des écarts-type ou des erreurs-standard). S'il s'agit de résultats classés par catégories, ce critère est considéré respecté si le nombre de sujets de chaque catégorie est précisé pour chacun des groupes.

Le renforcement des muscles inspirateurs permet-il d'améliorer la force ainsi que l'aisance et les capacités respiratoires des sapeurs-pompiers lors de leurs interventions sous appareil respiratoire isolant à circuit ouvert ?

Introduction : Lors de leurs interventions en milieux viciés, les sapeurs-pompiers portent des appareils respiratoires isolants à circuit ouvert leur permettant de respirer. Bien qu'indispensables, ceux-ci imposent des contraintes lors de l'inspiration favorisant la fatigue des muscles inspirateurs, diminuant l'aisance et les capacités de travail.

Matériel et méthode : Afin de diminuer ces contraintes, un programme de renforcement des muscles inspirateurs a été proposé à un groupe de dix sapeurs-pompiers volontaires. Ce protocole contrôlé et randomisé consistait pour le groupe « protocole » à inspirer à travers un Powerbreathe®, appliquant une résistance continue réglée à 85-90 % de la pression inspiratoire maximale individuelle. Ce renforcement consistait à réaliser deux fois par jour durant quatre semaines, 30 cycles respiratoires découpés en six séries de cinq inspirations et expirations avec 45 secondes de récupération entre chaque série et 30 minutes après les 30 premières inspirations. Les critères objectifs mesurés avant la réalisation du protocole étaient la pression inspiratoire maximale, l'ampliation thoracique et la spirométrie. L'aisance était mesurée grâce à un entretien individuel et une échelle de Borg modifiée.

Résultats : Seuls les résultats pré-protocoles ont pu être recueillis et ont montré que le port de l'appareil respiratoire isolant à circuit ouvert induit une diminution de la force des muscles inspirateurs objectivée par une diminution de la pression inspiratoire maximale ainsi qu'une diminution des volumes respiratoires et du rapport Tiffeneau. La pandémie du virus Covid-19 rendant impossible tout regroupement d'individus ne nous a pas permis de recueillir les données post-protocoles afin d'objectiver l'efficacité du protocole de renforcement.

Discussion : Après quatre semaines de renforcement, l'exploitation des carnets de suivi a montré que les participants du groupe « protocole » ressentaient moins de difficultés à effectuer l'exercice indiquant une adaptation des muscles inspiratoires à la charge.

Mots clés : appareil respiratoire isolant à circuit ouvert - muscles inspirateurs – renforcement - sapeurs pompiers.

Does strengthening the inspiratory muscles improve the strength, the ease and respiratory capacities of firemen while working with breathing apparatuses?

Introduction: During their interventions in contaminated environments, firemen wear breathing apparatuses. Though essential, these devices require special efforts during inhalation, which tends to provoke fatigue of the inspiratory muscles, thus decreasing ease and work capacity.

Material and method: In order to reduce these strains, a strengthening program of the inspiratory muscles was offered to a group of ten volunteers firemen. This controlled and randomized protocol consisted of having the test group inhale through a Powerbreathe®, applying a continuous resistance set at 85-90 % of the individual maximum inspiratory pressure. This protocol was carried out for four weeks, twice a day, with 30 respiratory cycles divided into six series of five inspirations and expirations, with a 45-seconds recovery between each series and a 30-minutes recovery after the first 30 inspirations. The objective criteria measured before the completion of the protocol were the maximum inspiratory pressure, the chest expansion and the spirometry. Ease was assessed through individual interviews and a modified Borg scale.

Results: Only the pre-protocol results could be collected and showed that wearing the breathing apparatus induce a reduction of the inspiratory muscles strength, objectified by a reduction in the maximum inspiratory pressure as well as a reduction in the respiratory volumes and the Tiffeneau ratio. Because of the COVID-19 pandemic and the restrictions on social gatherings, the objectification of the results at the end of the reinforcement protocol was made impossible.

Discussion: After four weeks of reinforcement, the use of follow-up notebooks showed that the participants of the "protocol" group felt less difficulties performing the exercise, indicating an adaptation of the inspiratory muscles to the load.

Key words: breathing apparatus - inspirators muscles – reinforcement – firemen.