



Comparaison des effets de l'électrostimulation neuromusculaire combinée des triceps suraux et des quadriceps versus quadriceps seuls dans la bronchopneumopathie chronique obstructive sévère et très sévère en réhabilitation respiratoire

Manon Castel

► To cite this version:

Manon Castel. Comparaison des effets de l'électrostimulation neuromusculaire combinée des triceps suraux et des quadriceps versus quadriceps seuls dans la bronchopneumopathie chronique obstructive sévère et très sévère en réhabilitation respiratoire. Sciences du Vivant [q-bio]. 2016. dumas-01438231

HAL Id: dumas-01438231

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01438231>

Submitted on 10 Feb 2017

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

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



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



**Comparaison des effets de
l'électrostimulation neuromusculaire
combinée des triceps suraux et des
quadriceps versus quadriceps seuls dans la
bronchopneumopathie chronique obstructive
sévère et très sévère en réhabilitation
respiratoire**

Travail écrit de troisième année de formation en masso-kinésithérapie
En vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
CASTEL Manon
Année 2013-2016

Je tiens à remercier tout d'abord toute l'équipe du service de réhabilitation respiratoire du centre hospitalier de Morlaix qui m'a permis de mettre en place mon étude.

Et plus particulièrement, Marc Beaumont pour ses conseils avisés et Loic Péran pour son aide précieuse et sa disponibilité tout au long du suivi de ce travail.

Merci à l'ensemble des patients ayant accepté de participer à cette étude.

Enfin, je remercie mes formateurs pour leurs encadrements tout au long de ce travail.

Je n'oublie pas ma famille, mes amis et Cédric, pour leur contribution et leur soutien.

CASTEL

Manon

TITRE : Comparaison des effets de l'électrostimulation neuromusculaire combinée des triceps suraux et des quadriceps versus quadriceps seuls dans la bronchopneumopathie chronique obstructive sévère et très sévère en réhabilitation respiratoire

Introduction : De nombreuses études ont démontré l'efficacité de l'électrostimulation neuromusculaire (ESNM) chez les patients atteints de BPCO. Elle permet un gain de force et d'endurance musculaire ainsi qu'une augmentation des capacités fonctionnelles améliorant la qualité de vie du patient. La plupart des études sont focalisées sur l'ESNM des quadriceps, il semblerait cependant opportun que les triceps suraux, aussi important dans la capacité d'exercice, y bénéficient également. Cette étude a pour objectif d'évaluer les effets de l'ESNM combinée des triceps suraux et des quadriceps versus quadriceps seuls lors d'un programme de réhabilitation respiratoire (PRR).

Méthode : 11 patients atteints de BPCO de stade 3 ou 4 selon GOLD (2006) randomisés en 2 groupes sont inclus dans cette étude de faisabilité : un groupe bénéficie d'un PRR classique incluant de l'ESNM des quadriceps (n=6) (groupe Q) et un groupe bénéficie d'un PRR incluant ESNM des quadriceps et des triceps suraux (n=5) (groupe QT).

Résultats : Les patients du groupe QT ont davantage amélioré leur capacité à l'exercice au ST3 et au TDM6, leur qualité de vie, l'endurance des quadriceps et la force des triceps en comparaison aux patients du groupe Q. L'amélioration de la force des quadriceps est en faveur du groupe Q

Conclusion : Lors de l'utilisation du programme d'ESNM chez les patients BPCO, il semble intéressant d'associer la stimulation des quadriceps et des triceps suraux .

Introduction: A significant number of studies demonstrated the effectiveness of neuromuscular electrical stimulation (NMES) for patients with COPD. This allows a gain of strength and muscular endurance, increased functional capabilities and improved the quality of life of the patient. Most studies focused on the quadriceps NMES. However, it seems appropriated that triceps surae also, important in exercise capacity benefit them too. The goal of this study is to assess the value of the combined NMES of the triceps surae and quadriceps versus quadriceps only in respiratory rehabilitation program (RRP)

Method: 11 patients with COPD stage 3 or 4 according GOLD (2006) randomized into 2 groups are included in the feasibility study: one group receiving RRP including the classic NMES of quadriceps (n = 6) (Q group) and a group receiving a RRP including NMES of quadriceps and triceps surae (n = 5) (QT group).

Results: Patients QT group have further improved their exercise capacity at ST3 and TDM6, quality of life , endurance of quadriceps and strength of the triceps compared to patients in the group Q. The improvement in quadriceps strength is in favor of group Q.

Conclusion: If indication of NMES, it would be interesting to combine the stimulation of the quadriceps and triceps

Mots clés : BPCO, électrostimulation neuromusculaire, ESNM, réhabilitation respiratoire

Keys words : COPD, neuromuscular electrical stimulation, NMES, respiratory rehabilitation

INSTITUT DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE -BREST-

22 avenue Camille Desmoulins CS 93837 – 29238 Brest Cedex

TRAVAIL ECRIT DE FIN D'ETUDES – 2013/ 2016

Sommaire

I. INTRODUCTION	1
II. CONTEXTE	3
II.1. Une maladie chronique aux conséquences multiples	3
II.1.1. Une maladie respiratoire chronique	3
II.1.2. Une maladie respiratoire et extra-respiratoire	4
II.1.2.1. L'influence de la maladie sur les muscles périphériques	4
II.1.2.2. Les facteurs aggravants le dysfonctionnement musculaire	6
II.2. ESNM	7
II.2.1. En quoi consiste l'ESNM ?	7
II.2.1.1. Le Fonctionnement de l'ESNM	7
II.2.1.2. Le courant utilisé	7
II.2.1.3. La contraction volontaire	8
II.2.2. L'ESNM appliquée aux patients BPCO	8
II.2.2.1. L'intérêt de l'ESNM	8
II.2.2.1. Les effets indésirables	11
II.3. Problématique	11
II.4. Hypothèses	12
III. METHOLOGIE DE L'ETUDE	13
III.1. Population	13
III.2. Matériel et méthode	13
III.2.1. Les modalités de l'ESNM	14
III.2.2. L'installation du patient	14
III.2.2.1. Le positionnement des électrodes	14
III.2.2.2. Le point moteur	15
III.2.2.3. Les consignes données aux patients	15
III.3. Les critères de jugements	15
III.3.1. Le critère de jugement principal : le step test 3 minutes	16
III.3.2. Les critères de jugements secondaires	16
IV. RESULTATS	19
IV.1. Caractéristiques des participants de l'étude	19
IV.2. Résultats des tests	21
V. DISCUSSION	24
VI. CONCLUSION	30
VII. BIBLIOGRAPHIE	31
VIII. ANNEXES	36

I. INTRODUCTION

Lors de mon stage dans le service de réhabilitation respiratoire du centre hospitalier des pays de Morlaix en mars 2015, je me suis intéressée à la place du kinésithérapeute dans la prise en charge du patient atteint de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) en réhabilitation respiratoire.

La BPCO est une maladie chronique qui pèse un poids énorme au niveau de la santé publique. Son coût est estimé à 3,5 milliards d'euros par an. Bien qu'elle soit sous-diagnostiquée, sa prévalence est déjà de 7,5 % dans la population générale. Cette maladie dite « maladie du fumeur » touche 3.5 millions de personnes en France. Le taux d'incidence a nettement augmenté chez les femmes alors qu'il se stabilise chez les hommes. Cela est lié à l'augmentation de la consommation de tabac chez les femmes. Ainsi en 10 ans, le nombre d'hospitalisation a augmenté de 1,5 % chez les hommes pour 4,5% chez les femmes. L'écart entre les hommes et les femmes diminue mais la BPCO reste en constante évolution au niveau de la population générale. On comptait en 2006, 16 000 décès par an en France. L'OMS stipule qu'en 2030 cette maladie deviendra la 5^e cause de décès en France, soit 34 000 décès par an. (1)

Face à ces constats, la société de pneumologie de la langue française (SPLF) a élaboré des recommandations sur la prise en charge de cette maladie (2). La réhabilitation respiratoire devient alors primordiale dans le traitement de la maladie. Elle permet, à l'aide d'une équipe pluridisciplinaire, de favoriser auprès des patients un changement de comportements visant à « améliorer la santé globale, physique et psychologique des personnes atteintes de maladie respiratoire chronique et à promouvoir leur adhésion à long terme à des comportements adaptés à leur état de santé » selon une définition récente de l'American Thoracic Society (ATS) en 2013.(3)

En effet, la BPCO est une maladie à point de départ respiratoire mais qui devient par la suite une maladie avec de nombreuses co-morbidités et notamment des répercussions importantes au niveau des muscles périphériques entraînant une diminution de la qualité de vie du patient. La gêne respiratoire et le déconditionnement musculaire provoque un isolement progressif du patient. Il adopte en effet un mode de vie de plus en plus sédentaire.

Comme dans beaucoup de maladie chronique, cet isolement doit être limité afin de permettre au patient de maintenir la meilleure qualité de vie possible. Un des objectifs du programme de réhabilitation respiratoire est de promouvoir l'activité physique.

Dans ce contexte, le masseur-kinésithérapeute occupe une place importante au sein du programme de réhabilitation, il participe à la réalisation :

- des évaluations et des bilans,
- du programme de réentraînement à l'exercice sur ergomètre
- du programme de renforcement musculaire analytique
- de cours de gymnastiques collectives
- d'éducation thérapeutique individuelle ou collective
- des techniques de désencombrement bronchique
- de la gestion de l'essoufflement

J'ai pu observer qu'actuellement l'outil le plus communément utilisé pour l'entraînement en endurance est l'ergomètre (c'est-à-dire vélo d'appartement ou tapis roulant). Cependant, il est parfois difficilement toléré chez certains patients BPCO sévères et très sévères. (4)

Une alternative consiste en l'utilisation d'un programme d'électrostimulation neuromusculaire (ESNM) en complément. C'est adapté pour les patients ne pouvant pas effectuer de programme de réentraînement classique.

En étudiant la littérature, il apparaît en effet que c'est une technique non dyspnéisante, ne sollicitant pas le système cardio-respiratoire. Les effets secondaires sont rares. De légères crampes et érythèmes cutanés ont été rapportés. L'ESNM est ainsi appréciée des patients, ce qui permet d'obtenir leurs compliances face au programme proposé. (5)

Les études démontrent que cette technique permet un gain de force et d'endurance musculaire, améliorant de manière importante les capacités fonctionnelles du patient et donc sa qualité de vie. (6), (7)

Cependant, la plupart de ses études se focalisent sur le quadriceps, indispensable dans la déambulation et les activités de la vie quotidienne. En accord avec ces études, sur mon lieu de stage, seuls les quadriceps étaient donc stimulés.

Cela m'a amenée à me poser la question suivante qui est le point de départ de mon travail de fin d'études : « Pourquoi utilise-t-on l'ESNM uniquement sur les quadriceps alors que tous les muscles d'un patient BPCO sévère ou très sévère sont atrophiés ? »

Une étude expérimentale a alors été mise en place autour de la problématique de recherche suivante :

« Un traitement par ESNM transcutanée sur plusieurs groupes musculaires est-il plus efficace en terme de capacités fonctionnelles qu'un programme d'ESNM sur un seul groupe musculaire ? »

L'objectif de ce travail est de comparer l'effet de l'électrostimulation neuromusculaire combinée des triceps suraux et des quadriceps versus l'électrostimulation des quadriceps seuls chez les patients BPCO sévères et très sévères en réhabilitation respiratoire. Les triceps suraux étant des muscles importants lors de la réalisation des activités de la vie quotidienne, avec notamment un rôle primordial dans la déambulation et la montée d'escalier, il semble avantageux de les stimuler également.

Nous aborderons dans un premier lieu le contexte de l'étude. Nous étudierons alors le déconditionnement des patients BPCO et l'intérêt du programme de réhabilitation respiratoire et de l'électrostimulation neuromusculaire pour y remédier.

Dans un deuxième temps, après avoir posé notre problématique et nos hypothèses, nous présenterons l'étude expérimentale effectuée selon la logique IMRAD (contexte, matériels et méthodes, résultats, analyse et discussion).

II. CONTEXTE

II.1. Une maladie chronique aux conséquences multiples

II.1.1. Une maladie respiratoire chronique

Selon Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD), la BPCO est une maladie respiratoire chronique caractérisée par une limitation des débits ventilatoires non totalement réversible liée à une obstruction permanente et progressive des voies aériennes. Cette obstruction est associée à une réaction inflammatoire des poumons à des particules ou gaz nocifs inhalés. (8) Le tabac en est la principale cause (80% des cas).

La BPCO est une maladie évolutive. Elle entraîne un trouble ventilatoire obstructif (TVO) et donc une limitation des débits ventilatoires par deux mécanismes physiologiques :

- une obstruction bronchique intrinsèque liée à l'inflammation et au remodelage bronchique des petites voies aériennes
- un emphysème par la perte d'élasticité du poumon ce qui entraîne alors une diminution des échanges gazeux.

À un stade avancé, la maladie entraîne ainsi une insuffisance respiratoire limitant le moindre effort de la vie quotidienne. (9)

Le diagnostic se fait par spirométrie avec la mesure du VEMS (volume expiratoire maximal à la première seconde) et de la CVF (capacité vitale forcée). Le trouble obstructif est ainsi défini selon le rapport $VEMS / CVF < 70\%$ après l'administration de bronchodilatateurs. (10)

La chronicité de la maladie fait qu'en évoluant la BPCO entraîne :

- un déclin accéléré de la fonction respiratoire qui va majorer progressivement la dyspnée à l'effort et diminuer ainsi parallèlement les capacités fonctionnelles du patient
- un impact sur la qualité de vie (11)
- de fréquentes comorbidités qui aggravent les symptômes et le pronostic. (12)
- des exacerbations pouvant mettre en jeu le pronostic vital

L'exacerbation chez un patient BPCO est l'aggravation soutenue des symptômes respiratoires et de l'état du patient. Les signes sont : une augmentation de la dyspnée, une toux productive, des expectorations modifiées et de la fièvre. Cela nécessite un changement dans la médication du patient pouvant aller d'un besoin accru de médicaments dans le cadre d'une exacerbation douce à la nécessité d'une hospitalisation en pneumologie voire en réanimation dans le cadre d'une exacerbation sévère. (13)

C'est un facteur important de la maladie parce que chaque exacerbation aggrave la BPCO en entraînant une baisse de la VEMS.

Afin de caractériser les patients BPCO, le comité GOLD en charge des recommandations internationales de la BPCO a développé deux classifications :

- La première dans le tableau 1 en ANNEXE I, classe les patients BPCO en fonction de la sévérité de la maladie. (14) 4 stades sont ainsi définis en fonction du VEMS allant du stade

léger I au stade très sévère IV. Le traitement médicamenteux du patient est adapté en fonction de son stade de sévérité. A partir du stade II, la réhabilitation respiratoire peut être envisagée.

- La deuxième classification de 2011 (tableau 2 en ANNEXE I) définit 4 groupes de risque d'exacerbations, les groupes ABCD. Cette classification repose à la fois sur le degré de sévérité de la maladie et sur le nombre d'exacerbations au cours de l'année passée ainsi que sur les symptômes ressentis par le patient, qui sont quantifiés au moyen du COPD Assessment Test (CAT) [ANNEXE II] et de l'échelle modifiée «Medical Research Council Dyspnea Scale» (mMRC) [ANNEXE III]. (15). Avec cette nouvelle classification les exacerbations et les comorbidités sont considérées dans la prise en charge du patient, ce qui est une avancée essentielle puisqu'elles participent lourdement à l'évolution de la maladie.

II.1.2. Une maladie respiratoire et extra-respiratoire

De nombreuses répercussions extra-respiratoires apparaissent avec cette maladie : dénutrition, ostéoporose, dépression, surmortalité cardio-vasculaire, trouble urologique, trouble de la fonction sexuel, altération de l'équilibre....(16)

Une des manifestations la plus fréquente pour le patient BPCO est le dysfonctionnement musculaire. En effet, cela entraîne une intolérance à l'effort qui se traduit par des performances physiques diminuées voire une gêne dans les activités de la vie quotidienne.

Ce dysfonctionnement est multifactoriel ; une approche globale est donc nécessaire pour retrouver une fonction musculaire optimale : reconditionnement physique, oxygénothérapie, anabolisant et nutrition. (17) En considérant chacune de ces approches cette atteinte musculaire peut-être réversible.

Ces répercussions extra respiratoires sont essentielles dans la prise en charge du patient. Certaines sont prédictives de la mortalité chez le patient BPCO : la dyspnée, la dénutrition, l'incapacité à l'exercice. Ces derniers sont pris en compte au sein du score composite BODE : Body mass index, Obstruction, Dyspnea, Exercice.(18)

Le score obtenu par l'index BODE [ANNEXE IV] est utilisé car il est plus discriminant que le niveau d'obstruction bronchique pour déterminer la sévérité de la maladie. Ce score prédit la mortalité des patients BPCO à 5 ans.

II.1.2.1. L'influence de la maladie sur les muscles périphériques

La broncho-pneumopathie chronique obstructive s'accompagne de modifications des muscles squelettiques tant au niveau structurel que biochimique. Cela a pour effet d'aggraver encore davantage la morbidité et la mortalité en provoquant la sédentarité. (19)

De nombreuses études ont été réalisées sur les muscles périphériques montrant une atrophie marquée. La diminution de la surface de section est étroitement liée à la diminution de la force et de l'endurance des muscles de l'appareil locomoteur. (20), (17).

Dans une étude, J. Préfaut note une diminution de l'endurance pouvant aller jusqu'à 57 % et une diminution de la force pouvant aller jusqu'à 33% au niveau du quadriceps.(21). Comment l'expliquer ?

Un muscle est un ensemble de faisceaux de fibres musculaires. Les fibres se distinguent par les processus métaboliques qu'elles utilisent et leurs résistances à la fatigue. En effet, il existe des potentialités différentes pour l'utilisation de l'ATP qui est l'énergie nécessaire à une contraction musculaire. La vitesse de contraction de la fibre dépend de la rapidité à scinder cet ATP.

On classe alors les fibres musculaires selon leurs caractéristiques physiologiques en deux grands groupes.

- Fibre I ou à contraction lente : ce sont des fibres rouges qui utilisent le métabolisme oxydatif, très résistantes à la fatigue. Elles sont utilisées pour des exercices prolongés.
- Fibre II ou à contraction rapide : ce sont des fibres blanches utilisant majoritairement le métabolisme glycolytique avec une résistance à la fatigue très faible mais une force de contraction plus élevée que les fibres I. (22)

Les fibres II sont divisées en deux sous catégories :

- les fibres IIa sont des fibres intermédiaires entre les types I et les types II donc moyennement fatigables, moyennement fortes et moyennement endurantes.
- les fibres IIb sont extrêmement rapides mais très fatigable (car essentiellement glycolytique)

Chez un sujet sain actif, la répartition des fibres musculaires est telle qu'il y a 60% de fibre I pour 40 % de fibres II.

Il est démontré que chez les patients atteints de pathologies respiratoires chroniques, comme la BPCO, il y a une modification histologique de ces fibres musculaires avec une diminution des fibres de type I (endurantes) et une augmentation des fibres de type II (rapides) (23). Cela est lié à un double phénomène, d'une part la destruction de certaines fibres I et d'autre part transformation des fibres I en fibre II. (24)

De plus, le nombre de mitochondries et le nombre de capillaires en contact avec les fibres musculaires oxydatives diminuent chez les patients BPCO. Or, une bonne capillarisation permet une utilisation optimale de l'oxygène dans tout le tissu musculaire afin de maximiser la performance musculaire. (25)

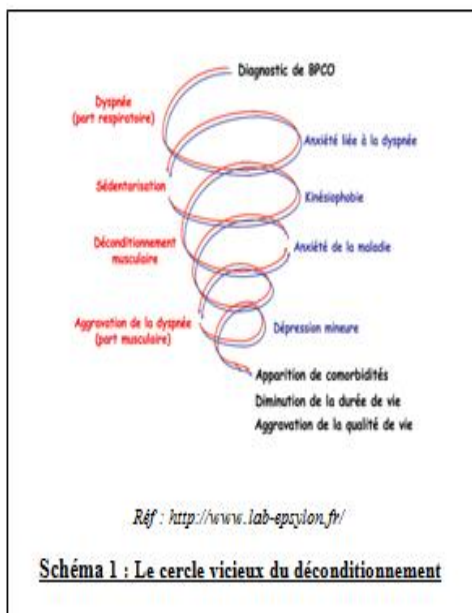
Ces deux phénomènes conduisent entre autres à l'altération fonctionnelle des muscles squelettiques. La conséquence est importante : une atrophie sévère du quadriceps, pour un VEMS égal, réduit l'espérance de vie du patient BPCO de moitié. (24)

II.1.2.2. Les facteurs aggravants le dysfonctionnement musculaire

Selon F. Maltais, le dysfonctionnement musculaire périphérique dans la broncho-pneumopathie chronique obstructive est en effet lié à une altération physiologique et histologique du muscle mais pas seulement. D'autres facteurs favorisent la baisse de force et d'endurance musculaire (26) :

- une inflammation chronique : une inflammation systémique est détectable dans le sang circulant par l'élévation des taux de facteurs de nécrose tumorale (TNF alfa) et d'autres cytokines. C'est à l'origine de l'atrophie musculaire et du stress oxydatif responsable de la diminution des performances musculaires.
- une hypoxémie : c'est une diminution de la quantité d'oxygène transportée dans le sang qui a pour conséquence la réduction de la conduction neuromusculaire et la diminution du recrutement des fibres. (27) Cela entraîne également une diminution de la masse musculaire et affaiblit la capacité oxydative des fibres musculaires.
- une perturbation de l'équilibre électrolytique : par exemple le déficit de calcium est à l'origine de l'hyperexcitabilité neuromusculaire telle que la crampe.
- l'inactivité : plus un sujet est sédentaire plus les fibres I diminuent et les fibres II augmentent. Chez le patient BPCO, les fibres I sont déjà diminuées et l'inactivité amplifie ce phénomène

Le problème c'est que lors d'une activité simple, les fibres I oxydatives en nombre insuffisant désormais ne peuvent pas générer suffisamment d'énergie pour assurer le mouvement. Les fibres II glycolytiques interviennent. Leur action génère une production trop importante d'acide lactique, activant le centre nerveux respiratoire pour provoquer une hyperventilation destinée à éliminer l'excès d'acidité. Cela entraîne simultanément une augmentation de la dyspnée du patient. C'est le cercle vicieux de la dyspnée.



Lors d'un exercice, l'apparition de la dyspnée musculaire va aggraver la dyspnée respiratoire déjà existante à cause de l'obstruction bronchique. Le malade ressent cette aggravation de la dyspnée à l'exercice ce qui l'amène à encore diminuer davantage son activité physique. Le problème c'est que cela accélère la disparition des fibres I et/ ou leurs transformations en fibres II. C'est le cercle vicieux du déconditionnement alimenté par le cercle vicieux de la dyspnée.

Avec l'évolution de la maladie, une véritable kinésiophobie s'installe et la perte de confiance dans sa capacité à réaliser un effort peut être à l'origine de dépression mineure.

Ce processus auto-entretenu marque l'inadaptation progressive souvent involontaire du patient à l'environnement, sa dépendance et sa dégradation de la qualité de vie. Le patient perd son autonomie.

L'inactivité chronique est un véritable amplificateur de vulnérabilité comme le représente la spirale du déconditionnement (schéma 1).

Ainsi pour contrer ce cercle vicieux, les recommandations actuelles de ATS, ERS 2013 préconisent un programme de réhabilitation respiratoire. L'objectif est de réintroduire l'activité physique dans le quotidien du patient, afin de diminuer la part musculaire de la dyspnée et d'améliorer sa qualité de vie.

Au cours de ce programme qui dure habituellement 4 semaines, les patients alternent entre :

- l'entraînement aérobie : 2 fois 30 minutes par jour, 5 fois par semaine. C'est un travail en endurance des membres inférieurs, à une fréquence cardiaque cible déterminée lors du test d'effort, soit sur cycloergomètre ou sur tapis de marche.
- le renforcement musculaire analytique des muscles inspireurs et périphériques dont les quadriceps, 3 séries de 10 à 50% de la force maximale volontaire 1 fois par jour.
- la gymnastique collective : 30 minutes par jour pour renforcer les muscles, assouplir la cage thoracique, travailler sur la ventilation et l'équilibre
- la relaxation : 1 fois par semaine pour diminuer les tensions et trouver l'apaisement.
- le désencombrement bronchique : les techniques sont enseignées à tous les patients
- l'éducation thérapeutique : suite à un entretien individuel permettant le diagnostic éducatif, le programme est personnalisé et réalisé sous forme de séance collective ou individuelle pour aider le patient à mieux comprendre et contrôler sa maladie l'ESNM : en complément des programmes d'entraînement aérobie et de renforcement musculaire. 1 fois par jour, 3 fois par semaine, uniquement chez les patients BPCO sévères.

II.2. ESNM

II.2.1. En quoi consiste l'ESNM ?

II.2.1.1. Le Fonctionnement de l'ESNM

L'activité musculaire est généralement contrôlée par le système nerveux central (SNC) et périphérique grâce à des signaux électriques (potentiel d'action) qui sont envoyés vers les muscles. L'ESNM transcutanée agit directement sur le nerf ou la fibre musculaire. On court-circuite la commande centrale en envoyant une courte impulsion électrique externe au travers des électrodes collées sur la peau. Le but étant de stimuler les fibres nerveuses et de générer un potentiel d'action afin de reproduire la contraction volontaire.

Le seuil d'excitabilité des axones étant 20 fois plus bas que celui des fibres musculaires, le courant passe toujours par le nerf avant de stimuler la fibre musculaire. Pour cela, le positionnement des électrodes est fondamental. (28)

La recherche du point moteur du muscle est donc essentielle avant la pose des électrodes.

Le point moteur représente le point où le muscle fournit une réponse maximale pour un stimulus électrique minimal. C'est une zone caractérisée par une grande densité d'éléments nerveux terminaux situés près de la surface cutanée. (29)

II.2.1.2. Le courant utilisé

Il existe plusieurs formes de courant influant sur la réponse de la contraction musculaire. Le courant peut-être continu ou d'impulsion monophasique ou biphasique. Il peut prendre plusieurs formes

(carré, sinusoïdale, rectangulaire) et avoir des fréquences modulées ou non. Un réglage optimal de l'appareil permet d'obtenir les résultats souhaités.

Les paramètres habituels lors de l'ESNM transcutanée chez les patients BPCO ont les caractéristiques suivantes : (30)

- l'impulsion est rectangulaire à début brusque pour que ce soit confortable
- le courant est biphasique (polarité inversée en permanence), il n'a pas de propriété électrolytique et donc ne produit pas de brûlure chimique
- le temps de repos doit être supérieur au temps de travail pour limiter la fatigue musculaire
- la durée d'impulsion est aux alentours de 350-400 μ s
- l'intensité est réglée en fonction de la tolérance du patient et doit être la plus élevée possible.
- la durée de la séance est d'environ 30 min dans la plupart des études
- le nombre de séance doit être compris entre 15 et 40
- la fréquence, c'est-à-dire le nombre d'impulsions électriques par seconde doit être comprise entre 20 et 80hz en fonction des fibres que nous souhaitons recrutées.
 - o Pour stimuler les fibres I, il faut une fréquence d'au minimum 30 Hz.
 - o Pour stimuler les fibres IIa, il faut une fréquence de 40Hz.
 - o Et pour stimuler les fibres IIb, une fréquence de 65 Hz est nécessaire.

Néanmoins, les effets de l'électrostimulation entre 50 et 75 Hz semblent être identiques (31).

Il faut prendre en considération que tous les patients ne sont pas répondeurs à l'électrostimulation de la même façon. (32)

II.2.1.3. La contraction volontaire

De manière physiologique le système nerveux central (SNC) a un rôle de coordination et de modulation dans chaque contraction volontaire. En effet, lors des contractions volontaires le SNC déclenche une activation des unités motrices (UM) qui peut être synchrone comme asynchrone et cela avec une fréquence de décharge des motoneurones qui peut être variable comme constante. Ce système permet un roulement des unités motrices, elles sont recrutées dans un ordre précis les petites UM puis les plus grandes UM afin de limiter la fatigabilité des fibres. (32)

L'ESNM présente la particularité d'entraîner la contraction synchronisée de toutes les fibres innervées par la même UM. Le SNC n'intervenant plus, les UM les plus proches du champ de stimulation sont stimulées en premier et de façon synchrone.

Pour respecter le recrutement asynchrone qui est physiologique, il y a tout intérêt à associer à l'ESNM une contraction volontaire afin de limiter la fatigabilité des fibres. (33)

II.2.2. L'ESNM appliquée aux patients BPCO

II.2.2.1. L'intérêt de l'ESNM

D'après les recommandations actuelles (9), le réentraînement des muscles périphériques en endurance et en force est une pierre angulaire de la réhabilitation respiratoire. Le réentraînement sur cycloergomètre est une des techniques la plus décrite et la plus utilisée.

Cependant, une étude a montré que le temps d'exercice est de 13 minutes maximum pour les BPCO sévères, soit de stade III et IV, sur ergocycle, sans arrêt ou pénibilité excessive. (34).

Or, selon une autre étude de Surpas, il faut un minimum de 20 min d'exercices pour le considérer comme bénéfique pour le travail de l'endurance.

Pour certains patients BPCO sévères et très sévères, les techniques de renforcement musculaire sur cyclergomètre s'avèrent alors très difficiles. Il est nécessaire de mettre en place une alternative.

Les recommandations de la société de pneumologie de langue française (splf) en 2009 et de l'ARS en 2013 indiquent que l'ESNM peut être proposée chez ces patients rapidement fatigables, ayant une sévère intolérance à l'exercice, et notamment après une exacerbation ou un séjour en réanimation. (35)

De nombreuses études répertoriées dans le tableau d'analyse littérature en ANNEXE V ont démontré les bénéfices de l'électrostimulation chez les BPCO.

Dans un article, A.Couillard (36) le résume ainsi : l'électrostimulation neuromusculaire améliore la force et l'endurance des muscles périphériques, la capacité d'exercice, la dyspnée à l'effort et enfin la qualité de vie.

II.2.2.2. Impact sur la force et l'endurance

L'appareil contractile d'un muscle est constitué de filaments fin d'actine et épais de myosine. Lors de la contraction musculaires, ces filaments glissent les uns sur les autres ce qui entraîne le raccourcissement du muscle. Il existe 3 isoformes du filament de myosine : MHC -1 ; MHC-2a ; MHC-2x qui sont à l'origine des fibres de type I dites "lentes", et les fibres de type IIa et IIb dites "rapides".

Une étude de J. Godin (37) a comparé la distribution des isoformes MHC. Il a été noté chez des étudiants de faculté de sport très actifs une faible concentration en MHC-2X tandis que chez des étudiants en médecine très peu actifs une forte concentration en MHC-2X

Cependant, pour les deux groupes, après un programme d'ESNM des quadriceps, on note une augmentation significative en MHC -1 et une diminution des MHC-2a et MHC- 2x. La distribution en MHC des deux groupes était beaucoup plus similaire que celle du départ après ce programme.

Cela indique deux choses :

- l'ESNM entraîne une modification des protéines myosines vers un phénotype plus lent et plus endurant à l'origine de l'augmentation des fibres I et de la diminution des fibres II.
- plus de groupe est sédentaire, plus la modification est rapide.

De plus, l'ESNM évite la fonte de la masse musculaire (38). Cette technique est adaptée pour lutter contre l'atrophie musculaire chez les personnes hypoactives (37).

Ces phénomènes sont en partie responsables du gain de force et d'endurance des muscles.

II.2.2.3. Impact sur les capacités fonctionnelles

Une étude de A. Abdellaoui réalisée en 2011 (39) sur 15 patients en phase d'exacerbation de BPCO a montré que les patients ayant suivi un programme d'ESNM sur les quadriceps et ischio-jambiers

ont augmenté significativement leur distance de marche au TDM6. La médiane étant de +165m pour le groupe avec électrostimulation contre +58 m pour le groupe avec un renforcement musculaire des quadriceps classique.

Une étude similaire réalisée par E. Zanotti en 2012 (40) mais cette fois sur des BPCO de stade 2 a obtenu les mêmes résultats. Les patients qui ont suivi un programme d'ESNM en complément du programme de réhabilitation respiratoire habituel ont augmenté leur distance de 146 m contre 85m pour le groupe contrôle, c'est-à dire sans ESNM mais avec le même groupe contrôle.

L'ESNM aurait un impact fonctionnel d'autant plus important que le stade de la maladie est sévère. (41)

II.2.2.4. Impact sur la qualité de vie.

a) Diminution de la dyspnée

La dyspnée est un des symptômes les plus courants de la maladie. C'est une sensation d'inconfort respiratoire. Elle est présente à tous les stades de la maladie et limite les efforts des patients. Les patients la décrivent subjectivement comme un essoufflement ou une gêne qui peut être pénible voire anxiogène. (42)

Dans l'étude de E. Zanotti réalisée en 2012 (43), il n'y a pas de différence au niveau de la dyspnée entre les deux groupes (avec ESNM ou sans ESNM) à l'échelle mMRC [ANNEXE II].

Cependant, dans l'étude d'A. Abdellaoui en 2001 il y a une diminution de 2 points en faveur du groupe avec ESNM contre 1 point seulement pour le groupe sans ESNM sur cette même échelle.

De même, dans l'étude de Vivodtzev en 2006, on note une diminution du score of the 28-item Mageri Foundation Respiratory Failure de -1.7 points pour le groupe avec ESNM contre -0.2 point pour le groupe sans ESNM sachant que plus le score diminue, plus la qualité de vie augmente.

L'ESNM a un impact sur la dyspnée pour les patients sévèrement atteints par la maladie.

b) Amélioration de la qualité de vie

La qualité de vie est une donnée subjective. C'est une évaluation par le patient de sa propre santé, afin de connaître les domaines dans lesquels le patient ressent les conséquences de sa maladie. (44)

D'après une étude de P. Vierra (45) suite à l'ESNM des quadriceps chez des patients BPCO, il y a eu une amélioration de 11 points lors du bilan de sortie au test de qualité de vie Saint-Georges [ANNEXE VI] contre 2 points pour le groupe contrôle.

II.2.2.1. Les effets indésirables

Une étude de S. Dal Corso et co (6) a montré qu'il n'y avait pas d'effets secondaires (douleurs ou lésions) associés à l'électrostimulation suite à une stimulation neuromusculaire à haute fréquence 50 Hz pendant 6 semaines chez les patients BPCO.

Sur 7 études randomisées de 2002 à 2011, soit 95 patients la compliance a été de 95% avec une tolérance de 100% sans effets secondaires si ce n'est 5 crampes légères.

M. Maddock a noté la présence d'erythèmes cutanés chez certains patients également (41). Cependant, aucuns de ces effets secondaires ne contre-indiquent la poursuite du programme. En règle générale, le programme est bien toléré et suivi par les patients.

II.3. Problématique

Au terme des études déjà menées, il apparaît clairement que l'ESNM apporte des bénéfices nets si elle est incluse dans un programme de réhabilitation respiratoire classique. (5) (17).

En général, dans un programme de réhabilitation respiratoire, seuls les quadriceps sont stimulés par l'ESNM transcutanée alors que l'ensemble des muscles périphériques de l'appareil locomoteur sont concernés par la diminution de force ou de l'endurance selon de nombreuses études. (6) (7) (45) (46) Plusieurs auteurs ont montré que la distribution de la faiblesse musculaire ne concernait pas seulement le quadriceps mais également les ischios jambiers, le long fibulaire et le triceps sural entre autres. (47)

Le quadriceps est le muscle le plus étudié dans la BPCO. Ceci s'explique en grande partie par le fait que la fonction de la marche implique largement ce groupe musculaire. Il est également indispensable pour les activités de la vie quotidienne (montée des escaliers, transfert).

D'autres critères entrent en jeu pour expliquer le choix de ce muscle dans les études :

- la biopsie du vaste externe du quadriceps permet d'analyser de façon simple l'impact au niveau cellulaire de l'ESNM
- le quadriceps est un facteur prédictif de la mortalité chez les BPCO via l'index BODE

Toutefois de petites études concernant de faibles échantillons de population ont étudié l'impact de l'électrostimulation sur d'autres muscles squelettiques. Des résultats comparables à ceux de l'ESNM des quadriceps ont été rapportés.

Cependant ces études comparent deux groupes de BPCO : un avec un programme d'ESNM et l'autre sans ESNM. (39) (48)

Actuellement aucune étude n'a analysé l'impact fonctionnel de l'ESNM sur plusieurs groupes musculaires versus le quadriceps seul.

« Un traitement par ESNM transcutanée sur les groupes musculaires quadriceps + triceps est-il plus efficace en terme de capacités fonctionnelles qu'un programme d'ESNM sur quadriceps seul ? »

II.4. Hypothèses

On peut penser que la stimulation conjointe de plusieurs groupes pourrait apporter plus de résultats sur le plan fonctionnel chez les patients atteints de BPCO sévères et très sévères que la stimulation du quadriceps seul déjà incluse dans les programmes de réhabilitation respiratoire habituels..

Notre choix pour le deuxième muscle s'est porté sur l'antagoniste : le triceps sural puisqu'il possède lui aussi un rôle très important dans les activités de la vie quotidienne. Le triceps sural situé dans la loge postérieure superficielle de la jambe regroupe les muscles gastrocnémiens (le chef médial et le chef latéral) et le muscle soléaire situé en profondeur.

Tous les mouvements qui comportent à la fois une extension de la cheville ou du genou comme le fait de grimper ou de courir favorisent la mise en jeu des muscles gastrocnémiens.

Le triceps sural donne sa puissance maximum lorsque partant de la position cheville fléchie et genou étendu il se contracte pour étendre la cheville donnant l'impulsion motrice lors du dernier temps du pas. (49)

Ce muscle est fortement sollicité pour son activité de retardement : il empêche la création d'un talus qui aboutirait à une flexion trop rapide du genou avec perte de l'équilibre du marcheur. Le rôle joué à ce stade par la loge postérieure est illustré de manière claire par la pathologie. Chez le marcheur privé de ce muscle et dont le genou est resté stable, on assiste à une descente abrupte du bassin qui donne l'impression que le sujet tombe dans un trou. C'est lié à l'impossibilité de tracter vers le haut la cheville.

Ce rôle de propulseur est ainsi essentiel dans la marche mais également dans la montée d'escalier ou le saut.

Les tests réalisés pour l'évaluation de l'étude seront des tests protocolisés qui permettront de comparer les résultats aux valeurs de références et d'assurer leur fiabilité.

- un critère de jugement principal : l'évolution du nombre de réalisation lors du step test de 3min (ST3) entre le début et la fin du programme.

-des critères de jugements secondaires :

- l'évaluation de la force maximale volontaire et de l'endurance des quadriceps avec le dynamomètre portable : le microfet®
- l'évaluation de la force maximale volontaire des triceps avec le dynamomètre portable : le microfet®
- l'évaluation de la qualité de vie au questionnaire Saint-Georges
- l'évaluation de la dyspnée avec l'échelle mMRC
- l'évaluation de la capacité d'exercice au test de marche de 6 minutes (TDM6)
- l'évaluation de la dyspnée à l'effort avec l'échelle de Borg
- l'évaluation de la gêne aux jambes avant et après l'effort avec l'échelle de Borg

Les changements s'évalueront en fonction de l'évolution du nombre de réalisation montée descente au step test 3 minutes entre le début et la fin du programme. Ainsi qu'en comparant l'évolution au niveau des critères d'évaluations secondaires dans chacun des groupes entre le bilan d'entrée et le bilan de sortie.

III. METHOLOGIE DE L'ETUDE

III.1. Population

L'étude a été réalisée au centre de réhabilitation respiratoire de Plougouven (Centre hospitalier des pays de Morlaix).

Il s'agit d'une étude de faisabilité avec tirage au sort du traitement d'ESNM des patients.

On compte la participation de 11 patients atteints de BPCO de stade sévère et très sévère, soit les stades III et IV d'après la classification GOLD. Ils ont été répartis en 2 groupes [schéma en [ANNEXE VII](#)].

Groupe 1 : 6 patients : groupe contrôle avec le programme de réhabilitation respiratoire habituel comprenant l'ESNM des quadriceps

Groupe 2 : 5 patients : groupe test avec le programme de réhabilitation habituel comprenant l'ESNM des quadriceps et des triceps suraux.

Afin d'assurer la cohérence et la sécurité de ce protocole ; des critères d'inclusion et de non inclusion ont été établis.

- Critères d'inclusion :

Tout patient atteint de BPCO stade III et IV selon la classification GOLD, hospitalisé dans le service de réhabilitation respiratoire pour 3 semaines et ayant consenti par écrit [[ANNEXE VIII](#)] à participer à l'étude après avoir lu la lettre d'information [[ANNEXE IX](#)] et avoir reçu les explications orales du praticien.

- Critère de non inclusion :

- $VEMS \geq 50\%$ de la théorique
- Pneumonectomie, lobectomie datant de moins de 6 mois
- Absence de consentement écrit
- Incapacité de suivre en intégralité le programme de réhabilitation respiratoire
- Patients avec stimulateur cardiaque
- Patients présentant des problèmes cutanés localisés à l'endroit de la pose d'électrodes
- Patient ne pouvant pas réaliser le step test : exemple patient avec une cruralgie

III.2. Matériel et méthode



L'appareil d'électrostimulation utilisé est le EMP 4 PRO

Il possède 4 canaux de sorties, ce qui permet de positionner 4 électrodes sur chaque patient.

Il permet la réalisation d'un programme d'électrostimulation des muscles agonistes et antagonistes en modalité alternée. C'est-à-dire que deux canaux stimulent les muscles quadriceps tandis que les triceps sont au repos et vice et versa.

III.2.1. Les modalités de l'ESNM

Même si les paramètres optimaux ne sont pas encore connus, la plupart des études s'accordent sur certains paramètres.

Les modalités d'électrostimulation du programme ont été établies en accord avec les études ayant déjà été réalisées auparavant et répertoriées dans le tableau en ANNEXE X.

Largueur impulsion : 350 ms

Fréquence : 50 HZ

Une étude de LM. Napolis (50) a conclu que la stimulation sous haute fréquence améliore la capacité d'exercice des patients BPCO tout en préservant la fatigabilité.

M. Sillen et co (51) ont réalisé une étude pilote comparant l'utilisation de haute (75 Hz) et de basses fréquences (15 Hz) chez les patients BPCO de stades II et III. Ils ont constaté moins de force avec une fréquence de 15 HZ.

Le choix d'appliquer une fréquence de 50Hz a été fait en accord avec les bons résultats des études étudiées dans le tableau en ANNEXE X. De plus, comme nous l'avons vu dans la partie I, cette fréquence nous permettra de recruter les fibres I et les fibres IIa (fibres endurantes) qui sont diminuées chez les patients BPCO.

Durée : 30 min 5 fois par semaines

Intensité : en fonction du patient.

L'intensité doit être réglée pour permettre l'obtention d'une contraction musculaire visible. Elle est réglée en fonction du ressenti du patient. Globalement, plus les patients sont sévèrement atteints plus l'intensité minimale pour déclencher une contraction doit être importante. Les patients répondeurs sont ceux qui peuvent augmenter l'intensité au cours d'un traitement et cela d'une valeur supérieure à 10 mA d'après une étude d'A. Abdellaoui. (39)

III.2.2. L'installation du patient

III.2.2.1. Le positionnement des électrodes

Pour assurer le programme d'électrostimulation 4 électrodes sont positionnées au total sur chaque patient.

Pour le groupe 1 : Montage classique, ESNM des quadriceps seuls
4 électrodes sont positionnées ainsi :

- 1 sur la partie proximale du vaste interne
- 1 sur la partie proximale du vaste externe
- 2 sur la partie distale du droit fémoral

Pour le groupe 2 : ESNM des quadriceps + triceps suraux ; 4 électrodes sont positionnées ainsi :

- 1 sur la partie proximale du vaste externe du quadriceps
- 1 sur la partie distale du droit fémoral du quadriceps
- 1 sur la partie proximale du triceps sural
- 1 sur la partie distale du triceps sural, juste au-dessus du tendon d'Achille.

III.2.2.2. Le point moteur

Chacune des électrodes a été positionnée en fonction de la localisation des points moteurs afin d'exciter directement le nerf plus excitable que les cellules musculaires.

Comment trouver le point moteur ?

- 1) Placer une électrode reliée à l'appareil d'ESNM sur la partie proximale du muscle que l'on veut stimuler.
- 2) Mettre du gel au niveau de la partie distale du muscle
- 3) Prendre la jonction mâle de l'autre câble.
- 4) Programmer l'appareil d'électrostimulation avec un programme TENS, endorphinique et le régler à une très basse fréquence 4 Hz, avec une intensité de 8 mA et une durée d'impulsion de 0,15ms.
- 6) Balader la jonction mâle sur la zone où il y a le gel.
- 7) Le point moteur représente le point où le muscle fournit une réponse maximale. C'est une zone caractérisée par une grande densité d'éléments nerveux terminaux situés près de la surface cutanée.

III.2.2.3. Les consignes données aux patients

Le patient est en position semi-assis, avec un coussin sous les genoux.

Pour le groupe 1 : il est demandé au patient de tendre ses jambes simultanément en écrasant le coussin sous ses genoux lorsque qu'il sent la stimulation au niveau de la cuisse.

Pour le groupe 2 : cette consigne est similaire mais à cela s'ajoute la consigne pour la stimulation des triceps suraux.

Les consignes données au patient sont alors les suivantes :

- « Tendre les jambes (extension) en vous appuyant sur le coussin lorsque vous sentez la stimulation sur vos cuisses » [Photo 3 [ANNEXE XI](#)]
« Pointez vos pieds (flexion plantaire) lorsque vous sentez la stimulation sur vos mollets » [Photo 4 [ANNEXE XI](#)]

En effet, comme nous l'avons vu dans la partie I, réaliser une contraction volontaire lors du programme ESNM permet de réaliser une contraction physiologique du muscle qui n'est pas permise par ESNM sinon.

III.3. Les critères de jugements

1 critère de jugement principal et 7 critères de jugements secondaires ont permis de répondre à la problématique. [Tableau [ANNEXE XII](#)]

III.3.1. Le critère de jugement principal : le step test 3 minutes

Le test de référence pour évaluer la capacité fonctionnelle chez le patient BPCO reste le test de marche de 6 minutes. C'est un test sous maximal, validé et protocolisé par les dernières recommandations de ATS 2013. (52)

Cependant, une étude de R. Bohannon conclue que le step test de 3 minutes va être plus facilement réalisée dans sa totalité par le patient BPCO. En effet, le step test 3 minutes est moins long mais il est cependant bien corrélé au TDM6. (53)

Ce test représente un test intéressant pour l'évaluation fonctionnelle de l'appareil locomoteur. De plus d'autres arguments sont en faveur de son utilisation :

- c'est un test facilement reproductible dans un cabinet libéral, il ne nécessite pas beaucoup de matériel ni d'espace.
- ce test sollicite de manière importante le triceps sural, propulseur lors de la montée de la marche.

- La réalisation du step test 3 minutes (ST3)

Le ST3 est standardisé. La hauteur de la marche est de 20 cm soit la hauteur moyenne d'une marche d'escalier. [Photo 5 [ANNEXE XIII](#)] Le step est positionné à 40 cm du mur afin de parer à d'éventuels déséquilibres. Le patient commence debout face au step, un pied sur la marche, l'autre au sol. [Photo 6 [ANNEXE XIII](#)]

Les informations sur le déroulement du test sont données aux patients avant le début du test indiquant que 3 minutes c'est long et qu'il peut faire autant de pauses qu'il le désire. L'objectif est cependant de monter le plus de fois possible sur le step. Les encouragements sont standardisés [[ANNEXE XIII](#)].

Les paramétrages de surveillance sont les mêmes que pour le TDM6 c'est-à-dire la saturation et fréquence cardiaque.

Il est demandé au patient d'évaluer sa gêne aux jambes et sa dyspnée sur l'échelle de Borg en début et en fin de test.

III.3.2. Les critères de jugements secondaires

- Evaluation de la force maximale volontaire et de l'endurance des quadriceps en isométrique à l'aide d'un dynamomètre portable de type Microfet®.

C'est un test de force standardisé par une étude de Bachasson et Wuyam.. (54) Les équations prédictives de FMV ont été conçues par JY Hogrel en 2007.

Le testeur est placé entre le segment jambier et la sangle sur une mousse de protection, à 5 cm au-dessus de la malléole interne. Le résultat nous étant donné en Newton par le microfet®, il faut mesurer la distance entre le condyle interne au niveau de l'interligne articulaire du genou et le

milieu de l'interface du dynamomètre pour obtenir le moment de force et ainsi le rapport en Newton/mètre (N/m). [Photo 7 [ANNEXE XIV](#)]

Le thérapeute demande au patient de réaliser un made test qui correspond à tendre le genou le plus fort possible contre le dyanmomètre. La consigne est : « Poussez contre le testeur ». Durant la durée du test soit 3 secondes, le thérapeute encourage le patient dans l'effort.

3 essais sont réalisés sur chaque jambe. La meilleure valeur sera retenue comme force maximale volontaire (fmv) du quadriceps.

Pour mesurer l'endurance du quadriceps, le patient contracte ses quadriceps entre 50 et 60 % de la fmv, dans la même position. Le thérapeute chronomètre le temps en secondes (s) que peut tenir le patient à cette force toujours sous ses encouragements.

- Évaluation de la force des triceps suraux à l'aide d'un dynamomètre portable de type Microfet®.

Position du patient : Le patient est assis au bord de la table de massage, les pieds reposent à plat sur un step. On demande de croiser les bras et de se pencher légèrement en avant pour contrôler l'effacement de la lordose et la rétroversion du bassin. Un coussin incompressible est placé sous le fémur pour le maintenir à l'horizontale.

Position du testeur : Le testeur est positionné entre la sangle et la mousse de protection sur la partie distale de la cuisse. La sangle maintenant le testeur est fixée sous le step. [Photo 8 [ANNEXE XIV](#)]

Le thérapeute demande au patient de monter sur la pointe du pied le plus fort possible. Durant toute la durée du test, le thérapeute encourage le patient dans l'effort.

3 essais sont réalisés sur chaque jambe, avec une période de repos d'une minute entre chaque contraction. La meilleure valeur sera retenue comme force maximale volontaire (fmv) isométrique du triceps sural. Le bras de levier sera mesuré entre la malléole externe et la tête du 5e métatarsien afin d'obtenir la valeur en Nm.

Ce test est décrit uniquement sur une plate force avec capteurs, il n'a pas été validé pour l'instant avec le dynamomètre portatif ; le microfet®.

- Évaluation de la capacité d'exercice au TDM6

Le test de 6 minutes est réalisé selon le protocole décrit dans ATS statement 2013: guidelines for the six-minutes walk test. [[ANNEXE XV](#)] Ce test est réalisé en amont et en aval du protocole d'ESNM. Le but est pour le patient de parcourir la plus grande distance possible au cours des 6 minutes entre 2 plots espacés de 30 m dans un couloir. Les arrêts sont autorisés. Une différence de 25 m entre deux tests est considérée comme une différence cliniquement intéressante chez les patients BPCO sévères.

Pendant ce test, la saturation et la fréquence cardiaque sont contrôlées. Il est demandé au patient d'évaluer sa gêne aux jambes et son essoufflement sur l'échelle de Borg de 0 à 10 au début et à la fin du test.

- Évaluation de la qualité de vie avec le questionnaire de qualité de vie Saint-Georges

L'amélioration de la qualité de vie est évaluée à partir du questionnaire Saint-Georges [ANNEXE VI].

Il s'agit d'un auto-questionnaire de 76 questions permettant d'analyser la perception du patient dans 4 domaines de la vie quotidienne :

- Symptômes liés à la maladie
- Capacité physique
- État physiologique
- Interaction sociale

Une réduction du score total au questionnaire de 4 points entre un test initial et un test final constitue une amélioration sur le plan clinique.

La version française du questionnaire a été validée à partir d'une étude réalisée sur 64 patients sous oxygénothérapie à domicile.

- Évaluation de la sensation de dyspnée sur l'échelle mMRC

La dyspnée est évaluée à partir de l'échelle mMRC [ANNEXE III]. C'est une échelle qui évalue les effets de la dyspnée sur les activités quotidiennes. Cette échelle prend en compte la part musculaire et la part respiratoire de la dyspnée.

Elle est :

- basée sur les difficultés à marcher ou à monter les escaliers
- bien corrélée à la distance parcourue au test de marche 6 minutes
- très utilisée dans le suivi des pathologies respiratoires

L'échelle va de 0 à 4 :

- 0 : dyspnée pour les efforts soutenus
- 4 dyspnées pour le moindre effort.

Une diminution de 1 point sur l'échelle mMRC signifie donc une amélioration de la dyspnée lors des activités de la vie quotidienne.

IV. RESULTATS

Des données ont été recueillies avant et après le programme d'ESNM, soit environ 15 séances, au sein des deux groupes, afin de pouvoir analyser l'impact d'une stimulation sur deux muscles antagonistes.

Premièrement une analyse descriptive a été effectuée afin de s'assurer que les deux groupes étaient comparables initialement. Les données sont présentées sous forme de moyenne et d'écart type.

IV.1. Caractéristiques des participants de l'étude

11 patients atteints de BPCO en état stable ont réalisé un programme de réhabilitation respiratoire (PRR). Les moyennes des données ont été réalisées auprès de chaque groupe afin de comparer leurs caractéristiques de départ. On notera Q le groupe ayant reçu l'ESNM des quadriceps et QT le groupe ayant reçu l'ESNM des quadriceps associés aux triceps.

	ESNM QUADRICEPS	ESNM QUADRICEPS+ TRICEPS
Nombre	5	6
Hommes	3 (60%)	3 (50%)
Femmes	2 (40 %)	3 (50%)
Âges (année)	66,6 [58 ;74]	62.1 [53 ; 76]
Taille (cm)	166,4 [156, 183]	167.4[158 ; 177]
IMC (kg/ m²)	28,5 [17,9, 35,1]	23.1[15,7 ; 33,5]
VELS (% théorique)	27,4 [15 ; 39]	35.1 [24 ; 46]
VEMS / CVF (%)	42,32 [33, 49]	43.7 [35,9 ; 55,6]
Index BODE (nombre de patients dans le quartile)	Q1 (0-2) = 1 Q3 (5-6) = 2	Q2 (3-4) = 1 Q4 (7-10) = 1

Tableaux 1 : Caractéristiques des participants

On note que les 2 groupes possèdent respectivement 5 et 6 sujets avec une répartition plus ou moins semblable homme / femme. Les moyennes d'âge se rapprochent 66,6 ans pour un groupe et 62,1ans pour l'autre.

Au niveau de l'IMC (indice de masse corporelle), on note que la moyenne du groupe Q se situe dans la catégorie surpoids (IMC à 28.5) et que l'IMC du groupe QT à 23,1 est normale. Néanmoins, on remarque qu'au niveau de l'écart type, une valeur 15, 7 tire la moyenne de ce groupe Q vers le bas. Les deux groupes sont donc comparables sur ce point.

Les moyennes des rapports de Tiffeneau (VEMS/CVF) placent les sujets dans le stade III, grade sévère de la BPCO d'après le Gold standard.

En conclusion, il n'a pas été fait d'analyse statistique de cette population mais les deux groupes paraissent identiques tant sur le plan de l'âge, du ratio homme/femme que sur les données anthropométriques.

Différents tests ont été réalisés pour comparer les deux groupes en amont du PRR. Les moyennes de ces tests pour chaque groupe ont été répertoriées dans le tableau en ANNEXE XVI.

On remarque que les deux groupes sont similaires au niveau des tests de qualité de vie. Les moyennes au test mMRC sont de 2.6 et 2.3 points respectivement pour les groupes Q et QT. De même la moyenne au questionnaire Saint-Georges est semblable aux alentours des 50% pour les deux groupes.

Les moyennes des forces maximales isométriques des quadriceps sont proches pour les deux groupes : 80, 3 Nm dans le groupe Q et 83,8 Nm dans le groupe QT.

Les moyennes des forces des triceps suraux sont quant à elles assez différentes et avec des écarts types importants : 55.1 Nm pour le groupe Q contre 72.6 Nm pour le groupe QT.

Les deux groupes sont semblables pour leur qualité de vie et la force du quadriceps. Une différence existe au préalable quant à la force des triceps suraux. Cependant, nous analyserons la différence entre les tests initiaux et finaux pour chacun des groupes afin de pouvoir observer une éventuelle amélioration ou régression des résultats. Cette différence ne posera donc pas de problème pour l'analyse des résultats.

	ESNM QUADRICEPS	ESNM QUADRICEPS + TRICEPS
Step test 3 minutes (nombre)	38.2 [28 ; 47]	46.8 [21 ; 66]
Fréquence cardiaque (battements par minutes)	107 [90 ; 125]	114 [100 ; 130]
Saturation en oxygène (spo2)	90.8 [89 ; 93]	88 [82 ; 90]
Gêne ressentie aux jambes (borg)	5 [0 ; 10]	3 [0 ; 6]
Dyspnée ressentie (échelle de borg)	5.8 [4 ; 7]	6.5 [3, 9]
Distance au tdm6 (m)	327.2 [205 ; 355]	383.7 [235 ; 460]
Fréquence cardiaque (battements par minutes)	100,2 [91 ; 116]	114,3 [90,126]
Saturation en oxygène (spo2)	88,6 [85 ; 93]	87,6 [81 ; 92]
Gêne ressentie aux jambes (borg)	2, 5 [0 ; 10]	2 [0 ; 6]
Dyspnée ressentie (échelle de borg)	6 [4 ; 7]	5 [2 ; 8]

Tableau 3 : Caractéristiques fonctionnelles des participants avant le début du programme

Des tests fonctionnels ont été réalisés en amont du protocole d'électrostimulation. Il s'agit du step test 3 minutes (ST3) ; critère d'évaluation principale ; et du test de marches 6 minutes (TDM6) ; critère d'évaluation secondaire. On remarque que le groupe QT est meilleur de 8.6 marches au ST3 et de 56,5 m au TDM6. Ces différences devront être prises en compte dans les résultats aux tests finaux, nous analyserons alors la différence entre le test initial et le test final et nous utiliserons le pourcentage d'amélioration pour chacun des groupes afin de les comparer.

Les autres données s'accordent. La saturation en oxygène est inférieure de 2, 8 points au ST3 pour le groupe QT mais est plus ou moins similaire pour le TDM6. La fréquence cardiaque est supérieure de 14 battements par minutes au ST3 et de 7 battements par minutes au TDM6 pour le groupe QT, les écarts types restent cependant très proches entre les groupes. La gêne aux jambes est supérieure de 2 points sur l'échelle de Borg dans le groupe Q au ST3, ce résultat ne se retrouve pas au TDM6. La dyspnée ressentie reste semblable entre les deux groupes et pour les deux tests.

IV.2. Résultats des tests

Le tableau en ANNEXE XVII présente l'ensemble des résultats obtenus au bilan final c'est-à-dire après les 3 semaines du programme d'ESNM. Les données sont rapportées sous forme de moyenne et d'écart type. Suite à cela les différences entre les tests initiaux ont été faites et répertoriées dans le tableau en ANNEXE XVIII. Ce tableau nous a permis de montrer ensuite sous forme d'histogramme l'évolution qu'il y a eu entre le bilan initial puis le bilan final pour chaque test réalisé. Nous avons comparé l'impact de la double électrostimulation triceps + quadriceps par rapport à la simple électrostimulation quadriceps à partir de ces graphiques.

Le tableau en ANNEXE XIX a été réalisé suite à un calcul de delta pour certains des résultats afin de comparer le pourcentage d'amélioration qu'il y a eu dans les deux groupes au terme du programme.

Evolution entre les tests initiaux et les tests finaux au sein des deux groupes.

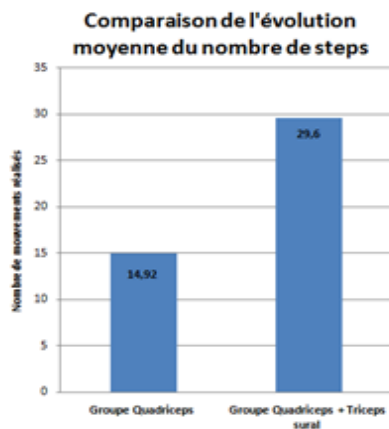


Diagramme 1

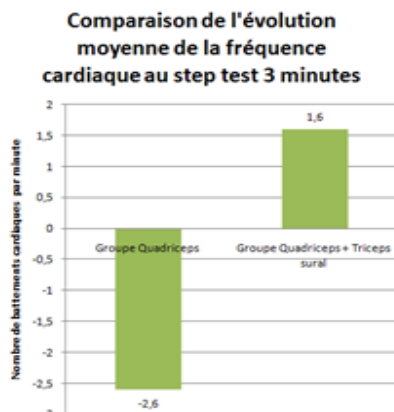


Diagramme 3

- Le critère de jugement principal : le step test 3 minutes

Au niveau des résultats, on observe sur le diagramme 1 que le groupe QT a réalisé en moyenne 29 marches de plus contre seulement 15 pour le groupe Q.

L'évolution de la saturation en oxygène [Diagramme 2 en ANNEXE XX] va dans le même sens on observe une évolution de 3,8 points de spO2 pour le groupe QT alors qu'il n'y en a pas pour le groupe Q (-0.2).

L'évolution de la fréquence cardiaque (Diagramme 3) va quant à elle dans le sens contraire à celui attendu suite aux deux précédents résultats : + 1,6 bpm pour le groupe QT alors que le groupe Q a perdu en moyenne - 2.6 bpm entre le bilan pré et post ESNM.

On a interrogé les patients sur leurs gênes aux jambes à l'issu du test. Elle a diminué de 1 point sur l'échelle de Borg pour le groupe QT. Cependant, elle a augmenté de 1,4 points sur l'échelle de Borg pour le groupe Q. [Diagramme 4 en ANNEXE XX]

La dyspnée a également été recueillie à la fin des tests. Le groupe QT a ressenti une diminution de leurs essoufflements d'en moyenne 1,9 points sur l'échelle de Borg par rapport au test précédent et pour le groupe Q, on note une diminution moyenne de 0,4 points. (Diagramme 5)

Comparaison de la distance moyenne parcourue au TDM6

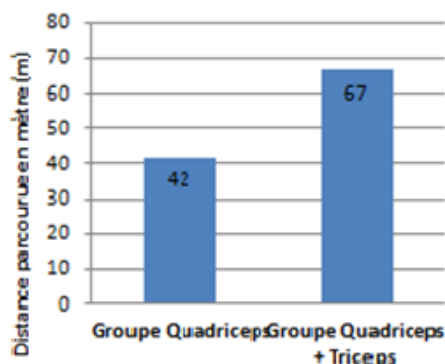


Diagramme 6

- **Le critère de jugement secondaire : le test de marche 6 minutes (TDM6)**

On constate des résultats plus proches au niveau du TDM6 par rapport au ST3 entre les deux groupes. Le groupe QT a parcouru en moyenne 67 m supplémentaire par rapport au test initial tandis que le groupe Q a parcouru en moyenne 42 m de plus. (diagramme 6)

Au niveau de la fréquence cardiaque [Diagramme 7, ANNEXE XXI], on constate une augmentation de la fréquence cardiaque dans les deux groupes par rapport au test qu'ils ont réalisés trois semaines auparavant : + 2,9 bpm pour le groupe Q et + 4.6 bpm pour le QT.

Comparaison de l'évolution de la saturation en oxygène moyenne au TDM6

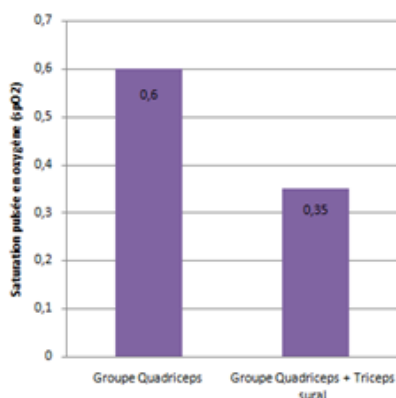


Diagramme 8

Par ailleurs, une très faible différence est observable au niveau de l'évolution de la saturation en oxygène (Diagramme 8), seulement 0.6 de spo2 en plus pour le Q et 0.35 en plus pour le groupe QT.

La gêne aux jambes a diminué de façon similaire entre les deux groupes, - 1,3 points pour le groupe QT et - 1,1 points pour le groupe Q. [Diagramme 9, ANNEXE XXI]

Au niveau de leur essoufflement, on note une diminution de 2 points de dyspnée sur l'échelle de Borg pour le groupe QT et une diminution de 1,2 points pour le groupe Q. [Diagramme 10, ANNEXE XXI].

Comparaison de l'évolution moyenne de la force des quadriceps des deux jambes

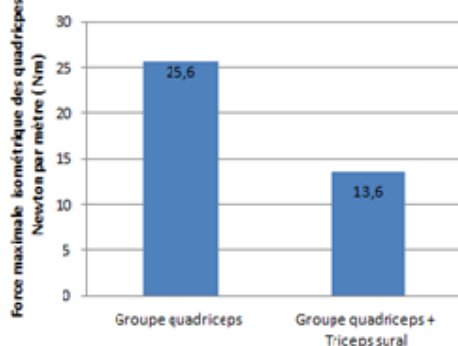


Diagramme 11

- **La force des quadriceps**

Le groupe Q a gagné davantage de force par rapport groupe QT lorsqu'on compare la moyenne de force maximale isométrique des quadriceps obtenue après 3 semaines d'ESNM.

La moyenne des deux jambes donne + 25.6 Nm pour le groupe Q contre seulement 13.6 Nm pour le groupe QT. (Diagramme 11)

Le détail des deux jambes se trouve en ANNEXE XXII.

Comparaison de l'évolution moyenne de l'endurance des quadriceps des deux jambes

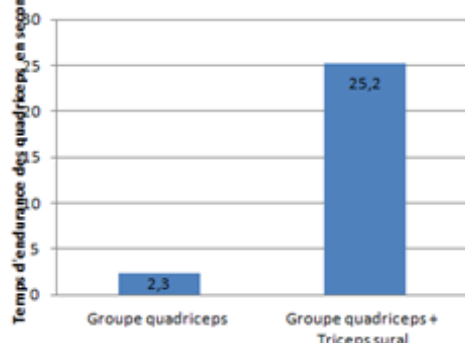


Diagramme 12

Comparaison de l'évolution moyenne de la force des triceps suraux des deux jambes

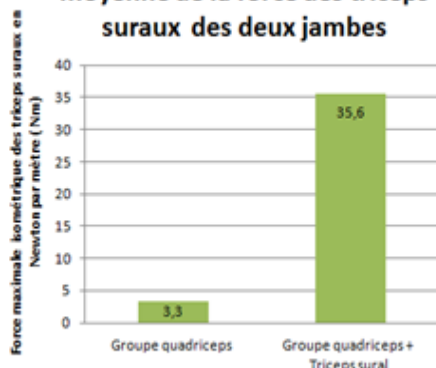


Diagramme 13

Comparaison de l'évolution moyenne de la qualité de vie à partir du questionnaire saint-georges

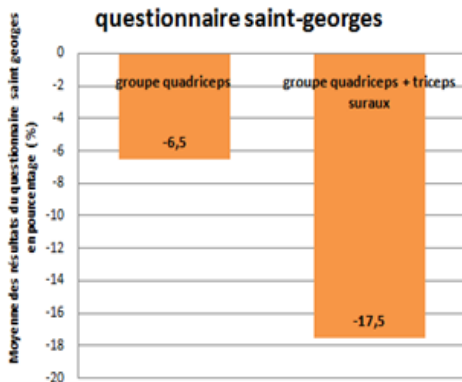


Diagramme 14

- L'endurance des quadriceps

Au niveau de l'endurance des quadriceps, les tendances s'inversent de manière très importante. Le groupe QT a gagné en moyenne 25,2 secondes d'endurance pour les deux jambes par rapport au bilan initial. Le groupe Q n'a lui gagné que 2,3 secondes en moyenne. (Diagramme 12)
Le détail des deux jambes est en [ANNEXE XXIII](#).

Le groupe Q a donc gagné davantage de force mais moins d'endurance au niveau de l'endurance que le groupe QT

- La force des triceps suraux

Concernant la moyenne de la force mesurée au niveau des triceps suraux, on remarque également une nette augmentation de force isométrique maximale moyenne pour le groupe QT en comparaison du groupe Q. On constate en effet pour la moyenne des forces des deux jambes une augmentation de 35.6 Nm pour la force isométrique maximale du groupe QT contre seulement 3.3 Nm pour le groupe Q. (Diagramme 13)

La force des triceps suraux du groupe QT a donc augmenté 10 fois plus que la force des triceps suraux du groupe Q.

Le détail des deux jambes est en [ANNEXE XXIV](#)

- Évaluation de la qualité de vie

Avec les questionnaires de qualité de vie, on constate un changement positif au niveau de la qualité de vie des deux groupes.

Il y a cependant une amélioration plus importante pour les groupes QT qui ont perdu 17.5 % en moyenne au questionnaire Saint-Georges contre 6.5 % pour le groupe Q. Rappelons que plus le pourcentage diminue au questionnaire Saint-Georges, meilleure est la qualité de vie. (Diagramme 14)

Ces résultats se confirment au questionnaire mMRC, avec une diminution moyenne de 1.1 points pour le groupe QT contre - 0.2 point pour le groupe Q. (Diagramme 15 en [ANNEXE XXV](#))

V. DISCUSSION

ANALYSE DES RESULTATS

- Evolution de la capacité d'exercice

Au TDM6 final, le groupe QT a parcouru en moyenne 67 m de plus qu'au TDM6 d'entrée, soit une amélioration de 17,4%. Le groupe Q lui a parcouru 42 m de plus qu'au bilan d'entrée, soit une amélioration de 12,7%.

La différence d'amélioration entre les bilans d'entrée et de sortie est d'autant plus visible au ST3. En effet, le groupe QT a réalisé en moyenne 29 marches de plus contre seulement 15 pour le groupe Q. Ainsi, le groupe QT a donc augmenté sa performance de 60% contre 29,7% pour le groupe Q. Le groupe QT s'est donc amélioré deux fois plus au step test que le groupe Q. Comment pouvons-nous expliquer l'amélioration de la capacité d'exercice ?

L'effort physique est un mécanisme complexe mettant à contribution deux principaux métabolismes la voie aérobie et la voie anaérobie. La voie aérobie fait appel à l'apport d'oxygène, et est principalement mise à contribution dans les efforts modérés de longue durée. Son altération provoque une diminution de l'endurance.

Comme nous l'avons vu précédemment un programme d'ESNM permet de modifier la typologie musculaire des patients déconditionnés. Il y a alors une diminution des fibres rapides de types II et une augmentation des fibres de type I endurantes et oxydatives à l'origine de la voie aérobie. Une étude de M. Nuhr a en effet mis en évidence lors d'un programme d'ESNM à basse fréquence du quadriceps que cette modification structurale s'accompagne d'une augmentation de l'activité des enzymes oxydatives et une diminution des l'activité des enzymes glycolytiques. Il y a donc une transformation du profil musculaire glycolytique en un profil musculaire d'endurance lors d'une électrostimulation transcutanée à basse fréquence (50 Hz). (55)

L'amélioration de la tolérance à l'effort pourrait être expliquée par une amélioration de la voie aérobie. Une adaptation du ST3 appelé step test de Havard est d'ailleurs utilisé chez les sportifs pour évaluer leurs capacités aérobies maximales ainsi que leurs capacités de récupération.

On peut donc supposer qu'en stimulant deux groupes musculaires davantage de fibres ont évolué vers un profil oxydatif améliorant alors d'autant plus la capacité d'exercice du groupe QT. Ce qui est davantage visible au ST3 puisque c'est un test plus spécifique.

Une double électrostimulation quadriceps+triceps semble donc améliorer davantage la capacité à l'exercice.

- Evolution de la dyspnée en fin de test

La dyspnée a diminué de 2 points au TDM6 et de 1, 9 points au ST3 pour le groupe QT.

La dyspnée a diminué de 1.2 points au TDM6 et de seulement 0, 4 points au ST3 pour le groupe Q.

Ces résultats sont en accord avec les résultats obtenus précédemment pour la capacité à l'exercice. En effet, la diminution de la dyspnée observée après les deux programmes d'électrostimulations

contribue aussi très probablement à l'amélioration de la tolérance à l'effort observé dans les deux tests. Le fait qu'il y ait une diminution plus importante de la dyspnée pour le groupe QT est alors en accord avec une amélioration plus importante au ST3 et TDM6 pour ce groupe.

Quel est le mécanisme qui permet que l'électrostimulation sur plusieurs groupes musculaires réduise davantage la dyspnée ? Une étude de A. Couillard et C. Préfaut (5) fait l'hypothèse que la transformation d'un phénotype musculaire glycolytique en phénotype oxydatif permise par l'ESNM à basse fréquence réduit la production de CO₂ et donc réduit la part périphérique de la dyspnée à l'effort. Ils basent leur hypothèse sur des études indiquant qu'il y a une diminution de l'espace mort et la demande alvéolaire pour un niveau d'effort donné après un programme d'électrostimulation localisé au niveau des membres inférieurs chez les patients BPCO.

Le programme d'ESNM réduit la part musculaire de la dyspnée qui se surajoute moins à la part respiratoire de la dyspnée déjà présente chez les patients BPCO ce qui explique une diminution de la sensation d'essoufflement ressenti par le patient après l'effort. On peut supposer que plus il y a de muscles stimulés, plus cette part musculaire de la dyspnée diminue.

- Evolution de la saturation en fin de test

Pour le groupe QT, la saturation en oxygène a augmenté de 3,8 points de spO₂ au ST3 et est resté stable lors du TDM6 (+ 0.35).

Pour le groupe Q, elle est restée stable lors des deux tests ; -0.2 au ST3 et +0.6 au TDM6.

Chez les patients BPCO, il a été montré une altération de la capillarisation, c'est-à-dire une diminution du nombre de capillaire par surface de section de fibres. Cela entraîne une réduction du flux sanguin musculaire avec une oxygénation réduite et donc une réduction de la saturation en O₂ à l'effort au niveau musculaire. (56) L'ESNM permet une augmentation de la densité capillaire et du volume mitochondrial inversant ce phénomène et probablement à l'origine de l'augmentation de la saturation en oxygène pour le groupe QT au ST3. Les études étudiées lors de l'analyse de la littérature n'ont pas comparé la saturation en oxygène. Cependant, étant donné l'amélioration de la saturation en oxygène pour le ST3 du groupe QT on aurait pu s'attendre à davantage d'amélioration au TDM6

- Evolution de la fréquence cardiaque (FC) en fin de test

Pour le groupe QT, la FC a augmenté de + 1,6 bpm au ST3 et de +4,6 bpm TDM6.

Pour le groupe Q, la FC a diminué de 2,6 bpm au ST3 et a augmenté de +2,9 au TDM6.

L'augmentation de la FC peut s'expliquer par une meilleure tolérance à l'effort. Le patient fait plus d'effort donc sa fréquence cardiaque augmente. En effet, on a pu observer que lors des tests finaux (ST3 et TDM6) le patient prenait moins de pauses au cours du test. D'après leurs dires, ils se sentent plus fort sur leur jambes et au niveau du souffle. Ils stimulent ainsi davantage leurs capacités cardio-respiratoires en se donnant plus au cours de l'exercice. Nous avons vu que la capacité d'exercice et la tolérance à l'effort s'étaient davantage améliorées pour le groupe QT. L'augmentation plus importante de la fréquence cardiaque pour le groupe QT est donc en accord avec ces résultats.

Comment expliquer la diminution de la fréquence cardiaque du groupe Q au ST3, est-ce un résultat incohérent ? Il faudrait réaliser une étude avec un plus grand nombre de patients pour y répondre.

- Evolution de la fatigue musculaire en fin de test

La gêne aux jambes a diminué de 1 point au ST3 et de 1,3 au TDM6 pour le groupe QT. Elle a également diminué de 1,1 point au TDM6 pour le groupe Q. Cependant, elle a augmenté de 1,4 point au step test pour ce même groupe. Ce résultat n'est pas cohérent avec l'augmentation de la force et de la capacité d'exercice du groupe Q au test. En revanche, en regardant de plus près les résultats, on s'aperçoit que tous les patients ont noté une diminution de la gêne aux jambes entre les deux tests sauf un patient qui est passé de 0 sur l'échelle de Borg au test initial à 8 points au test final. La valeur est aberrante. En excluant cette valeur de la moyenne, on remarque une diminution de 0,5 point de la gêne aux jambes au TDM6 ce qui est plus en accord avec les résultats précédents.

Une altération du métabolisme oxydative entraîne une augmentation la fatigue musculaire pendant un effort. Comme la voie aérobie devient insuffisante, la voie anaérobie s'enclenche alors de façon anticipée, ce qui provoque une augmentation de la concentration en lactate. (49) Le lactate est un déchet métabolique de la voie anaérobie ; il est source d'énergie temporaire. Cependant, son accumulation même pendant un effort même modéré engendre des sensations de brûlures et donc de gênes dans les muscles, et est à l'origine d'une diminution ou de l'arrêt de l'activité.

Au cours d'un programme d'électrostimulation, on note une augmentation des transporteurs du lactate pour l'éliminer ce qui pourrait expliquer la diminution de la gêne aux jambes dans les deux groupes mais davantage encore pour le groupe QT au step test : -1,3 point contre -0,5 point pour le groupe Q.

- Evolution des questionnaires de qualités de vie

Il y a une amélioration de 17,5 % pour les groupes QT et 6.5 % pour le groupe Q au Saint-Georges. Au test MRC, il y a une diminution moyenne de 1.1 points pour le groupe QT contre – 0.2 pour le groupe Q.

Si on compare ces résultats à la littérature, on remarque que pour des modalités d'électrostimulation très proches, lors d'une étude de P. Vieira et Co, le groupe avec ESNM des quadriceps avait amélioré sa qualité de vie de 11 % mais pour un programme d'électrostimulation de 8 semaines.(45) L'amélioration du groupe Q sur 3 semaines semble donc cohérente.

Le dysfonctionnement musculaire est responsable d'une intolérance à l'effort qui se manifeste par la limitation des activités et une fatigabilité précoce. L'essoufflement associé à la gêne aux jambes conforte le patient dans l'inactivité. On comprend alors que la faiblesse musculaire joue un rôle dans la qualité de vie. Ainsi, on remarque que les deux programmes d'électrostimulation ont permis d'améliorer la qualité de vie du patient mais que la double électrostimulation l'a améliorée deux fois plus. Cela est en corrélation avec une amélioration plus importante de la capacité d'exercice permise par la double électrostimulation. Il aurait été intéressant de détailler l'impact au niveau des différents items du test.

- Evolution de la force et endurance des triceps et quadriceps entre les deux groupes

Il y a une nette augmentation de la force isométrique maximale moyenne des triceps suraux pour le groupe QT (+ 35.6 Nm) en comparaison au groupe Q (+ 3.3 Nm). La force des triceps suraux du groupe QT a donc augmenté 10 fois plus que la force des triceps suraux du groupe Q.

A l'inverse, le groupe Q a gagné davantage de force au niveau des quadriceps (+25.6 Nm) soit 31.5 % s'amélioration alors que pour le groupe QT on note une amélioration de 10,6 % (+13.6 Nm). Cependant, au niveau de l'endurance des quadriceps, le groupe QT a gagné en moyenne 25, 2 secondes d'endurance et le groupe Q seulement 2.3 secondes.

Ces résultats ne sont pas en corrélation avec ceux des autres études. L'endurance du groupe Q aurait dû augmenter davantage. En effet, les études s'intéressant à l'ESNM des quadriceps ont noté une amélioration de la force de l'ordre de 35% et de l'endurance de l'ordre de 34%. (5)

Ici, pour le groupe Q, l'amélioration de la force 31,5 % est en corrélation avec ses études mais pas l'endurance. Le positionnement des électrodes différents entre les groupes (2 électrodes sur les quadriceps pour le groupe QT contre 4 électrodes sur les quadriceps pour le groupe Q) est – il à l'origine de ces résultats ? Quelles peuvent être les autres limites de l'étude expliquant ces résultats non cohérents?

LIMITE DE L'ETUDE

Le nombre de sujets

11 sujets ont participé à l'étude. Il serait pertinent d'évaluer ce protocole sur un échantillon plus grand. En effet, avec seulement 11 patients répartis en deux groupes, on ne peut retirer que certaines tendances. Un nombre plus important de patients est nécessaire pour utiliser les statistiques et en retirer des données significatives.

La standardisation du protocole d'électrostimulation

Plusieurs paramètres doivent être pris en compte pour définir le programme d'électrostimulation : le type d'appareil, la fréquence, l'intensité... Aucune étude n'a pour le moment défini de paramètres précis afin d'en obtenir les meilleurs bénéfices possibles.

Le protocole utilisé dans cette étude a été adapté en prenant en considération les réglages les plus régulièrement testés et notamment ceux des études de P. Vierra en 2013 et d'A. Abdellaoui en 2011.

Il est donc difficile de savoir si le protocole que nous avons choisi est celui présentant les meilleures conditions d'ESNM, néanmoins, le protocole d'ESNM retenu a permis d'obtenir des améliorations nettes au niveau de la capacité fonctionnelle au ST3 et de la qualité de vie.

Le Test de mesure de la force maximale volontaire du triceps sural

Nous nous sommes interrogés sur la meilleure façon de pouvoir objectiver l'amélioration de la force des triceps entre les deux groupes après le programme d'électroneurostimulation. Plusieurs tests existent déjà :

-le test musculaire manuel ; il est évident que ce test est facile à réaliser car il ne nécessite pas de matériel spécifique, mais il est peu fiable.

-le test avec un dynamomètre portable ; c'est le test utilisé dans la pratique clinique courante pour évaluer la force maximale volontaire du triceps sural : le sujet étant à plat ventre, le pied légèrement

en dehors de la table, la cheville à 90°. L'examineur se tient debout face au patient tenant le dynamomètre sur la plante du pied. On demande au patient de pousser le plus fort possible et l'examineur doit résister.

Cette évaluation du triceps sural peut-être biaisée. La mesure est difficilement reproductible en inter et intra examinateur. En effet, le dynamomètre portatif est examinateur dépendant. (57). Le testeur doit être tout d'abord plus fort que le patient ou il doit pouvoir produire une force égale. Or, le fléchisseur plantaire est l'un des muscles le plus forts dans l'extrémité du membre inférieur puisqu'il est responsable de la propulsion vers l'avant et qu'il atténue les forces d'impacts de saut. La force demandée par l'examineur pour maintenir le dynamomètre influence en plus sur la mesure finale. Pour que le test soit reproductible en intra et inter examinateur il faudrait déjà sangler le membre inférieur mais ce ne serait pas suffisant.

-le test avec une machine d'isocinétisme ; une étude comparant le dynamomètre portatif à une machine d'isocinétisme pour la mesure du triceps sural conclut que la machine d'isocinétisme est fiable à la différence du dynamomètre portatif. Cependant, l'appareil est grand, très cher et demande beaucoup de temps pour les réglages entre chaque patient.

-le test sur une plateforme avec capteurs de force ; il a été démontré la précision de ce dynamomètre spécifique pour évaluer la flexion dorsale et plantaire. (58)

Ni la machine d'isocinétisme, ni la plateforme avec capteurs de force n'étaient présentes dans le centre de réhabilitation où l'étude a été réalisée, nous avons donc dû trouver une alternative.

Nous avons utilisé le dynamomètre portatif mais nous nous sommes inspirés du test sur la plateforme avec capteur de force pour le rendre plus fiable. Le sujet a été positionné genou et cheville à 90°. La résistance a été fournie avec du matériel : le step et des sangles. Le protocole est écrit dans le paragraphe II.3.2

Le résultat de force du triceps sural n'est donc pas modifié par la force du testeur et d'autres facteurs tels que le positionnement du sujet et du testeur.

Ce nouveau test n'est cependant pas protocolisé et présente un biais dans l'étude. Des mesures précises et fiables sont en effet des éléments essentiels pour évaluer l'efficacité du traitement. Cependant, nous avons réalisé plusieurs tests au préalable pour nous assurer de son intérêt.

LES CHOIX REALISÉS POUR L'ETUDE

Le choix du step test 3 minutes (ST3)

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'avantage de l'ESNM triceps en complément du quadriceps. Un test fonctionnel mettant en avant ces deux muscles est donc nécessaire. Monter une marche d'escalier sollicite davantage le triceps sural que la marche sur un terrain plat. Le ST3 a donc été choisis comme critère de jugement principal.

Dans une étude JE. Zachazewski et al ont décrit les différentes phases de la montée et de la descente des escaliers chez le sujet sain (59). Dans le premier temps de la montée, le pied est placé sur la marche par un mouvement de flexion de la hanche réalisé par le psoas. Le poids du corps est ensuite entraîné vers l'avant par une contraction concentrique du **quadriceps**. Puis le grand fessier et le **triceps sural** se contractent pour entraîner un déplacement vertical du centre de gravité. La phase en appui unipodal se termine par le contact du second pied avec la marche. Pendant la phase de descente, il y a transfert du poids sur le membre inférieur d'appui puis flexion de hanche et genou

sous contrôle du **quadriceps** en mode excentrique. Le **triceps sural** joue le rôle d'amortisseur. C'est un transfert de poids et une triple flexion du membre inférieur oscillant qui permet alors de poser le pied au sol.

L'appareil extenseur du genou, le quadriceps, joue un rôle prépondérant couplé avec les extenseurs de la cheville dont fait partie le triceps sural lors de la montée et la descente d'une marche. Ils ont un rôle davantage concentrique lors de la montée et excentrique lors de la descente.

Certes, ces deux muscles interviennent également lors de la marche. Ils assurent la stabilité du genou et le triceps est le propulseur du pas. Cependant, la force mise en jeu par ces muscles est plus importante lors du step test. Par exemple, le moment maximum d'extension du genou lors du passage d'une marche est trois fois supérieur au moment d'extension du genou pendant la marche en terrain plat.(60). C'est en effet un exercice contre gravité sollicitant alors davantage la force musculaire.

Ces données biomécaniques expliquent le choix du ST3. Ce test est bien corrélé au TDM6 qui est le test fonctionnel de référence pour les patients BPCO. Une étude comparant les adaptations cardiorespiratoires des patients BPCO lors de ces deux tests conclue que la SaO₂, la fréquence cardiaque maximale et la dyspnée sont similaire quelques soit le test. (61)

Nos résultats sont en accord avec cette étude car pour les deux groupes réunis, on observe aux tests d'entrée pour le step test :

- une FC maximale moyenne à 110 bpm pour le ST3 et de 108 pour le TDM6
- une spO₂ moyenne à la fin du test à 89 pour le ST3 et à 88.3 pour le TDM6
- une dyspnée à la fin du test à 6.1 pour le ST3 et 5.7 pour le TDM6 sur l'échelle de Borg.

En conclusion, le ST3 et le TDM6 sont tous les deux bien corrélés en termes de stress cardio-respiratoire dans cette étude mais choisir le ST3 comme le test d'évaluation principal à la place du TDM6 qui est le test de référence permet d'obtenir davantage d'information sur l'impact de l'ESNM des triceps et des quadriceps en termes de gain fonctionnel.

Le choix du service

L'étude a été réalisée en centre de réhabilitation respiratoire. Il a en effet été démontré que plus un patient est sédentaire et déconditionné, plus l'impact fonctionnel d'un programme d'ESNM est important. (37)

De plus, il ne faut pas perdre de vue cette technique de renforcement ne doit pas être considérée comme un substitut mais comme un complément de l'exercice musculaire volontaire. Un programme d'exercice de renforcement musculaire devra donc toujours accompagner ce programme.

Une étude de J. Neder (7) a montré que les bénéfices de l'ESNM étaient supérieurs chez les patients qui ont conservé le pourcentage de masse maigre car ils supportent des entraînements à des plus hautes stimulations. Cette étude suggère alors que commencer l'électrostimulation très tôt lors d'une hospitalisation serait encore plus bénéfique car cela permettrait d'être efficace avant même que le tissu commence à perdre sa capacité de résistance à l'exercice. Il a en effet été mis en évidence une diminution significative de la force des muscles des jambes et de la capacité aérobie après des périodes d'alitement relativement courte. Peut-être serait intéressant à mettre en place ce programme dès le premier jour d'hospitalisation pour exacerbation soit dans le service de pneumologie ou en réanimation ?

VI. CONCLUSION

La revue de littérature met en effet en évidence que l'ESNM est une alternative passagère et intéressante pour des patients ayant une dyspnée trop importante ou un indice de masse corporel inférieur à 18 contre- indiquant tous les efforts. Elle permet un gain de force et d'endurance musculaire diminuant la part musculaire de la dyspnée, ce qui permet d'améliorer la qualité de vie du patient.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact fonctionnel d'une double électrostimulation sur une durée de 3 semaines chez les patients BPCO de stade 3 ou 4 selon GOLD et suivant un programme de réhabilitation respiratoire (PPR) Une étude de faisabilité avec tirage au sort des patients a donc été réalisée pour répondre à la problématique suivante :

« Un traitement par ESNM transcutanée sur les groupes musculaires quadriceps + triceps est-il plus efficace en terme de capacités fonctionnelles qu'un programme d'ESNM sur un seul groupe musculaire, le quadriceps seul ? »

Les résultats montrent que dans le cadre d'un programme de réhabilitation respiratoire, chez des patients atteints de BPCO sévère ou très sévère, les patients du groupe ayant bénéficiés d'ESNM combinée des quadriceps et des triceps ont davantage amélioré leur capacité à l'exercice, leur qualité de vie et la force des triceps suraux en comparaison avec des patients ayant bénéficié d'ESNM des quadriceps seuls.

Ainsi, en cas d'indication d'ESNM, il semble intéressant de combiner la stimulation des quadriceps et des triceps suraux.

Cependant, les résultats de cette étude de faisabilité devront être confirmés par d'autres études de plus fortes puissances.

Ce travail pose plusieurs questionnements et pistes de réflexions futures : quels sont les réglages idéaux au niveau de l'appareil d'électrostimulation pour permettre un gain fonctionnel optimal pour les patients BPCO ? Quels sont les autres muscles qui devraient être stimulés en plus ou à place des triceps suraux ? Ce programme l'électrostimulation est-il adaptable dans un service de réanimation, service où les patients sont très affaiblis ?

Cette étude m'a permis de découvrir le domaine de la recherche en kinésithérapie qui est pleinement d'actualité en ce moment. En effet, avec l'augmentation du nombre d'années d'études pour les masseurs kinésithérapeutes, une nouvelle unité d'étude sur les méthodes de recherche en kinésithérapie apparaît dans le programme.

De plus cela aura été pour moi une grande expérience notamment avec ma présentation devant le comité éthique du centre hospitalier de Morlaix pour avoir l'autorisation de commencer l'étude.

J'ai également été invitée à présenter le projet lors de la 9^e journée de recherche en kinésithérapie respiratoire qui se déroulera l'hôpital Cochin- Port Royal de Paris en Juin 2016.

VII. BIBLIOGRAPHIE

1. Bertrand X. Préface du ministre de la Santé et des Solidarités. *Rev Mal Respir.* 2006;23:5-6.
2. Recommandations de la SPLF [Internet]. Disponible sur: http://efpneumo.org/index.php?option=com_content&view=article&id=153%3Arecommandations-de-la-splf&catid=137%3Asplf-news&Itemid=435
3. Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, ZuWallack R, Nici L, Rochester C, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med.* 15 oct 2013;188(8):e13-64.
4. Kortianou EA, Nasis IG, Spetsioti ST, Daskalakis AM, Vogiatzis I. Effectiveness of Interval Exercise Training in Patients with COPD. *Cardiopulm Phys Ther J.* sept 2010;21(3):12-9.
5. Couillard A, Prefaut C. L'électrostimulation dans la réhabilitation des patients BPCO sévères : pertinence ou facétie ? *Rev Mal Respir.* févr 2010;27(2):113-24.
6. Dal Corso S, Nápolis L, Malaguti C, Gimenes AC, Albuquerque A, Nogueira CR, et al. Skeletal muscle structure and function in response to electrical stimulation in moderately impaired COPD patients. *Respir Med.* juin 2007;101(6):1236-43.
7. Neder JA, Sword D, Ward SA, Mackay E, Cochrane LM, Clark CJ. Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Thorax.* 1 avr 2002;57(4):333-7.
8. GOLDReport_April112011.pdf [Internet]. [cité 5 avr 2016]. Disponible sur: http://www.goldcopd.org/uploads/users/files/GOLDReport_April112011.pdf
9. plan_bpco.pdf [Internet]. [cité 16 mars 2016]. Disponible sur: http://social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan_bpco.pdf
10. Hurst JR, Vestbo J, Anzueto A, Locantore N, Müllerova H, Tal-Singer R, et al. Susceptibility to exacerbation in chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med.* 16 sept 2010;363(12):1128-38.
11. Jones , gary. Quality of life changes over times in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Current opinion in pulmonary medicine* [1070-5287]. 2^e éd. Vol. 22. 2016. 125 p.
12. G. Brinchault. Comorbidities of COPD. *déc 2015;71(6):342-9.*
13. Rodriguez-Roisin R. TOward a consensus definition for copd exacerbations*. *Chest.* 1 mai 2000;117(5_suppl_2):398S - 401S.

14. GOLD_Report_2015_Apr2.pdf [Internet]. [cité 16 mars 2016]. Disponible sur: http://www.goldcopd.org/uploads/users/files/GOLD_Report_2015_Apr2.pdf
15. fms-01819.pdf [Internet]. [cité 15 avr 2016]. Disponible sur: <http://www.medicalforum.ch/docs/smf/2014/03/fr/fms-01819.pdf>
16. Préfaut C, Ninot G. La réhabilitation du malade respiratoire chronique. Masson. 2009. 528 p.
17. Bernard S, LeBLANC P, Whittom F, Carrier G, Jobin J, Belleau R, et al. Peripheral Muscle Weakness in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 1 août 1998;158(2):629-34.
18. Celli BR, Cote CG, Marin JM, Casanova C, Montes de Oca M, Mendez RA, et al. The body-mass index, airflow obstruction, dyspnea, and exercise capacity index in chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med*. 4 mars 2004;350(10):1005-12.
19. Association Between Average Daily Television Viewing Time and Chronic Obstructive Pulmonary Disease-Related Mortality: Findings From the Japan Collaborative Cohort Study. *J Epidemiol*. 5 juin 2015;25(6):431-6.
20. Allaire J, Maltais F, Doyon J-F, Noël M, LeBlanc P, Carrier G, et al. Peripheral muscle endurance and the oxidative profile of the quadriceps in patients with COPD. *Thorax*. 1 août 2004;59(8):673-8.
21. 18.pdf [Internet]. [cité 30 avr 2016]. Disponible sur: http://www.rehabilitation-bourgogne-sante.fr/Documents_Partages/18.pdf
22. Bommas-Ebert U, Teubner P, Voss R. Cours d'anatomie [Internet]. De Boeck Supérieur; 2008 [cité 16 mars 2016]. Disponible sur: <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=eERtDfVuZdEC&oi=fnd&pg=PA3&dq=%22des+fibres%22+musculaires.+Elle+r%C3%A9sulte+du+glissement+actif+des%22+%22et+les+myofibrilles+apparaissent+dans+le+cytoplasme+de+telle+sorte+que,%22+%22des+cellules+satellites,+cellules+souches+inactives+qui+ne+sont+pas+visibles%22+&ots=sXZjLVtNJI&sig=2yw63V13hF3eO9ah9EaDRWr6vT4>
23. de Theije CC, Langen RCJ, Lamers WH, Gosker HR, Schols AMWJ, Köhler SE. Differential sensitivity of oxidative and glycolytic muscles to hypoxia-induced muscle atrophy. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 15 janv 2015;118(2):200-11.
24. 1740_REVUE1-N13.pdf [Internet]. [cité 30 avr 2016]. Disponible sur: http://www.afvp.info/vietnamien/galleryUpload/1740_REVUE1-N13.pdf
25. Caron M-A, Debigaré R, Dekhuijzen PNR, Maltais F. L'atteinte du diaphragme et du quadriceps dans la BPCO : une manifestation systémique de cette maladie ? *Rev Mal Respir*. déc 2011;28(10):1250-64.

26. Dysfonction musculaire périphérique dans la bronchopneumopathie chronique obstructive - EM|consulte [Internet]. [cité 16 mars 2016]. Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/rmr/article/151413>
27. Dousset E, Decherchi P, Grelot L, Jammes Y. Effects of Chronic Hypoxemia on the Afferent Nerve Activities from Skeletal Muscle. *Am J Respir Crit Care Med*. 15 oct 2001;164(8):1476-80.
28. T. Paillard FN. Effets neuromusculaires de l'électrostimulation transcutanée surimposée et combinée à l'activité volontaire : une revue. *Ann Phys Rehabil Med*. 2005;48(3):126-37.
29. Memoire Online - Etude comparative de différentes méthodes de renforcement musculaire sur les performances musculaires et aérobie - Guillaume Guiloineau et David Rousseau [Internet]. Memoire Online. [cité 6 avr 2016]. Disponible sur: http://www.memoireonline.com/02/09/1966/Etude-comparative-methodes-renforcement-musculaire-performances-musculaires-aerobie.html#_Toc111030036
30. Crépon F. Électrostimulation musculaire : critères de choix des paramètres de stimulation. *Kinésithérapie Sci.* :p. 43-5.
31. Electrostimulation basse fréquence versus haute fréquence chez les BPCO [Internet].. Disponible sur:http://www.arairlor.asso.fr/index.php?option=com_content&view=article&id=871:electrostimulation-basse-frequence-versus-haute-frequence-chez-les-bpco&catid=79:bibliographie-2012&Itemid=102
32. electrostimulationcouturier05.pdf [Internet]. [cité 16 mars 2016]. Disponible sur: <http://www.chups.jussieu.fr/polys/dus/dusmedecinedusport/capadumedsport/electrostimulationcouturier05/electrostimulationcouturier05.pdf>
33. Vanderthommen M. Contribution à l'étude du métabolisme de la contraction musculaire électro-induite chez l'homme [Internet]. Université de Liège; 2002 [cité 16 mars 2016]. Disponible sur: <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/24913>
34. Kortianou EA, Nasis IG, Spetsioti ST, Daskalakis AM, Vogiatzis I. Effectiveness of Interval Exercise Training in Patients with COPD. *Cardiopulm Phys Ther J*. sept 2010;21(3):12-9.
35. O'Donnell DE, Laveneziana P. Physiology and consequences of lung hyperinflation in COPD. *Eur Respir Rev*. 1 déc 2006;15(100):61-7.
36. Couillard A. Les facteurs pronostiques dans la BPCO : la tête, les jambes et le souffle ! *Rev Mal Respir*. févr 2011;28(2):174-86.
37. Julien Gondin LB. Neuromuscular electrical stimulation training induces atypical adaptations of the human skeletal muscle phenotype: A functional and proteomic analysis. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 2011;110(2):433-50.

38. Gerovasili V, Stefanidis K, Vitzilaios K, Karatzanos E, Politis P, Koroneos A, et al. Electrical muscle stimulation preserves the muscle mass of critically ill patients: a randomized study. *Crit Care Lond Engl*. 2009;13(5):R161.
39. Abdellaoui A, Préfaut C, Gouzi F, Couillard A, Coisy-Quivy M, Hugon G, et al. Skeletal muscle effects of electrostimulation after COPD exacerbation: a pilot study. *Eur Respir J*. oct 2011;38(4):781-8.
40. Zanotti E, Felicetti G, Maini M, Fracchia C. Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: effect of electrical stimulation. *Chest*. juill 2003;124(1):292-6.
41. Maddocks M, Nolan CM, Man WD-C, Polkey MI, Hart N, Gao W, et al. Neuromuscular electrical stimulation to improve exercise capacity in patients with severe COPD: a randomised double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet Respir Med*. janv 2016;4(1):27-36.
42. O'Donnell DE, Banzett RB, Carrieri-Kohlman V, Casaburi R, Davenport PW, Gandevia SC, et al. Pathophysiology of Dyspnea in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Proc Am Thorac Soc*. 1 mai 2007;4(2):145-68.
43. Zanotti E, Bizzarri C, Grasso R. Combination of Pulmonary Rehabilitation and Neuromuscular Electrical Stimulation in COPD Patients: A Randomized Clinical Trial of Efficacy. *J Pulm Respir Med [Internet]*. 2012 [cité 17 mars 2016];02(01). Disponible sur: <http://www.omicsonline.org/2161-105X/2161-105X-2-112.digital/2161-105X-2-112.html>
44. StGeorges.pdf [Internet]. [cité 11 avr 2016]. Disponible sur: <http://splf.fr/wp-content/uploads/2014/11/StGeorges.pdf>
45. Vieira PJC, Chiappa AMG, Cipriano G, Umpierre D, Arena R, Chiappa GR. Neuromuscular electrical stimulation improves clinical and physiological function in COPD patients. *Respir Med*. avr 2014;108(4):609-20.
46. Corso SD, Duarte SR, Neder JA, Malaguti C, Fuccio MB de, Pereira CA de C, et al. A step test to assess exercise-related oxygen desaturation in interstitial lung disease. *Eur Respir J*. 1 févr 2007;29(2):330-6.
47. Les muscles locomoteurs dans les pathologies respiratoires chroniques : exemple de la BPCO - EM|consulte [Internet]. [cité 11 avr 2016]. Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/rmr/article/156994>
48. Vivodtzev I, Pépin J-L, Vottero G, Mayer V, Porsin B, Lévy P, et al. Improvement in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD. *Chest*. juin 2006;129(6):1540-8.
49. Kapandji AI. Anatomie fonctionnelle: hanche, genou, cheville, pied, voûte plantaire, marche. Membre inférieur. Maloine; 2009. 308 p.

50. Nápolis LM, Dal Corso S, Neder JA, Malaguti C, Gimenes ACO, Nery LE. Neuromuscular electrical stimulation improves exercise tolerance in chronic obstructive pulmonary disease patients with better preserved fat-free mass. *Clin São Paulo Braz*. 2011;66(3):401-6.
51. Sillen MJH, Franssen FME, Delbressine JML, Vaes AW, Wouters EFM, Spruit MA. Efficacy of lower-limb muscle training modalities in severely dyspnoeic individuals with COPD and quadriceps muscle weakness: results from the DICES trial. *Thorax*. juin 2014;69(6):525-31.
52. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med*. 1 juill 2002;166(1):111-7.
53. Bohannon RW, Bubela DJ, Wang Y-C, Magasi SS, Gershon RC. Six-Minute Walk Test Vs. Three-Minute Step Test for Measuring Functional Endurance. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. nov 2015;29(11):3240-4.
54. Bachasson D, Villiot-Danger E, Verges S, Hayot M, Perez T, Chambellan A, et al. Mesure ambulatoire de la force maximale volontaire isométrique du quadriceps chez le patient BPCO. *Rev Mal Respir*. oct 2014;31(8):765-70.
55. Nuhr MJ, Pette D, Berger R, Quittan M, Crevenna R, Huelsman M, et al. Beneficial effects of chronic low-frequency stimulation of thigh muscles in patients with advanced chronic heart failure. *Eur Heart J*. janv 2004;25(2):136-43.
56. Vivodtzev I. IMPACT DE LA FAIBLESSE MUSCULAIRE SUR LA TOLERANCE A L'EFFORT ET LA QUALITE DE VIE DES PATIENTS ATTEINTS DE BPCO : BENEFICE DU REENTRAINEMENT A L'EFFORT [Internet] [phdthesis]. Université Joseph-Fourier - Grenoble I; 2006 [cité 16 avr 2016]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00174963/document>
57. ORIGINAL RESEARCH. THE VALIDITY OF PLANTARFLEXOR STRENGTH MEASURES OBTAINED THROUGH HAND-HELD DYNAMOMETRY MEASUREMENTS OF FORCE [Internet]. [cité 25 mars 2016]. Disponible sur: <http://connection.ebscohost.com/c/articles/98421104/original-research-validity-plantarflexor-strength-measures-obtained-through-hand-held-dynamometry-measurements-force>
58. Ankle dorsi- and plantar-flexion torques measured by dynamometry in healthy subjects from 5 to 80 years | BMC Musculoskeletal Disorders | Full Text [Internet]. [cité 17 avr 2016]. Disponible sur: <http://bmcmusculoskeletdisord.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2474-14-104>
59. Zachazewski JE, Riley PO, Krebs DE. Biomechanical analysis of body mass transfer during stair ascent and descent of healthy subjects. *J Rehabil Res Dev*. 1993;30(4):412-22.
60. doc_num.pdf [Internet]. [cité 6 mai 2016]. Disponible sur: http://ifpek.centredoc.org/opac/doc_num.php?explnum_id=362

VIII. ANNEXES

TABLE DE MATIERE DES ANNEXES

ANNEXE I	: Classification de la BPCO	37
Tableau 1	: classification des stades de gravité de la BPCO	37
Tableau 2	: catégorie de risque combiné de BPCO	37
ANNEXE II	: Questionnaire CAT (COPD Assesment Test)	38
ANNEXE III	: Questionnaire modifié du Medical Research Council (mMRC)	38
ANNEXE IV	: Le score BODE	39
ANNEXE V	: Tableau d'analyse de littérature	40
ANNEXE VI	: Questionnaire Saint-Georges	41
ANNEXE VII	: Schéma des groupes d'ESNM	45
ANNEXE VIII	: Lettre d'information aux patients	46
ANNEXE IX	: Formulaire de consentement écrit du patient	47
ANNEXE X	: Analyse des modalités d'électrostimulation	49
ANNEXE XI	: L'installation du patient	50
ANNEXE XII	: Les critères de jugements	51
ANNEXE XIII	: Le step test 3 minutes	52
ANNEXE XIV	: Installation pour les tests de force maximale volontaire	53
ANNEXE XV	: Instruction pour le test de marche de 6 minutes	54
ANNEXE XVI	: Caractéristiques des deux groupes en amont du programme	55
ANNEXE XVII	: Moyenne des résultats finaux obtenus après l'ESNM	56
ANNEXE XVIII	: Moyenne des différences de valeurs entre les tests initiaux et finaux	57
ANNEXE XIX	: Pourcentage d'amélioration des deux groupes pour les tests réalisés	58
ANNEXE XX	: Diagrammes comparatifs pour le step test 3 min	59
ANNEXE XXI	: Diagrammes comparatifs pour le test de marches 6 minutes	60
ANNEXE XXII	: Comparaison de l'évolution moyenne de la force des quadriceps	61
ANNEXE XXIII	: Comparaison de l'évolution moyenne de l'endurance des quadriceps	62
ANNEXE XXIV	: Comparaison de l'évolution moyenne de la force des triceps suraux	62
ANNEXE XXV	: Diagramme comparatif de l'évaluation de la qualité de vie	63

ANNEXE I : Classification de la BPCO

- Tableau 1 : classification des différents stades de gravité de la BPCO par le Gold standard.

Stade I Léger	Stade II Modéré	Stade 3 Sévère	Stade IV Très sévère
VEMS/ CV <70% VEMS >80% de la valeur prédis	VEMS / CV <70% 50% <VEMS <80% de la valeur prédis	VEMS/CV <70% 30%<VEMS <50% de la valeur prédis	VEMS <70% VEMS<30% de la valeur prédis ou VEMS <50% de la valeur prédis avec insuffisance respiratoire chronique

*VEMS : volume expiratoire maximale par seconde mesuré après administration de bronchodilatateur

**CV : Capacité vitale

- Tableau 2 : catégorie de risque combiné de BPCO

Patient à risque	Caractéristiques	Classification spirométrique	Exacerbations par an	mMRC	CAT
A	Risque faible Peu de symptômes	GOLD 1 et 2	Inférieure ou égale à 1	0 à 1	Inférieur à 10
B	Risque faible Symptômes important	GOLD 1 et 2	Inférieure ou égale à 1	2 ou plus	Supérieur ou égale à 10
C	Haut risque Peu de symptômes	GOLD 3 et 4	Supérieure ou égale à 2	0 à 1	Inférieur à 10
D	Haut risque symptômes importants	GOLD 3 et 4	Supérieure ou égale à 2	2 ou plus	Supérieur ou égale à 10

*mMRC: questionnaire Medical Research Council Dyspnea Scale

** CAT : questionnaire COPD Assessment Test

***GOLD: Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease

ANNEXE II : Questionnaire CAT (COPD Assesment Test)

CAT							score
Je ne tousse jamais	1	2	3	4	5	Je tousse tout le temps	
Je n'ai pas du tout de glaires dans les poumons	1	2	3	4	5	J'ai la poitrine très encombrée de sécrétions	
Je n'ai pas du tout la poitrine oppressée	1	2	3	4	5	J'ai la poitrine très serrée	
Quand je monte une côte ou des marches je ne suis pas essoufflé	1	2	3	4	5	Quand je monte une côte ou des marches je suis très essoufflé	
Je ne suis pas limité dans mes activités chez moi	1	2	3	4	5	Je suis très limité dans mes activités chez moi	
Je ne suis pas inquiet quand je quitte la maison en dépit de mes problèmes pulmonaires	1	2	3	4	5	Je suis très inquiet quand je quitte la maison en raison de mes problèmes pulmonaires	
Je dors bien	1	2	3	4	5	Je dors mal à cause de mes problèmes pulmonaires	
Je suis plein d'énergie	1	2	3	4	5	Je n'ai pas d'énergie du tout	
						Score total:	

ANNEXE III : Questionnaire modifié du Medical Research Council (mMRC)

Stades	Dyspnée
0	je ne suis essoufflé que pour un effort important
1	je suis essoufflé lorsque je me presse en terrain plat ou lorsque je monte une petite cote
2	je marche plus lentement que les personnes de mon âge, en terrain plat, à cause de mon essoufflement ou je dois m'arrêter pour respirer lorsque je marche à mon propre pas en terrain plat
3	je m'arrête pour respirer après avoir marché environ 100 m ou après quelques minutes en terrain plat
4	je suis trop essoufflé pour sortir de chez moi ou je suis essoufflé quand je m'habille ou me déshabille

ANNEXE IV : Le score BODE

Additionner les points par items pour obtenir le total : le score de BODE

Items / Points	0	1	2	3
IMC	Supérieur à 21	Inférieur ou égale à 21		
VEMS (% théorique)	Supérieur à 65	50-64	36-49	Inférieur ou égale à 35
Score mMRC	0-1	2	3	4
Test de marche 6 min (en m)	>350	249-350	149-250	<149

Le taux de mortalité à 5 ans en fonction du score de BODE obtenu

Total des points	0-2	3-4	5-6	7-10
Taux de mortalité à 5 ans	15%	30%	40%	80%

*IMC : indice de masse corporel

ANNEXE V : Tableau d'analyse de littérature

Etude	Nombre	BPCO	Méthodes	Résultats
Zanotti 2012 groupe 1 : PRR groupe 2 : PRR + ESNM	83	stade 2	ESNM du quadriceps - 4 électrodes Patient : genoux à 90°, pas de co-contraction 60Hz - 10mA - 5 fois/sem - 30 min - 5 semaines	Amélioration significative des résultats pour le TDM6 et STST pour le groupe ESNM TDM6 + 61 m en moyenne pour le groupe ESNM par rapport au groupe sans ESNM STST + 3 répétitions en moyenne pour le groupe ESNM Pas de différences pour Saint-Georges et MMHC pour les 2 groupes
VIVODTZEY 2011 groupe 1 : rien groupe 2 : esnm	22	stade 3 et 4	électroneurostimulation du triceps (25 min) et du quadriceps (35 min) 5 jours par sem pendant 6 semaines réalisé à la maison fréquence 50 Hz et 400 us	augmentation d'une moyenne de 6% de l'aire transversale des muscles augmentation de la force et de l'endurance du quadriceps de 11% et 14 % respectivement pas de différence entre les 2 groupes concernant les médiateurs de l'inflammation (cytokines) pas de différence dans la topologie des fibres mais amélioration profil anabolique augmentation de la distance au test de marche
Viera 2014 groupe 1 : ESNM groupe 2 : sans ESNM	20	BPCO stable FEV < 40 % TDM6 < 350m	électroneurostimulation du quadriceps 8 sem - 5 jours/sem - 2 fois / jours pendant 45 min 2 électrodes fréquence 50 Hz et 400 us	amélioration de la FEV et du rapport de tiffeneau pour le groupe ESNM amélioration de la masse musculaire chez le groupe esnm diminution significative des TNF alpha et augmentation des endorphiniques sur groupe ESNM
Abdellaoui 2011 groupe 1 : ESNM groupe 2 : sans ESNM	15	BPCO sévère après une exacerbation	électrostimulation des ischio jambier et des quadriceps fréquence 35 Hz et 400 us , 1 h par jour , 5 jours par semaine pendant 6 semaines	amélioration significative au test de marche pour le groupe avec ESNM (+125 pour le groupe avec ESNM contre +58m) Augmentation des fibres de type I pour le groupe ESNM et diminution de 2 points de la dyspnée contre 1 point pour groupe sans ESNM
Dal Corso 2007	17	BPCO grade II et III	électrostimulation du quadriceps 50 Hz- 400 us - 6 semaines - 5X/semaine 1 groupe reçoit l'électrostimulation du quadriceps pendant 6 semaines l'autre non , évaluation puis on inverse le protocole le groupe devient le groupe contrôle et inversement	augmentation de l'aire de la section transversale du muscle dans les deux groupes après ESNM pas d'augmentation significative de certaines fibres par rapport à d'autres augmentation des fibres de myosine TDM6 pas significatif
Gerovasili 2009 Groupe 1 : ESNM Groupe 2 : sans ESNM	36	BPCO sévère	électrostimulation du quadriceps et long fibulaire	ESNM est bien toléré ESNM permet de préserver la masse musculaire des patients sévèrement malade L'aire transversale du quadriceps des patients sous ESNM a significativement moins diminué que celle du groupe contrôle
Neder 2002 1 er groupe : ESNM 2e : entraînement puis ESNM	15	stade avancé	électrostimulation du quadriceps 6 semaines avant ou après réentraînement 50 Hz- 400 us - 6 semaines - 5X/semaine	Différence significative entre les 2 groupes Amélioration de la force et endurance des quadriceps après ESNM (+ 27, 4 Nm pour le groupe ESNM contre + 5, 2 Nm) Amélioration de la tolérance à l'effort et diminution de la gêne aux jambes après ESNM Amélioration du questionnaire de la qualité de vie après ESNM

ANNEXE VI : Questionnaire Saint-Georges

QUESTIONNAIRE RESPIRATOIRE du St GEORGE'S HOSPITAL (6 pages à remplir)

identification patient

NOM	
Prénom	
Sexe	Masculin ☐ Féminin ☐
Date de naissance	

questionnaire

Médecin	
Date	

1ère PARTIE

Les questions qui suivent cherchent à déterminer l'importance des problèmes respiratoires que vous avez pu ressentir AU COURS DES 12 DERNIERS MOIS
(Mettez une croix dans la case correspondant à votre réponse à chaque question)

	Presque tous les jours de la semaine (5-7jours)	Plusieurs jours par semaine (2-4jours)	Quelques jours par mois	Seulement pendant une infection respiratoire	Pas du tout
1) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous toussé ?					
2) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous craché ?					
3) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous été essoufflé(e)?					
4) Au cours des 12 derniers mois, avez-vous eu des crises de sifflement dans la poitrine?					
5) Au cours des 12 derniers mois, combien de fois avez-vous eu de crises graves ?	Plus de 3 crises ☐ 3 crises..... ☐ 2 crises..... ☐ 1 crise..... ☐ Aucune crise..... ☐				
(passez à la question 7 si vous n'avez pas eu de crise grave)					
6) Au cours des 12 derniers mois, combien de temps a duré la crise la plus pénible?	Une semaine ou plus ☐ 3 jours ou plus..... ☐ 1 ou 2 jours ☐ Moins d'une journée..... ☐				

7) Au cours des 12 derniers mois, dans une semaine ordinaire, combien avez-vous eu de journées sans grand problème respiratoire?

Aucune journée	☐
1 ou 2 jours	☐
3 ou 4 jours	☐
Presque tous les jours..	☐
Tous les jours	☐

oui.....	☐
non	☐

8) Quand vous avez des sifflements, est-ce pire le matin ?

2ème PARTIE

SECTION 1 Mettez une croix dans la case correspondant à votre réponse à chaque question.

QUE PENSEZ-VOUS DE VOTRE ETAT RESPIRATOIRE ?

C'est mon plus gros problème..... ☐

Cela me pose pas mal de problèmes..... ☐

Cela me pose quelques problèmes..... ☐

Cela ne me pose aucun problème..... ☐

SI VOUS AVEZ OU SI VOUS AVEZ EU UNE ACTIVITE PROFESSIONNELLE

Mes problèmes respiratoires m'ont obligé(e) à ne plus travailler..... ☐

Mes problèmes respiratoires m'empêchent parfois de travailler..... ☐

Mes problèmes respiratoires ne m'empêchent pas de travailler..... ☐

SECTION 2 VOICI QUELQUES SITUATIONS QUI, HABITUELLEMENT, VOUS ESSOUFFLENT.

Répondez en mettant une croix dans la case correspondant à votre situation ces jours-ci

	VRAI	FAUX
Etre assis au repos.....	☐	☐
Faire sa toilette ou s'habiller.....	☐	☐
Marcher dans la maison.....	☐	☐
Marcher à l'extérieur sur terrain plat.....	☐	☐
Monter un étage.....	☐	☐
Monter une côte.....	☐	☐
Pratiquer une activité physique ou sportive.....	☐	☐

SECTION 3 VOICI ENCORE QUELQUES SITUATIONS CONCERNANT VOTRE TOUX ET VOTRE ESSOUFFLEMENT.

Voulez-vous signaler celles qui correspondent à votre état ces jours-ci ?

	VRAI	FAUX
Ca me fait mal quand je tousse.....	☐	☐
Ca me fatigue quand je tousse.....	☐	☐
Je suis essoufflé quand je parle.....	☐	☐
Je suis essoufflé quand je me penche.....	☐	☐
Ma toux ou ma respiration perturbe mon sommeil.....	☐	☐
Je m'épuise vite en faisant une activité quotidienne (par exemple : toilette, habillage, ménage).....	☐	☐

SECTION 4 VOICI D'AUTRES EFFETS QUE VOS PROBLÈMES RESPIRATOIRES PEUVENT ENTRAÎNER CHEZ VOUS.

Voulez-vous signaler celles qui s'appliquent à vous ces jours-ci ?

	VRAI	FAUX
Devant les autres je me sens gêné de tousser ou d'être essoufflé.....	☐	☐
Mes problèmes respiratoires gênent ma famille, mes amis ou mon voisinage.....	☐	☐
J'ai peur ou je panique quand je n'arrive plus à respirer	☐	☐
Je sens que je ne peux pas contrôler ma respiration	☐	☐
Je pense que mon état respiratoire ne va pas s'améliorer	☐	☐
Je suis devenu un grand malade en raison de mon état respiratoire	☐	☐
L'exercice physique est dangereux pour moi.....	☐	☐
Tout me demande un effort.....	☐	☐

SECTION 5 CETTE SECTION CONCERNE VOTRE TRAITEMENT (Médicaments, aérosols, oxygène, kinésithérapie...)

	VRAI	FAUX
Mon traitement ne m'aide pas beaucoup.....	☐	☐
Devant les autres, je me sens gêné de suivre mon traitement.....	☐	☐
Mon traitement a des effets désagréables chez moi.....	☐	☐
Mon traitement me gêne beaucoup dans ma vie de tous les jours.....	☐	☐

**SECTION 6 CETTE SECTION CONCERNE LES ACTIVITES QUOTIDIENNES
QUI POURRAIENT ETRE GENEES PAR VOTRE RESPIRATION**

	VRAI	FAUX
J'ai besoin de beaucoup de temps pour faire ma toilette ou pour m'habiller.....	☐	☐
Je ne peux pas prendre un bain ou une douche, ou alors j'ai besoin de beaucoup de temps pour le faire.....	☐	☐
Je marche plus lentement que les autres ou je m'arrête pour me reposer.....	☐	☐
Des travaux comme le ménage me prennent beaucoup de temps ou je dois m'arrêter pour me reposer.....	☐	☐
Si je monte un étage, je dois aller lentement ou m'arrêter.....	☐	☐
Si je me dépêche ou si je marche vite, je dois m'arrêter ou ralentir.....	☐	☐
Ma respiration rend pénible les activités telles que monter une côte, porter des objets en montant un étage, effectuer des travaux légers de jardinage, danser, jouer aux boules.....	☐	☐
Ma respiration rend pénible les activités telles que porter des charges lourdes, bêcher le jardin, déblayer la neige, faire du jogging ou marcher rapidement, jouer au tennis, nager.....	☐	☐
Ma respiration rend pénible les activités telles que les travaux manuels lourds, la course à pied, le vélo, la natation rapide ou les sports de compétition.....	☐	☐

**SECTION 7 DECRIVEZ AVEC QUELLE INTENSITE VOTRE ETAT
RESPIRATOIRE RETENTIT D'ORDINAIRE SUR VOTRE VIE
QUOTIDIENNE ?**

	VRAI	FAUX
Je ne peux pratiquer aucun sport.....	☐	☐
Je ne peux pas sortir pour me distraire ou me détendre.....	☐	☐
Je ne peux pas sortir faire les courses.....	☐	☐
Je ne peux pas faire le ménage ou bricoler.....	☐	☐
Je ne peux pas m'éloigner beaucoup de mon lit ou de mon fauteuil.....	☐	☐

**MAINTENANT, POURRIEZ-VOUS COCHER LA CASE CORRESPONDANT À
CE QUI DÉCRIT LE MIEUX, SELON VOUS, LA MANIERE DONT VOTRE
ETAT RESPIRATOIRE VOUS GENE**

(Ne cochez **qu'une seule case**)

Cela ne m'empêche pas de faire ce que je veux.....	☐
Cela m'empêche de faire une ou deux choses que j'aurais envie de faire.....	☐
Cela m'empêche de faire la plupart des choses que j'aurais envie de faire.....	☐
Cela m'empêche de faire tout ce que j'aurais envie de faire.....	☐

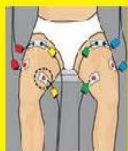
ANNEXE VII : Schéma des groupes d'ESNM

GROUPE 1

Groupe contrôle

Programme de RR
habituel
incluant des séances :

ESNM des quadriceps



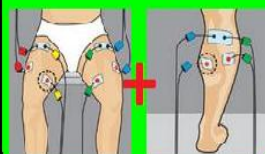
GROUPE 2

Groupe test

Programme de RR
habituel
incluant des séances :

ESNM des quadriceps +

ESNM des triceps suraux



ANNEXE VIII : Lettre d'information aux patients

Lettre d'information

Madame, Monsieur,

Actuellement étudiante en masso-kinésithérapie à l'institut de formation de kinésithérapie de Brest, je réalise dans le cadre de mon projet de fin d'études, une recherche sur l'électrostimulation neuromusculaire chez les BPCO.

D'après les recommandations actuelles, le réentraînement des muscles périphériques de l'appareil locomoteur en endurance et en force est une des clés de la réhabilitation respiratoire. Dans ce contexte, l'électrostimulation neuromusculaire (ESNM) peut être proposée.

Selon de nombreuses études, l'ESNM participe à :

- l'amélioration de la force et de l'endurance
- l'amélioration des capacités fonctionnelles
- la diminution de l'essoufflement
- l'amélioration de la qualité de vie

En général dans un programme de réhabilitation respiratoire seuls les quadriceps sont stimulés par électrostimulation alors que l'ensemble des muscles de l'appareil locomoteur est concerné par la diminution de force ou d'endurance.

Nous cherchons donc à savoir si, la stimulation conjointe du triceps sural (muscle du mollet) avec le quadriceps pourrait apporter plus de résultats sur le plan fonctionnel chez les patients atteints de BPCO sévère et très sévère que la stimulation du quadriceps seul.

Cette étude ne comporte pas de risques pour les patients. L'ESNM est une technique bien supportée ne présentant pas d'effets secondaires.

Je reste à votre disposition pour de plus amples informations.

Je vous prie d'agréer, Madame, Monsieur l'expression de mes sincères salutations.

Manon CASTEL

ANNEXE IX : Formulaire de consentement écrit du patient

Formulaire de consentement (personne majeure)

Effet d'un programme de réhabilitation respiratoire (ESNM quadriceps seul) versus un programme de réhabilitation avec ESNM du triceps chez les patients atteints de broncho-pneumopathie chronique obstructive sévère et très sévère

Promoteur : Service de Réhabilitation Respiratoire CH des pays de Morlaix

Résumé de l'objectif de la recherche : Comparer les effets de l'électrostimulation neuromusculaire du triceps sural et du quadriceps par rapport aux quadriceps seuls en termes de bénéfices fonctionnels de l'appareil locomoteur, chez des patients atteints de broncho-pneumopathie chronique obstructive au stade sévère et très sévère.

Je

soussigné.....déclare avoir lu le document d'information et accepte de participer à l'étude.

1. J'ai reçu une explication concernant la nature, le but, la durée de l'étude et j'ai été informé de ce qu'on attend de ma part. On m'a remis une copie de ce formulaire de consentement éclairé, signé et daté, précédé d'un résumé de l'objectif de la recherche.
2. Je suis libre de participer ou non, de remplir le questionnaire ou non, d'abandonner ma participation à l'étude à tout moment sans qu'il soit nécessaire de justifier ma décision et sans que cela n'entraîne le moindre désavantage pour moi.
3. Les catégories de données qui seront utilisées dans le cadre de cette étude sont :
 - Les réponses que j'ai données aux questionnaires de l'enquête
 - Les réponses que j'ai données aux échelles de l'enquête
 - Les résultats que j'obtiendrai aux différents tests pratiqués

4. J'accepte que ces données fassent l'objet de traitements ultérieurs à des fins scientifiques, en relation directe avec les objectifs de la recherche ci-dessus. Mon nom, les réponses aux questionnaires et mes informations personnelles seront gardés confidentiels. Les réponses scientifiques de cette étude et les personnes qui traiteront les données s'engagent à respecter cette confidentialité de données.
5. J'accepte que les résultats de cette étude, qui seront toujours anonymes, soient diffusés à des fins scientifiques et en respectant les règles déontologiques de la communauté scientifique
6. Je peux à tout moment demander la consultation des données à caractère personnel et leurs rectifications conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (loi du 6 janvier 1978 modifiée en 2004). Ces données sont conservées durant le temps nécessaire à leur analyse, et ce, jusqu'à un maximum de dix années.
7. Je consens de mon plein gré à participer à cette étude.

Nous vous remercions d'apposer la mention « lu et approuvé »

Signature du sujet/patient

Date (jour/ mois/ année)

Je confirme que j'ai expliqué la nature, le but et la durée de l'étude à la personne mentionnés ci-dessus.

Le sujet confirme son accord de participation par sa signature personnelle datée.

Signature de la personne qui procure l'information
année)

Date (jour/ mois/

Nom en lettres capitales de la personne qui procure l'information

ANNEXE X : Analyse des modalités d'électrostimulation dans les différentes études réalisées

Auteurs	Fr	impulsions	Temps de travail	durée	Nbre de séances
Abdellaoui 2011	35Hz	400 µs	33%	60mn	5 fois par semaine (6 semaines)
Bourjeily-Habr 2002	50hz	200 µs	13%	20 mn	3 fois par semaine (6 semaines)
Dal Corso 2007	50hz	400 µs	16 à 33%	60mn	5 fois par semaine (6 semaines)
Neder 2002	50hz	300 à 400 µs	11 à 25 %	30 mn	5 fois par semaine (6 semaines)
Nápolis 2011	50hz	300 à 400 µs	16 à 33%	Jusqu'à 60 mn	5 fois par semaine (6 semaines)
Vivodtzev 2006	35hz	400 µs	47%	30 mn	4 fois par semaine (4 semaines)
Vivodtzev 2012	50 hz	400 µs	27%	35 mn	5 fois par semaine (6 semaines)
Zanotti 2003	35 hz	350 µs		30 mn	5 fois par semaine (4 semaines)
Viera 2013	50 hz	300 400 µs	20 à 30%	60mn	5 fois par semaine (8 semaines)
Sillen 2014	75 hz 15 hz			21 mn	5 fois par semaine (8 semaines) 2 fois/jour

Réf : Loic Péran l'électrostimulation neuromusculaire, intérêt de l'ESNM du quadriceps chez les patients BPCO - DIU réhabilitation respiratoire

ANNEXE XI : L'installation du patient



Photo 3 : Contraction volontaire des quadriceps

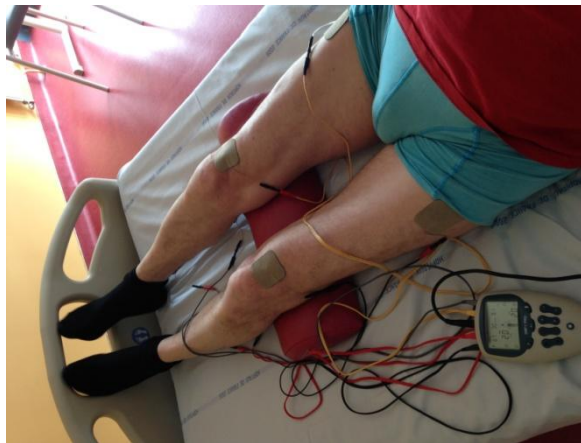


Photo 4 : Contraction volontaire des triceps suraux

ANNEXE XII : Les critères de jugements

CRITERE D'EVALUATION PRINCIPALE

EVALUATION FONCTIONNELLE

STEP TEST 3 MINUTES



CRITERES D'EVALUATIONS SECONDAIRES

EVALUATION DE LA CAPACITE D'EXERCICE

Test de marche de 6 minutes



EVALUATION DE LA FORCE AU MICROFET

QUADRICEPS



TRICEPS



EVALUATION DE LA QUALITE DE VIE

- le questionnaire de qualité de vie Saint George
- la sensation de dyspnée sur l'échelle de Borg
- la sensation de dyspnée sur l'échelle MMRC.

ANNEXE XIII : Le step test 3 minutes

Les photos de la mise en place du step test



Photo 5 : positionnement du step



Photo 6 : le step test 3 minutes

Instruction pour le step test 3 minutes

Instructions données avant le départ du test

« L'objectif du test est de réaliser le plus grand nombre de pas possible en 3 minutes. 3 minutes, c'est long. Vous serez peut-être essoufflé ou fatigué. Vous pourrez ralentir, vous arrêtez et vous reposer si nécessaire. Vous pourrez vous retenir au mur lors d'une pause, mais vous devrez reprendre l'exercice dès que vous en serez capable. Le mouvement correct est le suivant... Je n'arrêterai le chronomètre qu'à 3 minutes. Je vous indiquerai le temps écoulé toutes les minutes. Êtes-vous prêt ? Rappelez-vous que vous devez réaliser le plus grand nombre de pas en 3 minutes. Allez-y maintenant ou dès que vous êtes prêt ».

Encouragements standardisés donnés durant le test

« "C'est très bien, continuez ainsi" à 30 secondes
"C'est très bien, plus que 2 minutes, continuez ainsi" à la première minute.
"C'est très bien, continuez ainsi" à 1 minute 30 secondes
"C'est très bien, plus que 1 minute, continuez ainsi" à la deuxième minute.
"C'est très bien, continuez ainsi" à 2 minutes 30 secondes
"Je vais bientôt vous dire de vous arrêter" à 2 minutes 45 secondes
"Et maintenant, arrêtez-vous" à 3 minutes »

ANNEXE XIV : Installation pour les tests de force maximale volontaire



Photo 7 : Installation du patient pour le test de force maximale volontaire du quadriceps



Photo 8 : Installation du patient pour le test de force maximale volontaire du triceps sural

ANNEXE XV : Instruction pour le test de marche de 6 minutes

Instructions données avant le départ du test

« Le but de ce test est de marcher le plus possible pendant 6 minutes. Vous marcherez aller et retour dans ce couloir. Marcher 6 minutes, c'est long, et donc vous devrez faire un effort. Vous allez probablement vous sentir hors d'haleine et fatigué. Vous pouvez donc ralentir, vous arrêter ou vous reposer si nécessaire. Vous pouvez vous appuyer contre le mur pendant le repos, mais reprendre la marche dès que possible. Vous parcourrez le couloir aller et retour en tournant autour des cônes. Vous devez contourner les cônes et continuer sans hésiter. Maintenant, je vais vous montrer. Voilà comment je fais demi-tour sans hésiter. Pendant le test, vous ne pouvez pas parler, car cela influence vos performances. Je vous indiquerai le temps restant toutes les minutes. Je vous demanderai de vous arrêter après 6 minutes. Êtes-vous prêt ? Je vais compter les demi-tours que vous faites. Rappelez-vous que vous devez marcher aussi loin que possible pendant 6 minutes, mais sans courir. Allez-y maintenant ou dès que vous êtes prêt ».

Encouragements standardisés donnés durant le test

« "C'est très bien, continuez ainsi" à 30 secondes
"C'est très bien, plus que 5 minutes, continuez ainsi" à la première minute.
"C'est très bien, continuez ainsi" à 1 minute 30 secondes
"C'est très bien, plus que 4 minutes, continuez ainsi" à la deuxième minute.
"C'est très bien, continuez ainsi" à 2 minutes 30 secondes
"C'est très bien, plus que 3 minutes, continuez ainsi" à la troisième minute.
"C'est très bien, continuez ainsi" à 3 minutes 30 secondes
"C'est très bien, plus que 2 minutes, continuez ainsi" à la quatrième minute.
"C'est très bien, continuez ainsi" à 4 minutes 30 secondes
"C'est très bien, plus que 1 minute, continuez ainsi" à la cinquième minute.
"C'est très bien, continuez ainsi" à 5 minutes 30 secondes
"Je vais bientôt vous dire de vous arrêter" à 5 minutes 45 secondes
"Et maintenant, arrêtez-vous" à 6 minutes »

Réf : http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDMED_T_2009_JUNGMANN_HELENE.pdf

ANNEXE XVI : Caractéristiques des deux groupes en amont du programme pour les tests de forces et les questionnaires de qualité de vie

	ESNM QUADRICEPS		ESNM QUADRICEPS + TRICEPS	
mMRC (points)	2,6 [2 ; 3]		2,3 [1 ; 3]	
Saint- Georges (%)	51.16 [47,66 ; 64,06]		50.55 [32, 45 ; 60,42]	
Force max isométrique du quadriceps (N*m)	<u>Droit</u> 82.1 [17,6 ; 124,1]	<u>Gauche</u> 78.29 [20,1 ; 130, 6]	<u>Droit</u> 81.6 [43,1, 120,9]	<u>Gauche</u> 86.2 [41,4 ; 133,3]
	<u>Moyenne des deux jambes :</u> 80,3 [18,8 ; 116,9]		<u>Moyenne des deux jambes :</u> 83,8 [42,3 ; 122,6]	
Temps d'endurance des quadriceps (s)	<u>Droit</u> 47.4 [29, 70]	<u>Gauche</u> 38.8 [25 ; 54]	<u>Droit</u> 31.5 [15 ; 39]	<u>Gauche</u> 33.5 [28 ; 51]
	<u>Moyenne des deux jambes :</u> 43,1 [27, 55]		<u>Moyenne des deux jambes :</u> 32,5 [18 ; 47]	
Force triceps (Nm)	<u>Droit</u> 57.9 [34,5 ; 95,5]	<u>Gauche</u> 52.1 [25,65, 100, 51]	<u>Droit</u> 73.8 [25,9 ; 100,9]	<u>Gauche</u> 71.5 [28,42 ; 123,7]
	<u>Moyenne des deux jambes :</u> 55,1 [30,1 ; 98,04]		<u>Moyenne des deux jambes :</u> 72,6 [27,2 ; 107,3]	

ANNEXE XVII : Moyenne des résultats finaux obtenus dans les deux groupes après les programmes d'ESNM

Moyenne	Groupe Contrôle - ESNM Quadriceps		Groupe Test ESNM QUADRICEPS ET TRICEPS	
MMRC (points)	2.4 [2 ; 3]		1.2 [0 ; 2]	
Saint- Georges (%)	44.6 [37.8 ; 55.6]		33.1 [29.1 ; 35.6]	
Force max isométrique du quadriceps (N*m)	<u>Droit</u> 78.29 [20,13 ; 130,65]	<u>Gauche</u> 102,7 [20,12 ; 197,8]	<u>Droit</u> 101,1 [56,2 ; 147,2]	<u>Gauche</u> 93,3 [43,5 ; 135,6]
	<u>Moyenne des deux jambes :</u> 105,8 [18,6 ; 173,15]		<u>Moyenne des deux jambes :</u> 97,4 [49,8 ; 141,75]	
Temps d'endurance des quadriceps (s)	<u>Droit</u> 52 [29 ; 65]	<u>Gauche</u> 38,7 [32 ; 49]	<u>Droit</u> 56,9 [46 ; 71]	<u>Gauche</u> 58,6 [41 ; 79]
	<u>Moyenne des deux jambes :</u> 45,4 [31,5 ; 52,5]		<u>Moyenne des deux jambes :</u> 57,7 [43,5 ; 71]	
Force triceps (N*m)	<u>Droit</u> 56,9 [35,8 ; 83,1]	<u>Gauche</u> 60,2 [35,9 ; 99,6]	<u>Droit</u> 106,1 [63,8 ; 142,9]	<u>Gauche</u> 110,4 [79,6 ; 138,8]
	<u>Moyenne des deux jambes :</u> 58,4 [35,8 ; 90,5]		<u>Moyenne des deux jambes :</u> 108,3 [71,7 ; 139,9]	
Step test 3 minutes (nbre)	53 [41 ; 61]		76,3 [63 ; 88]	
Fréquence cardiaque (battements par minutes)	104,4 [95 ; 127]		115,6 [102 ; 125]	
Saturation en oxygène (spo2)	90,6 [88 ; 95]		91,8 [86 ; 97]	
Gene ressentie aux jambes (médiane points échelle 0-10)	6,4 [4 ; 9]		2,5 [1 ; 5]	
Dyspnée ressentie (médiane points échelle 0-10)	5,4 [4 ; 8]		-4,6 [1,7]	
Distance au tdm6 (m)	369 [315 ; 460]		450,8 [320 ; 535]	
Fréquence cardiaque (battements par minutes)	103,1 [96 ; 113]		118,9 [108 ; 138]	
Saturation en oxygène (spo2)	89,2 [83 ; 94]		87,9 [85 ; 92]	
Gene ressentie aux jambes (médiane points échelle 0-10)	1,4 [0 ; 4]		0,7 [0 ; 2]	
Dyspnée ressentie (médiane points échelle 0-10)	4,8 [4 ; 6]		3 [1 ; 6]	

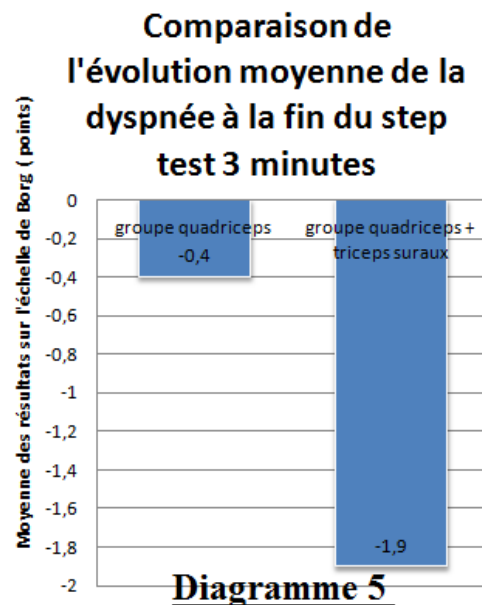
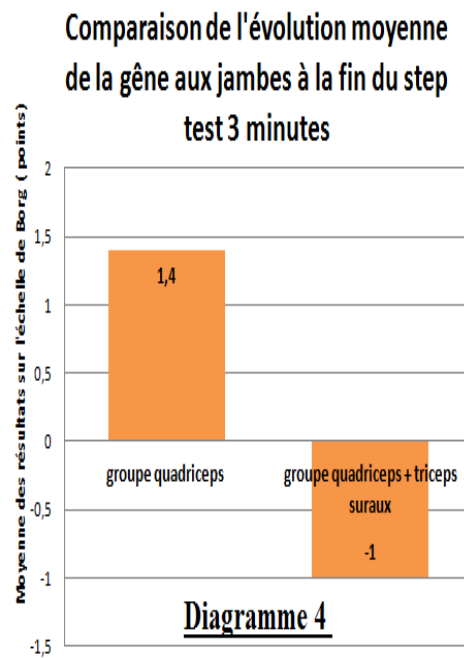
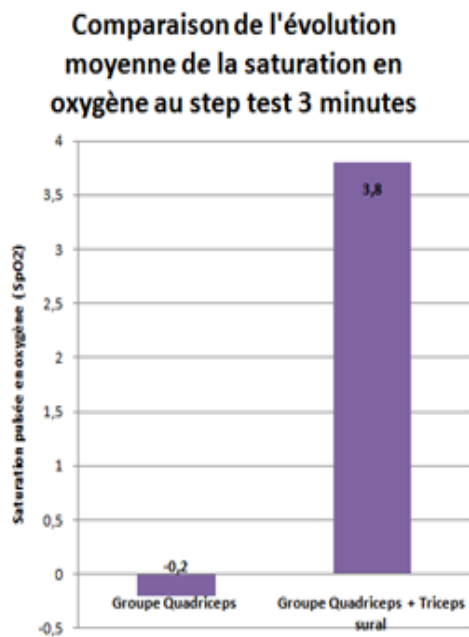
ANNEXE XVIII: Moyenne des différences de valeurs entre les tests initiaux et les tests finaux dans les deux groupes

Moyenne	Groupe Contrôle ESNM Quadriceps	-	Groupe Test ESNM QUADRICEPS ET TRICEPS
MMRC (points)	-0.2 [0;-1]		-1.1 [-2 ; 0]
Saint- Georges (%)	-6.5 [-13,61 ; -8,35]		-17.5 [-25,95; -3,35]
Force max isométrique du quadriceps (N*m)	<u>Droit</u> 26,72 [-0,4 ; 48,27]	<u>Gauche</u> 24,48 [-0,1 ;67,15]	<u>Droit</u> 19,4 [9,7; 24,7]
	<u>Moyenne des deux jambes :</u> 25,6 [-0,2 ; 57,75]		<u>Moyenne des deux jambes :</u> 13.6 [6,8; 19,1]
Temps d'endurance des quadriceps (s)	<u>Droit</u> 4,67 [-13; 36]	<u>Gauche</u> -0,1 [-10; 15]	<u>Droit</u> 25,4 [18; 31]
	<u>Moyenne des deux jambes :</u> 2,3 [-9,5 ; 25,5]		<u>Moyenne des deux jambes :</u> 25.2 [22; 31,5]
Force triceps (N*m)	<u>Droit</u> -1 [-12,4; 4,3]	<u>Gauche</u> 7.9 [-0,91; 14]	<u>Droit</u> 32.3 [18,7 ; 38,8]
	<u>Moyenne des deux jambes :</u> 3,3 [-8,5 ; 5,2]		<u>Moyenne des deux jambes :</u> 35.6 [17; 46,3]
Step test 3 minutes (nbre)	14,92 [9; 20]		29,6 [22; 44]
Fréquence cardiaque (battements par minutes)	-2,6 [-19; 10]		1,6 [-6; 15]
Saturation en oxygène (spo2)	-0,2 [-3; 5]		3,8 [2 ; 8]
Gene ressentie aux jambes (échelle 0-10)	+1,4 [-1; 8]		-1 [-3; 2]
Dyspnée ressentie (médiane points échelle 0-10)	-0,4 [-3; 2]		-1,9 [-3 ; -1]
Distance au tdm6 (m)	42 [-45; 135]		67 [-15; 133]
Fréquence cardiaque (battements par minutes)	2,9 [-13 ; 24]		4,6 [-18 ; 21]
Saturation en oxygène (spo2)	0,6 [-3; 4]		0,35[-5 ; 6]
Gene ressentie aux jambes (médiane points échelle 0-10)	-1.1[-4 ; 2]		-1,3[-3; 0]
Dyspnée ressentie (médiane points échelle 0-10)	-1.2 [-2 ; 0]		-2[-6; 1]

ANNEXE XIX : Pourcentage d'amélioration des deux groupes pour les tests réalisés.

Pourcentage d'amélioration (%)	Groupe Contrôle - ESNM Quadriceps	Groupe Test ESNM QUADRICEPS ET TRICEPS
MMRC	7,8	47,8
Saint- Georges	12,8	34,6
Force max isométrique du quadriceps	<u>Pourcentage d'amélioration des deux jambes :</u> 32	<u>Pourcentage d'amélioration des deux jambes :</u> 16
Temps d'endurance des quadriceps	<u>Pourcentage d'amélioration des deux jambes :</u> 77,2	<u>Pourcentage d'amélioration des deux jambes :</u> 5,2
Force triceps	<u>Pourcentage d'amélioration des deux jambes :</u> 5,9	<u>Pourcentage d'amélioration des deux jambes :</u> 49.1
Nombre de steps au Step test 3 minutes	37,6	63
Distance en mètre au tdm6	12,6	17,5

ANNEXE XX : Diagrammes comparatifs pour le step test 3 minutes



ANNEXE XXI : Diagrammes comparatifs pour le test de marches 6 minutes

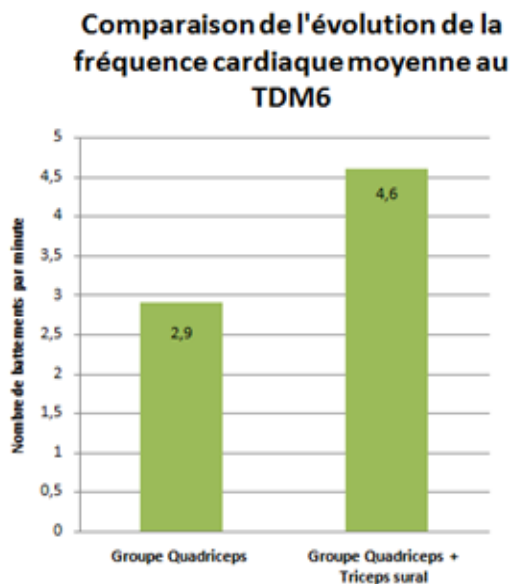


Diagramme 7

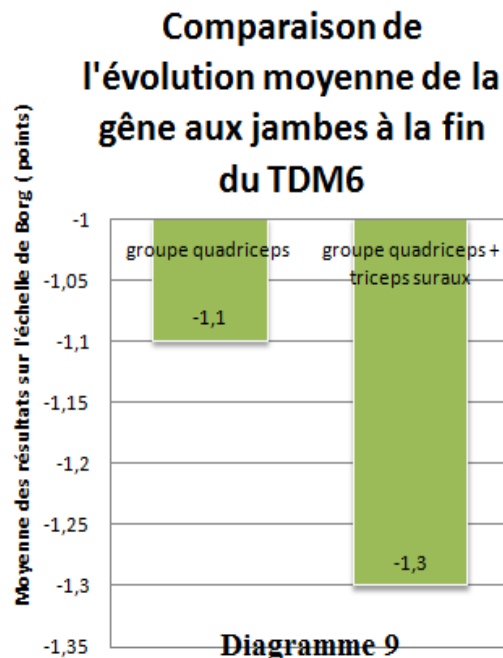


Diagramme 9

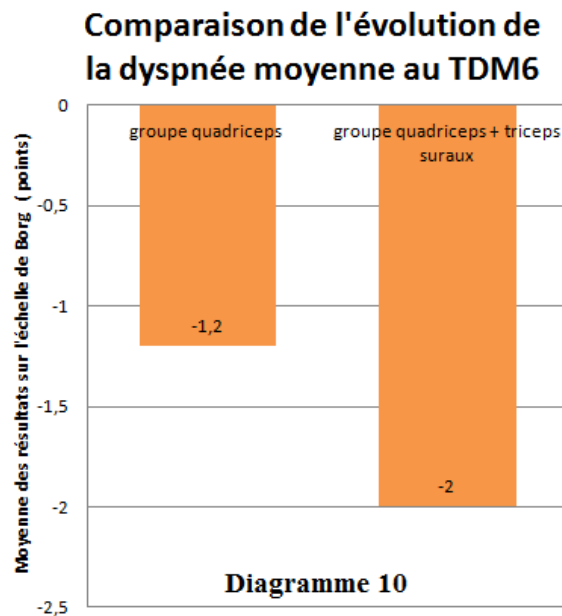
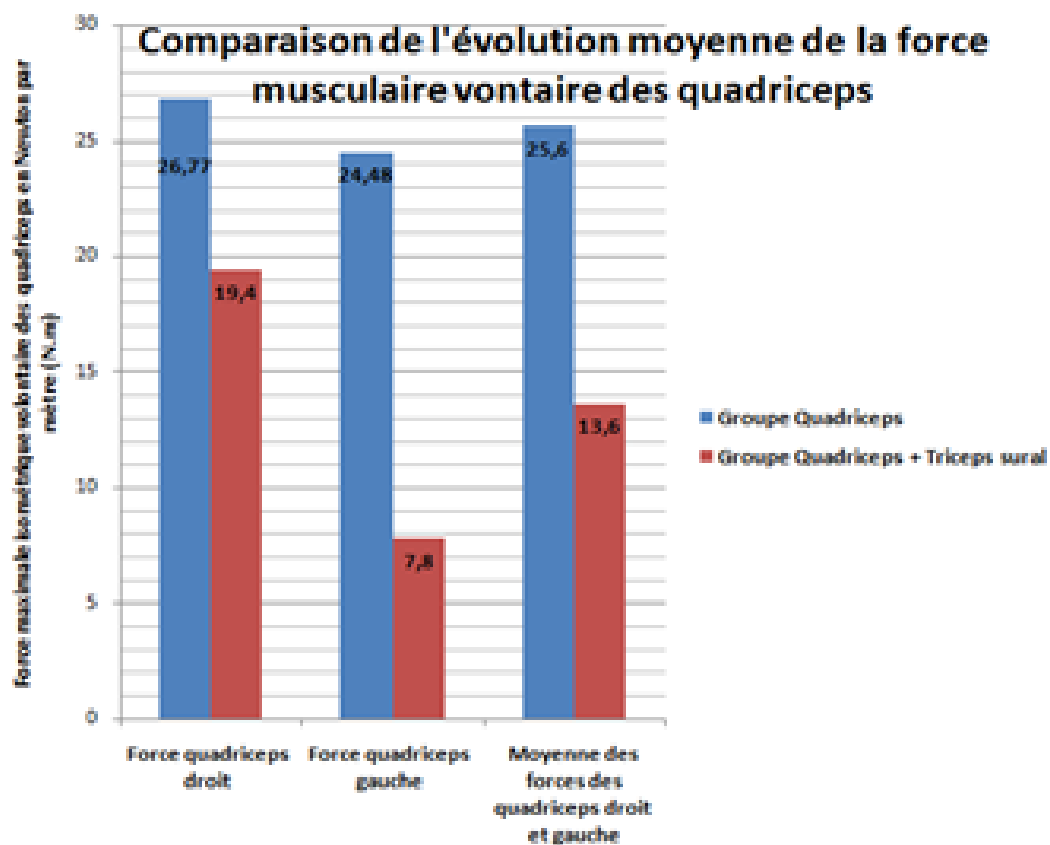
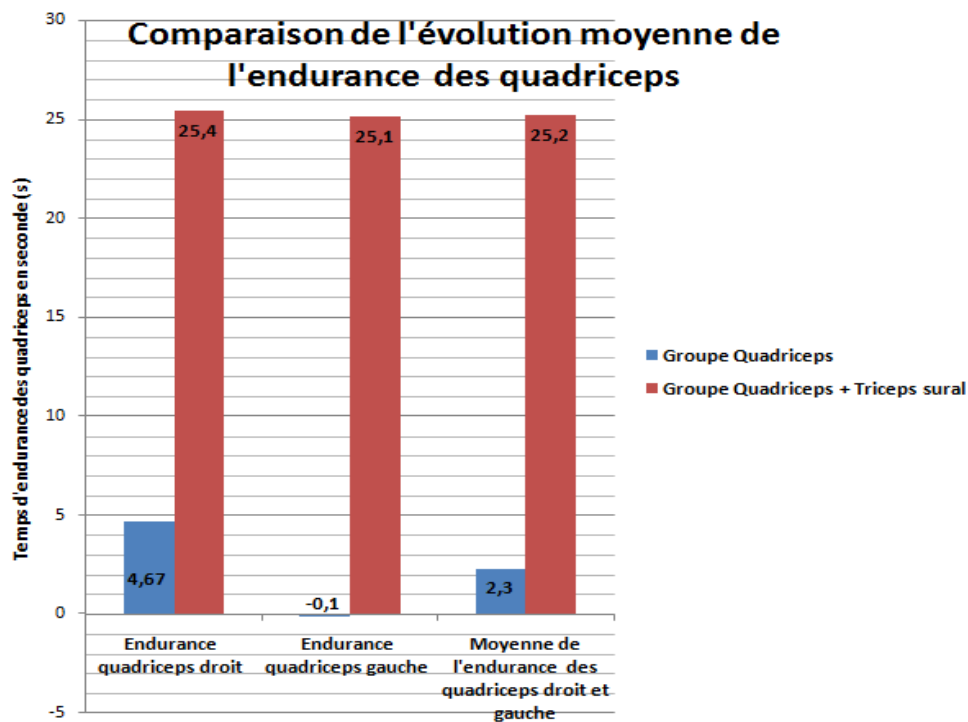


Diagramme 10

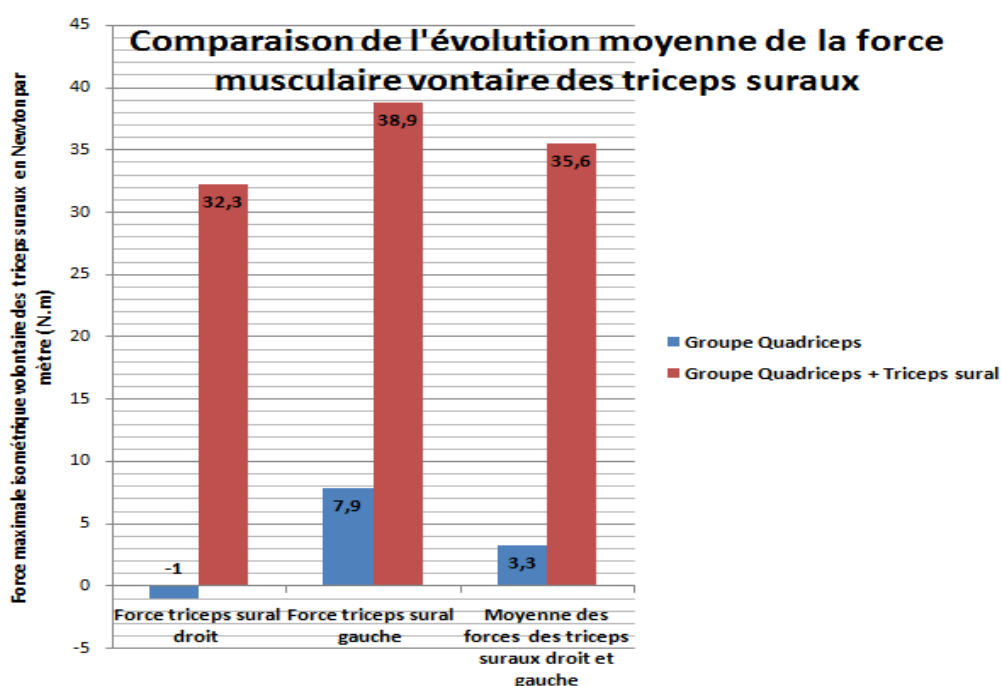
ANNEXE XXII : Comparaison de l'évolution moyenne de la force des quadriceps



ANNEXE XXIII : Comparaison de l'évolution moyenne de l'endurance des quadriceps



ANNEXE XXIV : Comparaison de l'évolution moyenne de la force des triceps suraux



ANNEXE XXV : Diagramme comparatif de l'évaluation de la qualité de vie

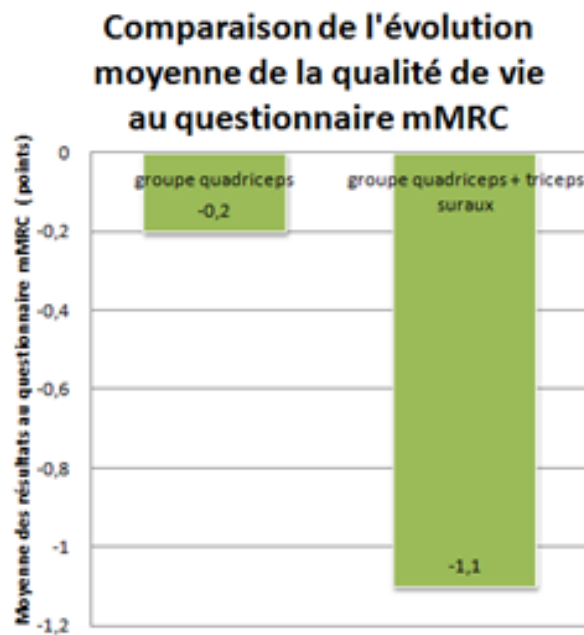


Diagramme 15

