

Université de Franche-Comté
U.P.F.R. Sports Besançon

Master 2 RECHERCHE :
Entraînement Management Ingénierie du Sport

**Etudes de deux techniques de
récupération :
La Cryostimulation et le Bol d'Air
Jacquier®**

Hassenfratz Claire

Sous la direction de Frédéric GRAPPE

Sous la co-direction de Gilles Ravier

Année universitaire 2012-2013

Remerciements

A Frédéric Grappe pour m'avoir fait confiance dans la mise en place du projet, pour son aide et ses réflexions constructives

A Gilles Ravier pour son aide, ses conseils, sa disponibilité ainsi que pour le partage de sa rigueur scientifique

A Matthieu Nadal et aux cyclistes du Pôle Espoir de Besançon pour m'avoir permis de mener à bien ce travail

A tous les joueurs de handball de l'équipe ProD2 de Besançon qui ont fait preuve d'une grande disponibilité

A Romain Bouzigon pour sa précieuse aide lors des tests

A ma famille pour leur soutien

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION	5
1.	La fatigue	6
2.	La récupération	7
II.	REVUE DE LA LITTERATURE	8
1.	Les méthodes de récupération par refroidissement corporel	8
2.	Cas particulier de la Cryostimulation Corps Entier	13
3.	Le Bol d'Air Jacquier® comme moyen de récupération ?	25
4.	Présentation des objectifs de l'étude	28
III.	METHODE	29
1.	Un outil non invasif d'analyse de la récupération : la variabilité de la fréquence cardiaque	30
2.	Etude 1	34
a)	Sujets	34
b)	Protocole	34
c)	Variables analysées	35
d)	Analyse statistique	37
e)	Résultats	38
f)	Discussion	42
3.	Etude 2	43
a)	Sujets	43
b)	Protocole	43
c)	Variables analysées	44
d)	Analyse statistique	46
e)	Résultats	48
f)	Discussion	54

IV. DISCUSSION GENERALE55
V. CONCLUSION GENERALE58
BIBLIOGRAPHIE59
ANNEXES68

I. INTRODUCTION

Le domaine de l'entraînement sportif a considérablement progressé notamment en ce qui concerne la programmation des charges d'entraînement. Les principes fondamentaux sont bien connus : individualisation, spécificité, réversibilité, progressivité, alternance cyclique, périodicité... En revanche, la récupération du sportif avait été délaissée. Elle était souvent laissée à la charge de l'athlète sans que l'entraîneur n'intervienne. Mais depuis quelques années, les procédés de récupération sont très utilisés dans le milieu de l'entraînement mais les mécanismes sous-jacents sont nettement moins élucidés. D'où l'intérêt des recherches actuelles et futures.

Il existe différentes modalités de récupération qui peuvent être appliqués au sportif afin de réduire le temps nécessaire pour retrouver, après un entraînement ou une compétition, le niveau initial de performance. Parmi ces techniques on peut citer la récupération active, les étirements, l'électrostimulation, les massages, l'immersion dans l'eau froide ou en bains contrastés, la compression, la relaxation, la cryostimulation, l'oxygénothérapie... Ceci n'est évidemment qu'une liste non exhaustive de méthodes de récupération à la disposition du sportif.

Toutefois sur le plan scientifique, certaines techniques suscitent encore un grand nombre de question.

Le but de ce travail est de recenser les techniques de récupération qui existent puis de mieux comprendre les mécanismes de deux techniques spécifiques : La Cryostimulation et le Bol d'Air Jacquier®.

La Cryostimulation est un système de refroidissement corporel par exposition du sujet pendant quelques minutes (2 à 3) à un froid sec (-110 à -170°C). Le Bol d'Air Jacquier® est un diffuseur d'huile essentielle de pin (Oresine®) préalablement oxydée.

Pour débiter, une synthèse bibliographique permettra de présenter rapidement certaines techniques de récupération puis de dresser un état de l'art de ces deux techniques de récupération (Cryostimulation et Bol d'Air Jacquier®). Nous poursuivrons par la méthodologie de recherche mise en place pour mener à bien ce travail. Pour finir, nous présenterons les résultats d'études préliminaires menées durant cette année dont une partie a été présentée au colloque de Dijon (3^{ème} journée Gilles Cometti).

1. La fatigue

Chennaoui et *al.* (2004) (22) définit la fatigue comme un état résultant de contraintes physiologiques et psychologiques aboutissant à une diminution des performances physiques et mentales. Edwards (1983) (29) la définit comme ayant une origine multifactorielle et se traduisant par l'incapacité à soutenir un effort maximal ou escompté. La fatigue qui intéresse les sportifs est une fatigue aiguë qui affecte les individus sains, qui a des origines identifiables (un exercice physique) et qui est perçue comme normale. Elle est donc réversible et disparaît avec un repos approprié ce qui permet de la distinguer de celle liée aux dommages musculaires.

On parle de plusieurs moyens de se fatiguer par l'exercice car elle peut-être de deux types ; centrale ou périphérique. La fatigue centrale concerne les dysfonctionnements neuronaux et donc l'altération du système nerveux. La fatigue périphérique concerne la fatigue musculaire et donc l'atteinte du système musculo-tendineux. Les principaux phénomènes explorés à l'origine de cette fatigue périphérique sont : le système énergétique (ATP-PCr, la glycolyse et le système oxydatif), l'accumulation de sous métabolites comme le lactate et les ions H⁺ et enfin l'altération des mécanismes contractiles.

Les facteurs pouvant expliquer la fatigue sont nombreux et peuvent s'associer et agir en synergie (cérébral, neuromusculaire, musculaire, cardio-respiratoire, psychologique...). Les mécanismes de la fatigue dépendent du type et de l'intensité de l'exercice, du type de fibres recrutées, du niveau d'entraînement du sujet ainsi que de son alimentation. Il reste donc de nombreuses questions en suspens la concernant.

La fatigue serait en quelque sorte un système de sécurité permettant de protéger la santé (Atlan G.). Elle avertit l'individu de la nécessité de récupérer en indiquant un état de stress diminuant les capacités fonctionnelles initiales. La limite entre cette stimulation de l'organisme à s'adapter aux stress subis et le dépassement de ses capacités de récupération est faible (Budgett 1998) (19).

Penser à la récupération permettrait alors d'éviter une accumulation chronique de fatigue et donc de surrentraînement. En effet Petitbois et *al.* (2001) (61) définissent le surrentraînement comme résultant d'une balance négative entre la fatigue induite par les charges d'entraînement et les capacités de récupération de l'organisme.

2. La récupération

L'ensemble des séances d'entraînement et des compétitions engendre un ensemble de perturbations physiologiques qui concourent à l'état de fatigue. L'état de fatigue est un processus nécessaire pour s'adapter et ainsi répéter une performance, et même l'améliorer.

Le temps nécessaire au retour à des valeurs de repos (restitution totale) des différents paramètres physiologiques modifiés par l'exercice peut être défini comme étant « la période de récupération » (Guezennec).

La durée de la période de récupération est intimement liée à la nature de la fatigue, qui peut être variable selon le type et l'intensité de l'exercice, la durée, le niveau d'entraînement de l'athlète ou encore les conditions environnementales.

Pour améliorer la récupération et restaurer plus rapidement les capacités initiales, il existe plusieurs stratégies de récupération.

Dans un premier temps, la problématique pour le sportif actuel est de savoir laquelle choisir en fonction de l'activité sportive pratiquée (et donc de la fatigue générée) et du temps dont il dispose avant la prochaine échéance sportive (Pournot 2001). Ensuite, l'émergence de ces nombreuses techniques associée à la diversité des protocoles proposés rend complexe le choix d'une technique précise. Enfin, sur le plan scientifique, nombreuses sont les techniques qui suscitent encore un grand nombre de questions.

Nous allons donc recenser les différentes méthodes de récupération qui existent et en faire une brève description.

Les méthodes de récupération les plus courantes et les plus utilisées sont la récupération active, les étirements, les massages, l'électrostimulation ou encore la relaxation.

Actuellement, les données issues de la littérature, même si quelque peu mitigées (pas de consensus quant à leurs effets positifs), encouragent l'utilisation des techniques de refroidissement post exercice (post-cooling). Parmi les techniques utilisant le froid, on distingue celle par thérapie locale : obtenu par poche de glace, avec un gilet munis d'accumulateurs thermique, par immersion d'un membre ou de plusieurs membres, refroidissement par air ventilé, et celle corps entier : cryostimulation (ou cryothérapie).

L'apparition de nouvelles techniques comme le port de vêtements de compression (chaussette, manchon, collant, tee-shirt...), les plateformes vibrantes ou l'oxygénothérapie sont d'autres techniques, relativement récentes, qui peuvent être utilisées mais dont les effets restent encore à établir.

II. REVUE DE LA LITTERATURE

1. Les méthodes de récupération par refroidissement

Refroidissement par accumulateurs thermiques ou poches de glaces

Le refroidissement corporel a été utilisé avant exercice dans le but d'évaluer les effets sur la performance. Une étude de Castle et *al.* en 2006 (21) a eu pour but d'étudier les effets de différentes méthodes de refroidissement avant un exercice sur un test de répétition de sprint sur ergocycle chez des joueurs de sports collectifs (football et rugby) dans un environnement où la température était de $33.7 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ et avec $51.6 \pm 2.2\%$ d'humidité. Les auteurs ont comparé les effets sur la performance des sujets d'un refroidissement systémique causé par un gilet munis d'accumulateurs thermiques (température en surface : $10.7 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$), d'un refroidissement musculaire en plaçant des packs de glace (température en surface : $-16 \pm 5.8^{\circ}\text{C}$) et d'un refroidissement systémique et musculaire avec immersion du corps entier des sujets dans un bac d'eau froide ($17.8 \pm 2.1^{\circ}\text{C}$). Ces conditions ont également été comparées à une condition contrôle sans refroidissement. Il s'est avéré que les effets négatifs des contraintes thermiques sur la puissance développée lors des sprints n'ont été ressentis que pour la condition contrôle. Au niveau de la récupération il a été relevé que seuls les refroidissements par immersion et par packs de glace avaient un effet bénéfique sur la diminution de la température musculaire et sur les contraintes physiologiques liées à la température environnementale. Enfin le résultat le plus significatif a été l'augmentation de la puissance moyenne développée d'environ 4% pour la condition refroidissement avec packs de glace par rapport au groupe contrôle.

Refroidissement avec un gilet munis d'accumulateurs thermiques

Le refroidissement à l'aide d'un gilet de refroidissement par eau froide (2) ou munis d'accumulateurs thermiques (4, 11, 12, 21, 38, 79) a été utilisé dans le milieu de la performance sportive. Uckert et *al.* en 2007 (79) ont démontré l'amélioration de la performance sur une épreuve d'endurance en course à pied dans un environnement chaud ($30-32^{\circ}\text{C}$, 50% d'humidité) lorsque le sujet porte une veste refroidissante ($0-5^{\circ}\text{C}$ contre la peau) pendant 20 minutes avant le départ du test. Ce type de refroidissement corporel avant exercice s'est montré plus efficace que la condition contrôle et que la condition échauffement. Cette dernière s'est au contraire montrée néfaste pour la performance en

environnement chaud. Dans cette étude, l'augmentation de la performance a été corrélée à la diminution de la température cutanée. L'étude d'Arngrimsson et *al.* (4) en 2004 a mis en avant le fait que le port d'un gilet refroidissant munis de pack de glace pendant un échauffement de 5km sur tapis de course augmentait la performance dans un environnement chaud (32°C – 50% d'humidité). Ils ont observé une réduction des contraintes thermiques et cardiovasculaires et de la perception de l'inconfort thermique.

Refroidissement par immersion d'un membre

Le refroidissement par packs de glace a été utilisé pour étudier la vitesse de conduction nerveuse motrice et sensorielle. Herrera et *al.* (38) ont comparé trois modalités de refroidissement sur le mollet de jeunes sujets sportifs : le refroidissement par massage avec de la glace, le refroidissement avec pack de glace et le refroidissement par immersion. Certains sujets ont dû réaliser un exercice de 15 minutes de marche après refroidissement suivi de 15 minutes de repos assis et les autres sont restés assis pendant 30 minutes. Les auteurs ont ainsi pu déterminer que le refroidissement par immersion était la méthode la plus efficace pour maintenir la diminution de la vitesse de conduction nerveuse (notamment sur les nerfs sensoriels). Le même constat a été fait pour les sujets qui restaient assis au repos 30 minutes après le refroidissement. L'activité de marche après refroidissement accélérât la récupération de ces vitesses de conduction nerveuse motrice et sensorielle.

Le refroidissement par immersion des mains et avant-bras (11, 13) a également largement été étudié.

Barr et *al.* (10) en 2009 ont d'ailleurs couplé le refroidissement des mains et avant-bras avec un gilet refroidissant et ont démontré une efficacité encore plus importante qu'avec seulement l'immersion des bras et avant-bras seuls lors d'une simulation de lutte contre l'incendie chez des sapeurs-pompier.

En revanche dans une autre étude plus récente réalisée par les mêmes auteurs en 2011 (12), ils ne trouvent pas d'effets plus importants pour les conditions veste et immersion des bras et avant-bras par rapport à l'immersion seul des bras et avant-bras. Cette étude a permis de mettre en avant une diminution de la fréquence cardiaque significativement plus conséquente avec les conditions de récupération immersion des bras et avant-bras et immersion des bras et avant-bras + veste refroidissante que pour les conditions contrôles et veste seule. La température cutanée moyenne était également plus basse avec les méthodes

de cooling que pour la condition contrôle lorsque les agents entraient à nouveau dans la chambre de simulation.

Refroidissement des membres

Diverses études des effets du refroidissement de plusieurs parties du corps sur la performance ont été menées.

Ainsi nous avons pu voir dans l'étude d'Amorim et *al.* en 2010 (1) que le refroidissement des paumes de main à l'aide d'un dispositif d'échange thermique rapide ne permettait pas de retarder la manifestation de l'hyperthermie lors d'un exercice de course sur tapis de course.

A contrario une étude de Hsu et *al.* en 2005 (39) diminuait plus rapidement la température tympanique, la concentration de lactate sanguin, la VO₂ lors d'un test sous maximal et réduisait le temps de course pour un exercice de cyclisme de 30 km/h. De même que l'étude de Grahn et *al.* (33) en 2005 montrait que ce dispositif permettait de ralentir l'augmentation de la température œsophagienne lors d'un exercice de marche sur tapis dans un environnement chaud (40°C). La durée de l'exercice était également augmentée.

Un refroidissement de la tête et de la nuque lors d'un effort de 45 minutes en course à pied à 21°C a été étudié par Gordon et *al.* (32). L'étude a démontré que ce système de refroidissement permettait d'induire une réduction du stress thermique liée à la chaleur lors de l'effort.

Une étude de l'influence de jambières refroidissantes placées sur les cuisses lors d'une succession de deux exercices de contre la montre sur ergocycle a été menée par De Pauw et *al.* en 2011(25). Ceux-ci n'ont pas trouvé de différences significatives sur la performance pour un refroidissement des jambes avec des températures de 0 et de 10°C en comparaison à une condition contrôle. Ils ont même mis en avant que la récupération active seule était sensiblement plus efficace sur la performance que la récupération active doublée d'un refroidissement des jambes à 0°C avec le port de bas de compression.

Refroidissement à l'aide de ventilateurs

Les effets d'un refroidissement à l'aide de ventilateurs pendant un exercice ont été étudiés sur la perception de l'intensité de l'effort. Armada Da Silva et *al.* (2004) (2) ont comparé les effets d'une récupération assis à l'intérieur d'un sauna (75°C) à une récupération à

température ambiante (35°C) sur la perception de l'intensité de l'effort des sujets. L'exercice proposé était un exercice sur ergocycle de 14 minutes à une moyenne de 63% de la puissance maximale aérobie (PMA) des sujets dans un environnement à 35°C.

Les sujets ont réalisé une deuxième fois le test avec cette fois-ci un ventilateur en face de leur visage, qui, combiné à un spray de gouttelettes d'eau, devait les rafraîchir.

L'étude rapporte que l'hypothermie est une cause de l'élévation de la perception de l'intensité de l'effort lors d'un exercice sous-maximal dans un environnement chaud et que les effets de l'augmentation de la température centrale pouvaient être modulés par ce type de refroidissement facial.

Simmons et *al.* en 2008 (70) ont réalisé le même type d'étude et en ont également conclu que la température centrale jouait un rôle important dans la perception de l'intensité de l'effort et que le refroidissement de la tête avant l'exercice dans un environnement chaud (sauna : 68°C) permettait une atténuation de cette élévation de la température centrale et avait donc un rôle positif sur la perception de l'intensité de l'effort.

Barwood et *al.* en 2009 (13) ont mis en avant l'efficacité du refroidissement par ventilation du corps entier après un exercice sur tapis de course. Leur étude a mis en avant que ce système de refroidissement avait des effets plus importants sur la réduction de la température centrale par rapport à une condition contrôle, mais aussi à d'autres méthodes de refroidissement comme l'immersion des mains, la ventilation du visage, le port d'une veste refroidissante munie d'accumulateurs thermiques, le port d'une veste ventilée, ou le port d'une veste de refroidissement liquide.

Lors de trois matchs de football sous une contrainte thermique de chaleur (34°C - 64% d'humidité), Bandelow et *al.* (5) ont imaginé un système de refroidissement sous une tente par pulvérisation d'eau à 12°C. Des ventilateurs étaient placés aux quatre coins de la tente et étaient chargés de faire circuler l'air à l'intérieur de la tente. Les auteurs ont relevé, par le biais de tests cognitifs, que l'augmentation de la température avait un effet négatif sur la vitesse de réponse, sur le traitement de l'information visuelle et sur la mémoire de travail.

Le système de cooling mis en place leur a permis de constater que la rapidité des joueurs lors des tests visuomoteurs était plus importante pour la condition refroidissement que pour la condition contrôle.

Résumé des différentes études

Toutes ces études et ces méthodes montrent que le refroidissement corporel fait partie des thématiques actuelles dans la recherche de méthodes thérapeutiques plus efficaces et dans la recherche de l'optimisation de la performance sportive.

Depuis les années 1980, les études montrent qu'une nouvelle méthode de refroidissement corporel par cryostimulation du corps entier (CCE) se développe. Cette méthode va être détaillée dans la partie suivante.

2. Cas particulier de la Cryostimulation Corps Entier

La Cryostimulation Corps Entier (CCE) (utilisée chez le sujet sain tandis que la cryothérapie peut nommer la technique de refroidissement appliquée au patient comme procédé thérapeutique) est un système de refroidissement corporel par exposition du sujet pendant quelques minutes (2 à 3) à un froid sec (-110 à -170°C). Cette technique fut mentionnée pour la première fois en 1979 lors du congrès européen de rhumatologie à Wiesbaden par le professeur Japonais Yamauchi et développée en Europe par les professeurs Fricke en Allemagne et Zagrobelny en Pologne.

Initialement, cette technique était utilisée comme traitement pour soigner les douleurs dues aux rhumatismes et à l'arthrite. Cette technique s'est généralisée à d'autres pays tels que l'Ukraine, la Russie, l'Autriche, la Finlande, la République Tchèque. La France s'est initiée à cette technique dans les années 2000.

Lors de ces dix dernières années, l'application de la CCE s'est ensuite étendue à d'autres pathologies comme les blessures sportives et les syndromes inflammatoires.

L'idée principale de la CCE est de stimuler les mécanismes de lutte contre le froid qui vont avoir des effets positifs sur notre corps.

Cette méthode nécessite une chambre cryogénique spécialisée qui permette de faire descendre la température jusqu'à -170°C. Le traitement consiste à exposer le sujet une dizaine de fois à des températures comprises entre -110°C et -160°C.

Au regard de la littérature, la CCE a une influence sur :

- La capacité antioxydante
- L'hématologie
- Le système immunologique et les syndromes inflammatoire
- Le système hormonal
- Les marqueurs cardiaques
- La fonction cardiorespiratoire
- La sensibilité somatique
- Les états d'anxiété et de dépression
- La mobilité spinale
- La performance sportive

Influence de la CCE sur la capacité antioxydante

L'activité physique induit une augmentation de la production de radicaux libres, ce qui a pour conséquence de créer un stress oxydatif, principalement dû à la peroxydation lipidique qui contribue à la dégradation des membranes (8). En réponse à cette agression, le corps va mobiliser le système antioxydant, pour diminuer les effets potentiellement dangereux des molécules oxydatives, le stress oxydatif étant désormais connu comme un facteur impliqué dans le développement de plusieurs pathologies telles que le cancer, la maladie d'Alzheimer et l'arthrite.

La CCE semble avoir un effet positif sur le stress oxydant lié à la pratique physique. Lubkowska et *al.* (46) ont observé en 2008 une modification du rapport pro-oxydant – antioxydant après une exposition de 3 minutes à -130°C chez 15 sujets masculins sains, 1) à une diminution de l'activité oxydante 30 minutes après l'exposition et cette activité va rester faible après 24h, 2) à la diminution de l'activité antioxydante immédiatement après exposition mais qui en revanche augmente après 24h. Ces auteurs (50) observaient qu'une cure de 10 expositions de 3 minutes à -130°C provoquait un stress et, en répétant les expositions, entraînait l'activation des mécanismes de défense antioxydants. Dugué et *al.* (2005) (27) ont également observé cette augmentation significative de l'activité antioxydante après 2 minutes d'exposition à -110°C, à raison de 3 fois par semaine pendant 3 mois, chez des femmes en bonne santé. Pour les auteurs la mise en place de ces mécanismes de défense par la cryostimulation pourrait être une explication de l'augmentation de la tolérance au froid et d'une meilleure protection contre le stress oxydatif chez les sujets ayant effectués le traitement.

Une étude récente de Miller et *al.* (2012) (57) confirme la diminution du stress oxydatif grâce à la CCE. En effet ils ont démontré que 10 jours d'expositions successifs à une température de -130°C et pendant 3 minutes augmentait significativement l'activité antioxydante, la concentration d'acide urique dans le plasma et de l'enzyme superoxyde dismutase dans les érythrocytes. De plus les auteurs n'ont pas observé d'augmentation de l'enzyme TBARS, produit de la peroxydation lipidique qui témoigne de la présence des radicaux libres.

Wozniak et *al.* en 2007 (82) ont démontré, chez des kayakistes de haut niveau, qu'une session de CCE avant chaque entraînement, diminuait l'activité oxydante lié à l'activité physique de même que l'apparition des radicaux libres. L'activation des mécanismes

antioxydants due à la CCE avant l'effort contribuerait à limiter l'apparition de l'activité oxydative pendant l'exercice.

Chez les sujets atteints de sclérose en plaque, maladie neurologique auto-immune chronique du système nerveux central, et dans laquelle le stress oxydatif joue un rôle majeur, Miller et *al.* (57, 58) mettent en avant l'augmentation significative de l'activité antioxydante. Ils démontrent que la CCE permet de diminuer le stress oxydatif chez les patients atteints de sclérose en plaque, et notamment chez les patients dépressifs. Une exposition à -130°C à raison de 3 minutes par jour pendant 10 jours améliore la capacité antioxydante de l'organisme.

La CCE a des effets bénéfiques sur la balance pro oxydante-antioxydante, notamment chez les sujets sportifs et pour des patients atteints de sclérose en plaque. Elle peut être à l'origine d'un stress oxydatif chez le sujet sain, sédentaire (47), mais un stress très léger et qui va permettre d'activer, et donc d'améliorer, les mécanismes de défenses du système antioxydant.

Influence de la CCE sur l'hématologie

Banfi et *al.* (2008) (8) ont étudié l'influence de la CCE sur les paramètres hématologiques et notamment sur la concentration de leucocytes, érythrocytes, réticulocytes, hémoglobines et plaquettes. Pour cela 10 rugbymens ont effectué 5 sessions de CCE (une par jour) pendant 2 minutes à -110°C. Les sessions de CCE étaient effectuées après l'entraînement habituel quotidien de 3h. La CCE n'a impliqué aucune modification sur les concentrations de leucocytes, érythrocytes, réticulocytes, et plaquettes. En revanche une baisse de la concentration corpusculaire en hémoglobines a été relevée.

Une autre étude de Banfi et *al.* (2008) (7) démontre qu'il n'y a pas d'augmentation du taux d'hémoglobine due à la CCE.

En revanche, les résultats d'une étude de Dybek et *al.* (2012) (28) ayant pour objectif d'évaluer l'impact de 10 sessions (3 minutes, -130°C) de CCE sur la capacité aérobie et anaérobie ainsi que sur certains paramètres sanguins ont démontré une hausse significative des paramètres hématologiques (globules rouges, globules blancs, concentration d'hémoglobines et plaquettes) aussi bien chez les hommes que chez les femmes (sauf pour le taux d'hématocrite qui n'est pas significativement supérieur après les 10 sessions de cryostimulation).

Lubkowska et *al.* en 2010 (48), ont observé, eux, que la CCE à raison de 15 expositions (15 jours), pendant 3 minutes à -130°C, sur 25 hommes, diminuait de façon significative la concentration en hémoglobine et en érythrocyte. Une augmentation significative du nombre de leucocyte a également été relevée.

Suite à 10 sessions de CCE, Klimek et *al.* (2010) (41) ont démontré plusieurs modifications des paramètres sanguins. En effet une diminution du nombre d'érythrocyte chez les 15 sujets féminins a été relevée. De plus le taux d'hématocrite ainsi que la concentration en hémoglobine a significativement diminué. En revanche il n'y avait aucun changement du nombre de leucocytes et de thrombocytes. La même chose a été trouvée chez les 15 sujets masculins.

Les résultats concernant la modification des paramètres hématologiques (nombre de leucocytes, réticulocytes, érythrocytes, plaquettes, taux d'hémoglobine et d'hématocrite) suite à une ou plusieurs sessions de CCE restent relativement divergeant selon les auteurs, cela laisse une ouverture à d'autres études sur le sujet.

Influence de la CCE sur l'immunologie et les syndromes inflammatoires

Les marqueurs immunologiques couramment étudiés sont l'immunoglobuline (IgA et IgM) et la Protéine C-Réactive (CRP). Le syndrome inflammatoire est étudié à partir des concentrations plasmatiques en cytokines pro et anti inflammatoires.

L'exposition au froid a un effet sur la concentration lymphocytaire, des monocytes et d'interleukine IL-6 (rôle anti-inflammatoire) dans le plasma puisqu'il a été observé que ces concentrations étaient plus importantes chez des nageuses en eau froide que chez des nageuses inexpérimentées pour ce type de pratique. Les heures passées dans cet environnement froid peuvent être la cause de cette différence (27).

Banfi et *al.* en 2009 (6) démontre une légère augmentation, mais qui n'est pas significative, de la concentration des cytokines anti-inflammatoires dans la circulation périphérique pour une équipe de rugbymans professionnelles qui était exposée 5 fois par semaine (une seule exposition par jour) à une température de -110°C pendant deux minutes. La CCE ne serait alors pas caractérisée par la modification de marqueurs immunologiques, elle n'aurait alors pas d'effet sur le système immunologique. Les auteurs expliquent ces résultats par la courte période d'évaluation de l'étude.

En revanche, Lubkowska et *al.* (2011) (49) démontrent qu'à partir d'une dizaine d'exposition à une température de -130°C pendant 2 minutes, il y a une augmentation de la

concentration des cytokines anti-inflammatoires IL-6 et IL-10 et une diminution de la concentration en cytokines pro-inflammatoires IL-1 α . Il semblerait, d'après cette étude, que 20 expositions soient plus efficaces que 10, 5 expositions n'étant pas suffisantes pour constater des changements significatifs.

Le même constat a été fait chez des coureurs à pied qui ont dû effectuer deux exercices de simulation de course sur tapis à un mois d'intervalle. Les exercices étaient suivis soit d'une récupération passive, soit d'une récupération par CCE (-110°C – 3 minutes). Les auteurs ont noté que la CCE était efficace dans la réduction du processus inflammatoire en raison d'une vasoconstriction au niveau musculaire, d'une diminution des cytokines pro inflammatoires et une augmentation des cytokines anti-inflammatoires (62).

Leppaluoto et *al.* (2008) (45) ne trouvent pas de différences significatives dans la concentration plasmatique des IL-1 β , IL-6, ou des TNF α (cytokine pro inflammatoire) pour l'exposition de femmes en bonne santé à raison d'une exposition à -110°C pendant 2 minutes, une fois par semaine et pendant 12 semaines.

Pour que le traitement par cryostimulation induise une réaction positive sur le système immunologique et la capacité anti-inflammatoire, il faudrait donc un minimum de 10 expositions avec plus d'une exposition par semaine.

Les différentes études montrent que la CCE participe au renforcement du système immunologique et à la diminution des syndromes inflammatoires.

Influence de la CCE sur le système hormonal

Diverses études relatent des effets de la cryothérapie sur les hormones, notamment sur les hormones de stress (ACTH, adrénaline, endorphine, cortisol), les hormones stéroïdiennes (DHEA-S, testostérone, œstradiol, LH, cortisol), les hormones thyroïdiennes (T3, T4, TSH) et enfin l'hormone de croissance GH.

Smolander et *al.* en 2009 (72) ont étudié l'effet de la CCE sur l'hormone thyroïdienne (fT3, fT4) ainsi que sur l'hormone de croissance, la thyrotropine et la prolactine. Pour cela 2 groupes de 6 femmes ont été comparés. Le groupe 1 effectuait 3 sessions de CCE (2 minutes à -110°C) pendant 12 semaines et le groupe 2 effectuait 3 sessions de nage en eau glacée (20 minutes entre 0 à 2°C) pendant 12 semaines également. Aucun changement sur le taux d'hormone n'a été trouvé. Les auteurs ont conclu qu'il n'y avait aucun trouble sur ces hormones pour des femmes saines suite à une exposition à des températures cryogéniques.

Une autre étude de Korzonek-Szlacheta et *al.* en 2007 (43) a montré l'influence de la CCE, chez 22 footballeurs professionnels, sur les taux d'hormones stéroïdiennes. Ces footballeurs ont effectué 10 sessions de CCE (2-3 minutes, -100°C). Après les 10 sessions, une diminution significative du taux de testostérone ainsi que du taux d'œstradiol a été relevée. A contrario, il n'y avait aucun effet sur le taux de LH (luteinizing hormone) et de DHEA-S (dehydroepiandrosterone sulfate).

Aucune stimulation des hormones de stress comme l'ACTH, βendorphine, cortisol n'a été observée après 12 semaines de traitement (à raison de 3 séances par semaine de 2 minutes à -110°C) chez des femmes saines. En revanche après 12 semaines d'expositions, on relève une circulation accrue de noradrénaline. La stimulation de la noradrénaline apparaît surtout immédiatement après la session de cryothérapie. L'augmentation de cette hormone pourrait avoir un rôle dans la diminution de la douleur (45).

Une étude effectuée sur 63 patients atteints de polyarthrite chronique évolutive a montré qu'il y avait une augmentation du niveau d'ACTH, de cortisol et des βendorphines dans le sang après une seule session de CCE de 2 minutes entre -110 et -160°C. Cependant il n'y a aucune modification du niveau de TSH, T4, T3 et GH (84).

D'après ces études, la CCE a un impact sur le système hormonal. En effet l'exposition au froid cryogénique entraîne l'augmentation du taux de noradrénaline, d'ACTH, de cortisol et de βendorphine, hormones libérées en présence d'un stress physique, et une diminution du taux d'hormones stéroïdiennes.

Influence de la CCE sur les marqueurs cardiaques

Banfi et *al.* (2009) (9) ont effectué une étude qui se propose d'analyser les marqueurs cardiaques tels que NTproBNP, hsCRP et troponine I sur 10 rugbymens professionnels de l'équipe nationale italienne. Pour cela les rugbymens effectuaient leur entraînement quotidien qui était suivi d'une séance CCE (2' à -110°C) pendant 5 jours. Aucun effet délétère pour les fonctions cardiaques n'a été trouvé pour cette population. En effet il n'y avait aucune modification de NTproBNP (légère augmentation), hsCRP et troponine I.

D'après cette étude, la CCE n'a pas d'impact négatif sur la fonction cardiaque.

Influence de la CCE sur la fonction cardiorespiratoire

Smolander *et al.* (2006) (74) ont trouvé une légère bronchoconstriction suite à une séance de 2 minutes de CCE (-110°C, 2 minutes, 3 fois par semaine pendant 12 semaines). Il n'y aurait donc, d'après cette étude, pas d'amélioration des fonctions pulmonaires et pas d'effet nuisible de la CCE mais il faudrait tout de même prendre des précautions chez les patients asthmatiques.

A contrario, Yamauchi (1988) (83), a mis en avant que des expositions froides très intenses (jusqu'à -175°C) pendant plusieurs semaines amélioreraient le fonctionnement des poumons chez des patients asthmatiques. Enfin Engel *et al.* (1989) (30) ont observé un effet légèrement bronchodilatateur.

Après une session de CCE de 3 minutes à 130°C, il y aurait, d'après Lubbowska *et al.* (2010) (49), une augmentation de la tension systolique (19mmHg) ainsi que de la tension diastolique (6mmHg). En revanche on observe une diminution de la fréquence cardiaque (7bpm en moyenne). Il serait donc déconseillé d'utiliser la CCE pour des personnes atteintes d'hypertension.

La CCE n'aurait alors pas, d'après ces études, d'effets négatifs sur la fonction cardiorespiratoire, elle semblerait même améliorer la fonction pulmonaire chez des patients asthmatiques. En revanche il est déconseillé de l'utiliser chez des personnes atteintes d'hypertension.

Influence de la CCE sur la sensibilité somatique

L'exposition à un stress thermique comme le froid induit des adaptations physiologiques qui peuvent être caractérisées par une habitude ou une acclimatation.

Smolander *et al.* (2004) (73) ont évalué l'évolution du confort et des sensations thermiques chez des femmes en bonne santé pour une série d'exposition de 2 minutes à -110°C à raison de 3 fois par semaine sur une période de 13 semaines. Les auteurs ont relevé que l'exposition au froid, si courte soit-elle, était de mieux en mieux ressentie au fur et à mesure des sessions et devenait moins inconfortable.

Les effets de la CCE sur la température centrale et cutanée ont été observés chez des sujets sains pour une exposition de 2 minutes à -110°C. La température cutanée diminuait de manière très rapide mais remontait également assez vite. La température centrale, elle, ne diminue que très légèrement, probablement en raison de la durée d'exposition relativement

courte (80). Cholewka et *al.* (2012) (23) vont également mettre en avant cette baisse importante de la température cutanée chez 22 sujets homme et femme qui ont été exposés à -120°C pendant 3 minutes.

Selon Costello et *al.* (2012) (24), la CCE à -110°C pendant 3 minutes n'aurait pas d'influence sur la contraction isométrique volontaire, sur la puissance développée lors d'un test de sprint sur ergocycle chez 26 sujets, ni d'effet sur la proprioception. La douleur musculaire perçue à la suite d'un exercice excentrique n'est pas non plus diminuée et les auteurs n'ont pas constaté d'augmentation de la récupération de la force musculaire avec une exposition 24h après l'exercice. Les résultats de cette étude démontrent également que la CCE n'augmente pas le risque de blessure lié à la proprioception.

Hauswirth et *al.* (2011) (36) ont utilisé le système Mindeval (site internet canadien qui rassemble des questionnaires de psychologie du sport en ligne : Mindeval GydlInc. Québec, CANADA). Les sujets, après avoir effectué un effort de course à pied sur tapis de course, récupéraient selon trois types de modalités, la CCE (3 minutes à -110°C), les infrarouges ou la récupération passive. A la suite de cette récupération ils devaient répondre à un questionnaire les interrogeant sur 1) la douleur 2) la fatigue et 3) le bien-être. Les réponses étaient enregistrées avant la récupération, 1h après, 24h après et enfin 48h après. Les résultats les plus significatifs ont été que la CCE (contrairement à la récupération passive ou avec infrarouge) a permis la diminution de la douleur et de la fatigue perçue, mais pas du bien-être à 24h (plus bas en récupération passive).

Une diminution de la douleur chez des patients atteints de polyarthrite chronique, de douleur dans le bas du dos, de spondylodiscite ankylosante, d'ostéoarthrite ou encore de fibromyalgie secondaire a été obtenue suite à une exposition à la CCE de 2 minutes 30 à -105°C. Les effets de diminution de la douleur agissent à court terme, sur une période d'environ 90 minutes (57).

Une autre étude sur des patients atteints de spondylodiscite ankylosante a montré une amélioration clinique suite à 10 expositions de CCE de 2 minutes à -120°C, liée surtout à la diminution de la douleur, à une réduction des troubles du sommeil et à une meilleure relaxation (76).

D'après ces études, la CCE permettrait :

- Une acclimatation et une habitude au froid
- Une diminution rapide de la température cutanée

- Une diminution de la sensation de douleur et de fatigue après un exercice
- Une diminution de la douleur chez des patients atteints de polyarthrite chronique, de douleurs dans le bas du dos, de spondylodiscite ankylosante, d'ostéoarthrite ou encore de fibromyalgie
- Une amélioration clinique chez des patients atteints de spondylodiscite ankylosante liée à la diminution de la douleur, à une réduction des troubles du sommeil et à une meilleure relaxation

Influence de la CCE sur les états d'anxiété et de dépression

L'influence de la CCE sur la santé mentale a fait l'objet d'une publication de Rymaszewska et *al.* en 2000 (64). Elle aurait sans aucun doute une influence positive sur la disposition de l'esprit humain. En effet immédiatement après exposition, des changements de l'état mental des patients ont été observés comme par exemple une amélioration de l'humeur, de la relaxation, de l'euphorie. De plus ces changements persistent assez longtemps après la fin d'un cycle de traitement par CCE.

Rymaszewska et *al.* (2008) (65) ont également évalué l'efficacité de la CCE comme méthode complémentaire pour la dépression et les troubles de l'anxiété. Pour cela 26 malades ont une exposition par jour pendant 15 jours (2/3 minutes entre -110 à -160°C). La dépression et l'anxiété était évaluée à l'aide de l'échelle de dépression de Hamilton (HDRS-17) et de l'échelle d'anxiété de Hamilton (HARS). Les résultats suggèrent que la CCE joue un rôle positif dans le traitement de la dépression et de l'anxiété (diminution significative des notes sur les échelles HDRS-17 et HARS par rapport au groupe témoin). En effet, pour la moitié du groupe, il a été observé une réduction de 50% des notes des deux échelles. Cependant, il faudrait pouvoir étudier les causes de ces améliorations avec d'autres études (diminution de la douleur ? meilleur règlement des rythmes biologiques ?) ainsi que sur un plus grand échantillon pour appuyer ces résultats.

Ces études démontrent que la CCE a un effet positif sur la santé mentale chez des patients atteints de troubles de l'anxiété ou de dépression.

Influence de la CCE sur la mobilité spinale

Evaluer l'impact de la CCE sur les paramètres de mobilité spinale chez des patients atteints de spondylarthrite ankylosante a été l'objectif de l'étude de Stanek et *al.* en 2005

(77). Des améliorations significatives sur la mobilité spinale lombaire et thoracique des patients ont été observées après 10 séances de CCE associées à de la kinésithérapie par rapport à 10 séances de kinésithérapie seule.

Maintenant que nous avons pu résumer un état de l'art de la CCE, il est intéressant de se pencher sur la question de l'influence de celle-ci sur la performance sportive.

Influence de la CCE sur la performance sportive

Les effets de la CCE sur la capacité aérobie et anaérobie ont fait l'objet de diverses études. Klimek et *al.* (2010) (41) ont évalué les effets de la CCE sur des exercices sur ergocycle. 15 hommes et 15 femmes ont dû réaliser un test de VO_2 max pour évaluer leur capacité aérobie et un test de Wingate (30s) pour évaluer leur capacité maximale anaérobie. Les sujets ont ensuite subi un traitement de 10 expositions de 3 minutes à $-130^{\circ}C$ puis ont répété les exercices sur ergocycle. Cette étude a démontré que le traitement CCE augmentait la puissance maximale anaérobie chez les hommes (et non chez les femmes). En effet le pic de puissance développée en moyenne chez les hommes passe de $11.1W/kg^{-1}$ pour la condition contrôle à $11.9W/kg^{-1}$ pour la condition CCE, de même que la puissance moyenne développée pour le test passe de 724 à 756 W et que le travail total passe de 13,8 à 14,6 KJ. Le temps moyen mis par les sujets pour arriver à leur puissance maximale développée passe également de 6,67 secondes pour la condition contrôle à 5,92 secondes pour la condition CCE. En revanche il n'y avait pas d'impacts sur la capacité aérobie. La CCE aurait alors un impact pour les disciplines impliquant des qualités de force et de vitesse.

Une seconde étude de Klimek et *al.* (2011) (42) avec toujours 15 sujets hommes et 15 sujets femmes, a eu pour but d'évaluer les effets de la CCE sur la capacité maximale anaérobie. Cette fois-ci les sujets devaient réaliser un test de Wingate de 20 sec, puis effectuer 6 expositions, à raison d'une par jour, pendant 3 minutes à $-130^{\circ}C$. Les sujets devaient réaliser, après chaque exposition, un test de Wingate sur ergocycle. Le test était réalisé, dans un ordre aléatoire, soit 15, soit 30, soit 45, soit 60, soit 75 ou soit 90 minutes après être sorti de la chambre cryogénique. Les auteurs ont relevé une influence mineure de la CCE sur la performance sur un exercice court à intensité supramaximale chez les hommes. En effet la moyenne de la puissance développée est toujours supérieure à la suite d'une exposition que la valeur moyenne de la puissance développée avant la première exposition. Cette moyenne est la plus importante pour les tests réalisés 75 minutes après

l'exposition (838 W contre 830 W avant l'exposition). On note en revanche une diminution de la puissance moyenne développée chez les femmes, notamment à la 30^{ème} minute où elle est de 478 W contre 501 W avant l'exposition. Cette étude montre, elle aussi, une diminution du temps entre le départ du test et l'arrivée du sujet à sa puissance maximale anaérobie pour les tests réalisés à la suite d'une exposition

Westerlund et *al.* (2009) (81) ont étudié l'impact de la CCE sur la performance neuromusculaire chez 10 sujets sains. Les sujets ont été exposés 3 fois par semaine pendant 3 mois à -110°C et pendant 2 minutes. Ceux-ci ont dû réaliser, avant la première exposition, après la 4^{ème} exposition et à la fin des 3 mois, un exercice de drop-jump. Les résultats ont démontré qu'il y avait une adaptation de la fonction neuromusculaire à la CCE à la suite de plusieurs expositions. Une simple exposition diminue le temps de vol sur l'exercice du drop-jump, mais la répétition d'expositions permet de faire disparaître ce changement.

Dybek et *al.* en 2012 (28) étudient les effets de la CCE (10 expositions de 3 minutes à -130°C) sur les capacités aérobie et anaérobie de 32 sujets sportifs (16 hommes – 16 femmes). Les sujets devaient effectuer, avant et à la suite des expositions, un test incrémental sur cycloergomètre pendant lequel les échanges gazeux (VO_2 , VCO_2 , FEO_2 , $FECO_2$, VE) ont été mesurés, de même que la fréquence cardiaque et la fréquence ventilatoire. Les résultats de cette étude ne montrent pas d'influence de la CCE sur les capacités aérobie et anaérobie.

Lubkowska et *al.* (2010) (49) ne trouvent pas non plus d'influence de la CCE (15 expositions de 3 minutes à -130°C) sur la capacité aérobie pour un test de VO_2 max sur ergocycle, répété avant et après les expositions, chez 25 jeunes sujets.

Les différentes études suggèrent que la CCE a un rôle sur la performance anaérobie, sur un effort rapide et explosif. Il n'y aurait, selon elle, pas d'influence sur la capacité aérobie. Il reste en revanche pas mal de domaines à exploiter dans l'étude de l'influence de la CCE sur la performance sportive, et dans beaucoup de sports. Aucune étude à ce jour n'a, par exemple, étudié les influences de la CCE en compétition.

Conclusion sur la cryostimulation

D'après toutes ces études, la CCE semble avoir des effets 1) sur la sensibilité somatique, 2) sur la perception (effort, douleur), 3) sur les états psychologiques, 4) dans le domaine médical pour diminuer des douleurs liées à des pathologies, 5) dans l'amélioration de la récupération clinique de certaines pathologies et 6) dans le domaine kinésithérapique.

Ces techniques de CCE sont aujourd'hui en partie utilisées dans le milieu médical, mais des articles relatant des effets de ces expositions sur la performance sportive commencent à émerger. Ce nouvel engouement permettra alors de mieux comprendre les effets de celle-ci dans le domaine sportif et notamment son impact sur la récupération du sportif.

Il semble important de préciser le protocole d'exposition par l'étude des effets de la CCE : variation de la durée d'exposition, de la fréquence d'exposition et de la température d'exposition.

3. Le Bol d'Air Jacquier® comme moyen de récupération ?

Présentation

Le Bol d'Air Jacquier® (BAJ) est un dispositif mis au point par l'ingénieur/chimiste René Jacquier (1911-2010). Il lance le concept de l'oxygénation biocatalytique à l'origine du BAJ. Le but est « de stimuler les processus de régulation et d'autoguérison qui existent en nous par le biais de l'oxygénation tissulaire. »

Il est commercialisé depuis 1989 par la société *Holiste*.

Rares sont les articles scientifiques qui évoquent le Bol d'Air Jacquier, que se soit sur le dispositif ou encore sur les effets de celui-ci sur l'homme et notamment le sportif. Les articles disponibles ne sont pas des études scientifiques publiées dans des revues à comité de lecture.

L'objet de cette partie est de présenter le mécanisme du dispositif et les effets attendus par le fabricant.

Le Bol d'Air Jacquier® est un diffuseur d'huile essentielle de pin (térébenthine) appelé Oresine®. L'oresine®, essentiellement composée d' α et de β pinène. Après barbotage, elle est peroxydée par ozonification puis diffusée.



Figure 1 : Présentation du Bol d'Air Jacquier®

L'inhalation des peroxydes de terpènes vise la modification du complexe peroxy-hémoglobine (transport et libération d'oxygène).

Les rares études disponibles ont été réalisées sur des rats. Une étude réalisée en 2010 par Mercier (55) montre que les terpènes peroxydés et oxydés réduisent les concentrations de

GHL (Hémoglobine glyquées *Glucated Haemoglobin Levels*) sur des échantillons sanguins de rats après une incubation de trois heures (55).

En 2007, Mercier (56) montrait une augmentation significative du taux de GR dans le plasma et les muscles. Les mécanismes explicatifs reposaient sur une possible action du Bol d'air® à un stress positif (effet protecteur antiradicalaire ?) (54).

Il n'existe à ce jour aucune autre publication concernant le BAJ. Les bienfaits de son utilisation reposent essentiellement sur des témoignages d'individus et notamment de sportifs l'utilisant. Le bien-être, la diminution des infections respiratoires, un sommeil plus profond, une meilleure récupération, sont autant de paramètres qui alimentent les témoignages.

Utilisation du BAJ

Ce dispositif est très simple d'utilisation. Il s'agit de se placer devant l'appareil, entre 15 à 20 cm de la corolle de respiration (cf Figure 1) puis de respirer normalement. On respire alors de l'air ambiant chargé à l'Oresine®. Selon les recommandations du fabricant le temps de séance peut s'étendre de 1 à 8 minutes.

Le fabricant, conseille l'utilisation du BAJ en cure de 20 séances rapprochées à raison de 3 séances d'inhalation de 1 à 3 minutes par semaine. Mais l'idéal reste une inhalation quotidienne de 2 à 4 minutes.

La première séance doit systématiquement être courte, 1 min suffit, de façon à obtenir un premier ressenti.

- Si celle-ci est ressentie comme agréable, le sujet peut réaliser une séance supplémentaire, puis augmenter le temps d'inhalation le jour suivant.
- Si celle-ci est perturbante (impression d'être en déséquilibre, d'avoir perdu la notion du temps...), il est conseillé par le fabricant d'attendre que cette sensation s'estompe avant d'augmenter le temps des séances, les jours suivants.
- Si cette première séance est perçue comme trop forte, voir insupportable, mettre la personne à plus de 10 cm de la corolle de respiration. L'inviter à poursuivre ses séances très régulièrement et attendre que les réactions disparaissent avant d'en augmenter le temps. Proposer une fréquence quotidienne si possible.

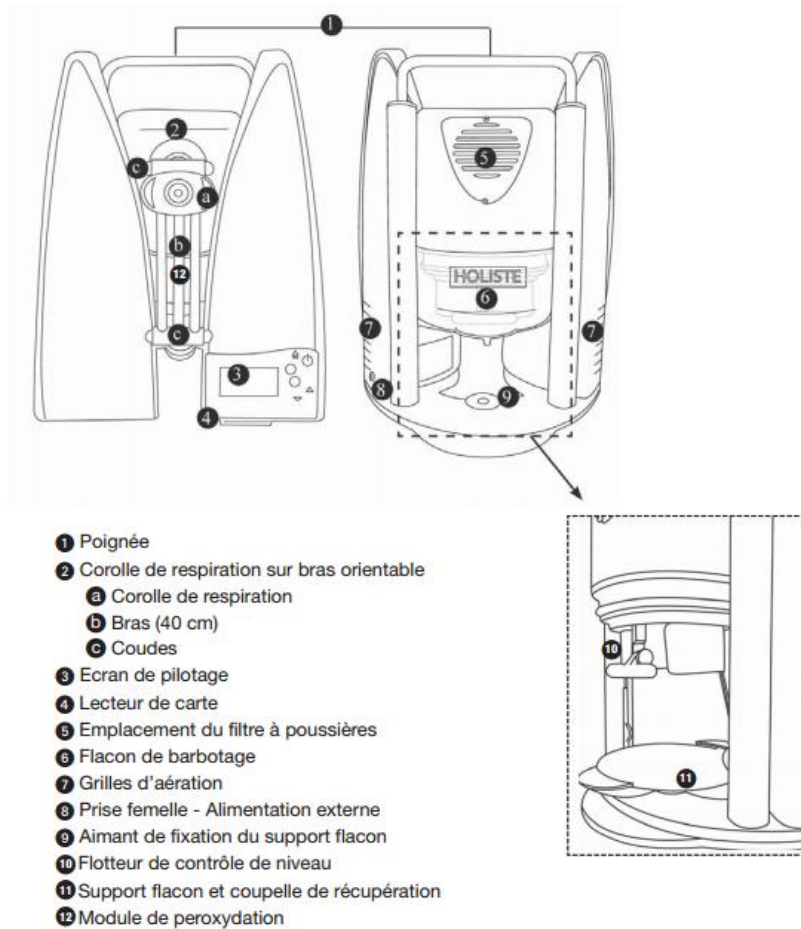


Figure 2 : Détails du Bol d'Air Jacquier®

4. Présentation des objectifs de l'étude

Etudier l'impact de ces deux méthodes sur la récupération à partir de marqueurs non invasifs a été l'objectif de ce mémoire.

Dans ce cadre là, la société qui commercialise le Bol d'air jacquier®, Holiste, nous a sollicité pour une étude sur la population de sportifs.

Le dispositif, simple d'utilisation, nous a été prêté.

Au regard de la littérature très peu d'études se sont intéressées aux mécanismes physiologiques liés à ses effets sur l'homme. Une représentation holistique de la performance sportive nous a conduit à analyser des paramètres psycho-physiologiques rendant compte de la réponse globale du sportif sur les facteurs de la récupération.

Pour étudier les facteurs impliqués dans la récupération, les marqueurs non invasifs que nous avons choisi d'étudier concerne le système nerveux végétatif ainsi que des paramètres psychologiques. Cela permet d'évaluer objectivement et subjectivement le niveau de fatigue et de récupération des sportifs.

L'étude du système nerveux végétatif a été réalisée à partir de l'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque et de la récupération.

L'évaluation perceptive de la charge d'entraînement et de la fatigue est courante dans le milieu sportif. Elle permet d'impliquer le sportif dans son entraînement pour le personnaliser le plus possible afin de contrôler l'impact de son entraînement.

III. METHODE

Deux études ont été réalisées afin d'observer les effets du BAJ sur la récupération.

La première étude avait pour objectif de mesurer l'effet du BAJ sur la variabilité de la fréquence cardiaque ainsi que sur la perception de la récupération au cours d'un stage d'entraînement en endurance de six jours chez des cyclistes du Pôle Espoir de Besançon.

La deuxième étude avait pour objectif de mesurer l'effet d'une cure de BAJ sur la variabilité de la fréquence cardiaque et sur la perception de la fatigue au cours d'une période d'entraînement de 5 semaines chez des joueurs de handball professionnels de Besançon.

1. Un outil non invasif d'analyse de la récupération : la variabilité de la fréquence cardiaque

L'utilisation de la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) pour évaluer le niveau de fatigue et de récupération des sportifs est récente. Les premières publications scientifiques sur ce thème datent des années 1998-2000.

Nous allons présenter ce qu'est la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) ainsi que les différentes méthodes de traitement permettant de l'analyser.

Le rythme cardiaque n'évolue pas d'une manière constante au cours du temps. Il existe une fluctuation battement par battement (intervalle R/R) autour d'une valeur moyenne que l'on peut appeler la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) (Task Force of the European Society of Pacing and Electrophysiology, 1996) (78).

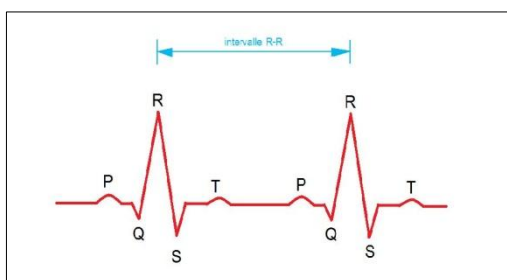


Figure 3: Onde électrique des battements cardiaques

La régulation de la fréquence cardiaque s'effectue principalement sous le contrôle neuronal, par l'activité du système nerveux végétatif. Celui-ci est composé du système sympathique et du système parasympathique qui sont antagonistes mais qui fonctionnent simultanément.

Le système sympathique qui agit par la voie des catécholamines (adrénaline et noradrénaline) est stimulateur, il permet d'accélérer le rythme cardiaque, d'activer la dégradation des réserves énergétiques et de réguler la contraction des résistances vasculaires périphériques.

Le système parasympathique régule l'homéostasie et permet la reconstitution des réserves énergétiques. Il est calmant et permet de ralentir la fréquence cardiaque (par l'action du nerf vague). Son neuromédiateur est l'acétylcholine.

Selon les conditions l'un ou l'autre système va être soit inhibé soit stimulé, la proportion entre les deux va donc varier.

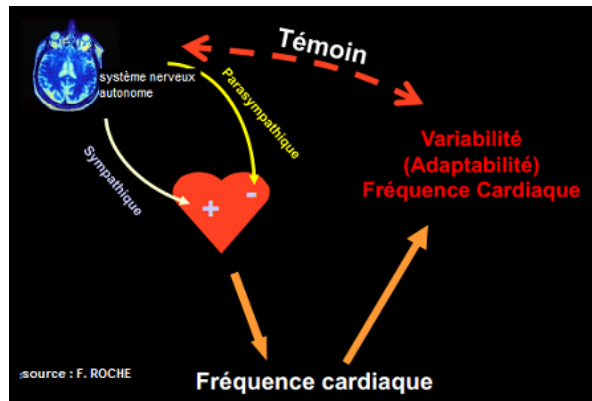


Figure 4 : Mécanismes du système nerveux végétatif

Il est actuellement possible d'observer de manière simple et non invasive cette variation à l'aide d'un cardiofréquence-mètre permettant la mesure de l'intervalle R-R. L'analyse se fera ensuite grâce à des logiciels spécifiques (par exemple Kubios-HRV).

Il existe plusieurs méthodes de traitement de la VFC (Cœur et Médecine interne ; Volume 1 ; De Boeck):

- Méthode de traitement fréquentiel du signal

Appelé aussi analyse spectrale de l'évolution des R-R en fonction du temps. Cette analyse fréquentielle permet de générer un périodogramme illustrant la répartition de densité spectrale en fonction de la fréquence des oscillations.

Il existe trois bandes de fréquences significatives :

- HF qui correspond aux hautes fréquences (0,1 à 0,4 Hz) et qui est en lien avec le système parasympathique (fonction de ralentisseur). Ces signaux de fréquences élevées envoyés au cœur ont un laps de temps entre deux impulsions de 1 à 6 secondes.
- LF qui correspond aux basses fréquences (0,004 à 0,15 Hz) et qui est en lien avec le système sympathique (fonction d'accélérateur). Ces signaux de basses fréquences envoyés au cœur ont un laps de temps entre deux impulsions de 6 à 20 secondes.
- VLF correspondant aux très basses fréquences.

Le rapport $HF / (LF + HF)$ permet d'exprimer la part parasympathique de la « balance sympathovagale » expliqué par Malliani (51).

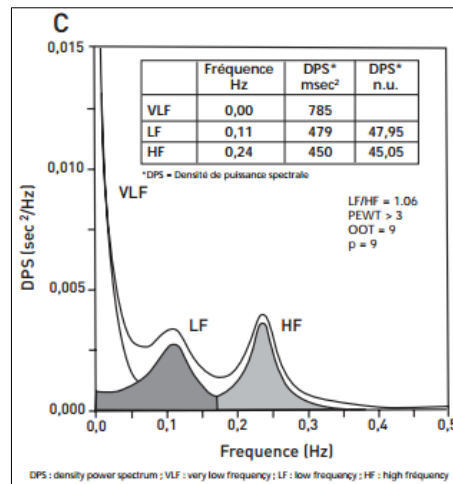


Figure 5 : Périodogramme issu de l'analyse spectrale (Task force)

- Méthode non linéaire de Poincaré

Cette technique utilise le diagramme de dispersion aussi appelé diagramme de Poincaré qui est construit en faisant correspondre à chaque intervalle R-R l'intervalle précédent.

Il est ensuite possible de calculer l'indice SD1 et SD2.

SD1 montre la variabilité instantanée de la fréquence cardiaque battement par battement et reflète l'activité parasympathique.

SD2 reflète la variabilité à plus long terme et témoigne de l'activité sympathique et parasympathique.

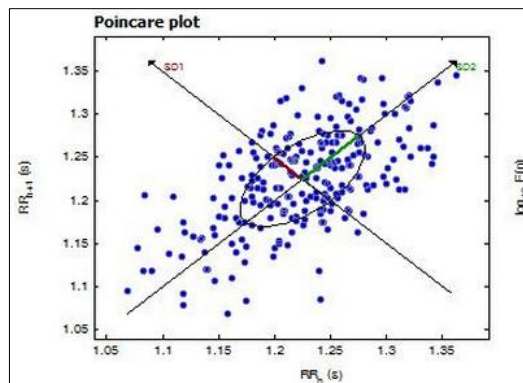


Figure 6 : Analyse Poincaré (dispersion)

- Méthode d'analyse statistique

Elle consiste à calculer des indices qui reflètent la dispersion des intervalles R-R sur la durée de l'enregistrement considéré. Il s'agit de calculs d'écart types, de moyenne ou de pourcentage.

Les 3 principaux paramètres qu'on peut calculer sont :

- Le RMSSD (exprimé en ms) correspond à la racine carré de la moyenne des différences au carré entre les intervalles R-R successifs. Il correspond à l'indice temporel équivalent aux HF et rend ainsi compte de la composante rapide de la variabilité et donc du tonus vagal.

Des valeurs de RMSSD basses sont observées après un exercice fatiguant (1h après selon Buchheit, 2009), en effet le système parasympathique est au plus bas alors que le sympathique lui est très élevée. Puis les valeurs habituelles sont retrouvées au bout de 48h, le système parasympathique étant élevée alors que le sympathique est plus faible.

- Le SDNN (exprimé en ms) correspond à l'écart type de la série d'intervalles R-R considérée, rendant ainsi compte de la variabilité globale. Mais selon Task Force (78), on ne peut pas statistiquement quantifier cette grandeur car elle est très sensible aux artefacts. Il faut donc un enregistrement électrocardiographique de longue durée (sur 24 heures) et de bonnes qualités pour pouvoir analyser cet indice.

- pNN50 (exprimé en %) correspond au pourcentage des intervalles RR normaux différents de plus de 50 ms par rapport à l'intervalle RR adjacent.

2. Etude 1 : Bol d'air Jacquier, variabilité de la fréquence cardiaque et perception de la récupération en cyclisme

a) Sujets

Douze cyclistes (10 hommes et 2 femmes) ont participé à cette expérimentation. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous. Ils sont tous membre du Pôle Espoir cyclisme de Besançon.

Tableau 1 : Caractéristiques morphologiques des cyclistes

	Age (année)	Poids (kg)	Taille (m)
Moyenne ± écarts types	19 ± 5	63,1 ± 9,4	1,75 ± 0,09

b) Protocole

Les sujets ont participé à un stage d'entraînement en Endurance en Ardèche. Ils avaient tous le même rythme de vie tout au long du stage (le nombre d'heures de sommeil, l'alimentation et la charge d'entraînement étaient similaires).

Ils ont été répartis en deux groupes de manière aléatoire : Six cyclistes utilisaient le BAJ (qui diffuse l'Oresine®) et six autres un dispositif similaire spécialement adapté pour diffuser de la vapeur d'eau (EAU), cette information n'a pas été divulguée aux participants.

Préalablement au stage, les sujets étaient familiarisés avec le dispositif. Ils étaient également informés de l'utilisation de deux produits se différenciant par la caractéristique odorante et non odorante.

Lors du stage, le rythme d'entraînement était bi-quotidien. Les périodes d'inhalation avaient lieu le matin après l'entraînement et le soir après l'entraînement. Chaque inhalation durait 3 minutes.

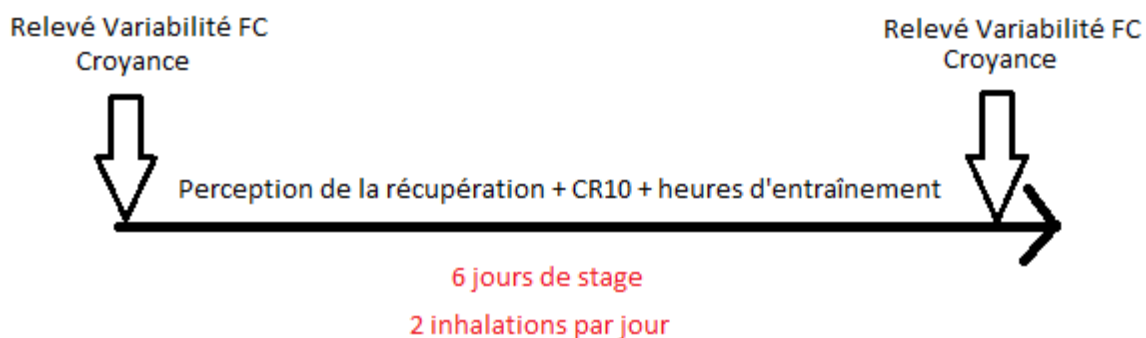
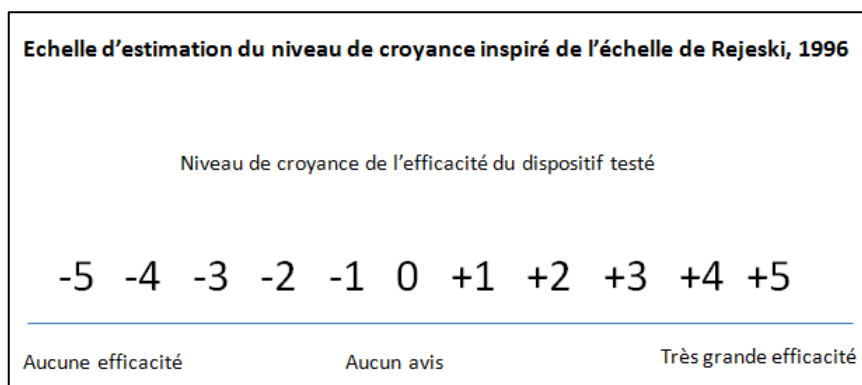


Figure 7: Schéma de l'étude

c) Variables analysées

- **Croyance**

Une échelle d'estimation du niveau de croyance d'efficacité du dispositif sur la récupération, graduée de -5 à +5 (-5 = aucune efficacité ; +5 = très grande efficacité), a été utilisée (63) avant et après le stage.



- **Charge d'entraînement**

La charge d'entraînement a été calculée tout au long du stage grâce à la méthode de Foster (31) : Charge d'entraînement (UA) = CR10 (échelle de Borg) x Temps (min).

Pour cela les sujets notaient le temps de chaque séance et donnaient une note perceptive de la difficulté de l'effort grâce à l'échelle CR10 de Borg (ci contre), graduée de 0 à 10 (0 = intensité nulle ; 10 = intensité maximale).

Echelle d'estimation de la difficulté de l'effort (Borg):

10	Maximale /douleur max
9	
8	
7	Très forte
6	} ≈Seuil
5	
4	
3	Soutenue
2,5	
2	Moyenne
1,5	
1	Faible
0,5	Extrêmement faible
0,3	
0	Nulle

- **Echelle perceptive de la récupération**

Durant le stage, chaque cycliste évaluait au début de l'entraînement du matin, sa perception de récupération à partir de l'échelle d'Edwards (29) graduée de 0 à 10 (0 = pas du tout récupéré ; 10 = récupéré à 100%).

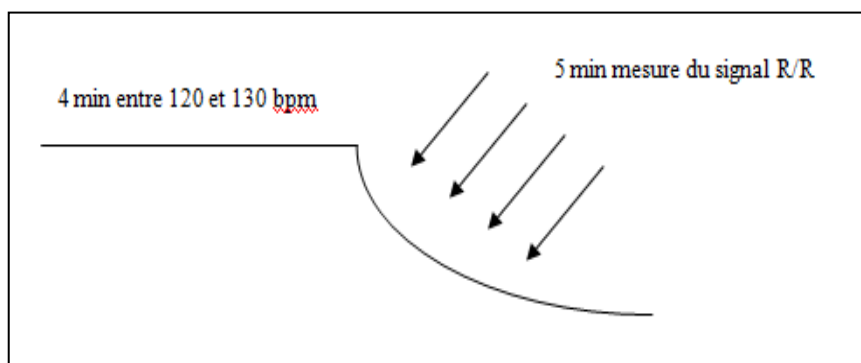
EPR (Echelle de Perception de Récupération)	
0	Pas du tout récupéré
1	
2	
3	
4	
5	Récupéré à 50 %
6	
7	
8	
9	
10	Récupéré à 100 %

- **Variabilité de la fréquence cardiaque**

Avant et après le stage nous avons effectué des relevés de variabilité de fréquence cardiaque (relevé R/R).

Les sujets étaient équipés de cardio-fréquencemètre de type Polar RS800 (20) (Polar Electro Oy, Kempele, Finlande) relevant les valeurs battement par battement durant l'intégralité du test. Le test proposé par Al Haddad (2009) débutait par une séquence de pédalage de 4 min à une fréquence cardiaque comprise entre 120 et 130 bpm.

Immédiatement après, les sujets s'allongeaient dans un environnement calme pendant 5 min.



La variabilité de la fréquence cardiaque est exprimée et quantifiée par différents indices comme nous l'avons vu précédemment. Au regard de la littérature (1,17, 68, 69), les variables couramment utilisés sont les hautes et les basses fréquences (HF et LF), permettant de quantifier l'activité sympathique et parasympathique obtenu grâce à l'analyse spectrale. On retrouve également, dans de nombreuses publications, l'analyse du RMSSD (exprimé en ms) permettant de mettre en évidence la composante rapide de la variabilité et donc le tonus vagal.

Les valeurs de HF, LF et RMSSD étaient moyennées (Kubios HRV) sur les 3 dernières minutes de la phase allongée correspondant à un plateau (les 2 premières minutes de frein vagal n'étaient pas prises en compte).

Enfin l'indice de récupération de la fréquence cardiaque (FC) était analysé une fois le sujet allongé (T0) et 1 min après (T1). Cette diminution rend compte du frein vagal.

d) Analyse statistique

Un test non paramétrique de Wilcoxon a été utilisé pour analyser l'évolution de la croyance, du RMSSD, des LF, HF, du rapport LF/HF ainsi que pour l'évolution du ΔFC (différence de FC entre T1 et T0) entre les conditions BAJ et EAU.

Un test d'ANOVA à mesures répétées à 2 facteurs a été utilisé pour l'analyse du RMSSD au cours du temps en fonction des conditions (BAJ et EAU) et pour analyser l'évolution de la perception de la récupération lors des jours de la semaine en fonction des conditions (BAJ et EAU).

e) Résultats

- Croyance

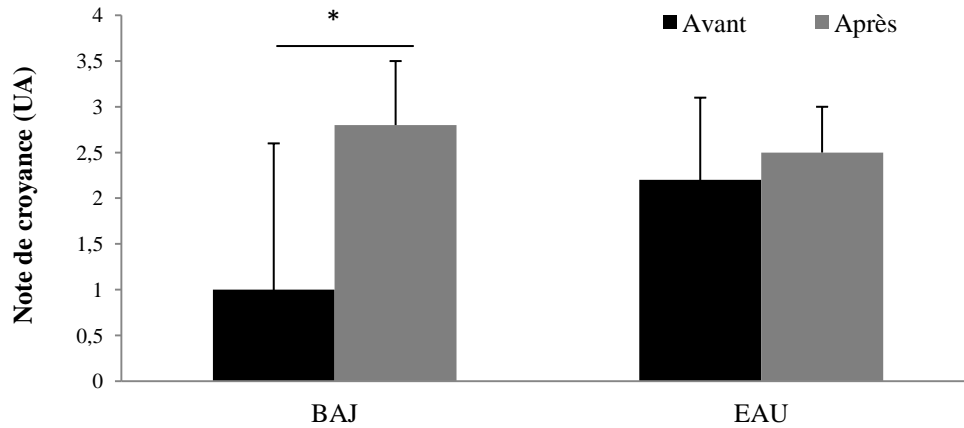


Figure 8 : Evolution de la croyance dans l'efficacité du dispositif sur la récupération (moyenne \pm écart type). Comparaison entre BAJ vs Eau et Avant vs Après la cure. (*: $p < 0.05$).

La perception de l'efficacité du dispositif sur la récupération évolue au cours de la semaine (Fig. 1). La croyance du groupe BAJ est significativement augmentée passant de 1 (\approx sans avis) à 2,8 (\approx très efficace). Ce résultat indique une perception positive de l'efficacité du dispositif.

Le groupe EAU ne modifie pas sa perception d'efficacité au cours de la semaine. La croyance de ce groupe étant élevée avant le stage, elle demeure élevée en fin de cure. Le résultat indique une propension des sportifs de ce groupe à attendre un effet positif du dispositif sur la récupération, même si la diffusion de vapeur d'eau ne semble pas avoir d'effet bénéfique particulier.

- **Charges d'entraînement**

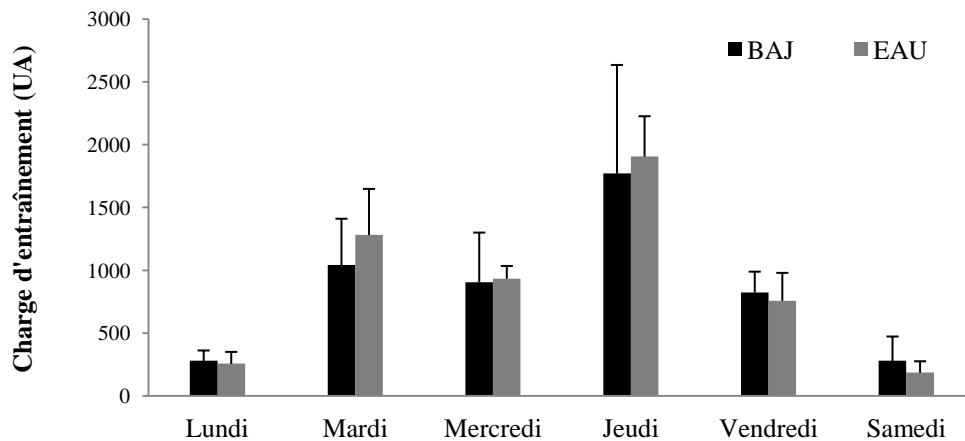


Figure 9 : Evolution des charges d'entraînement au cours de la semaine de stage pour les deux groupes (moyenne \pm écart type).

La charge d'entraînement moyenne des deux groupes pour toute la durée du stage est de 5494 ± 1570 UA. Elle est de 5456 ± 2028 UA pour le groupe BAJ et 5525 ± 1280 UA pour le groupe EAU.

Le temps d'entraînement total est de $20h \pm 2h$ pour les deux groupes.

- **Perception de la récupération**

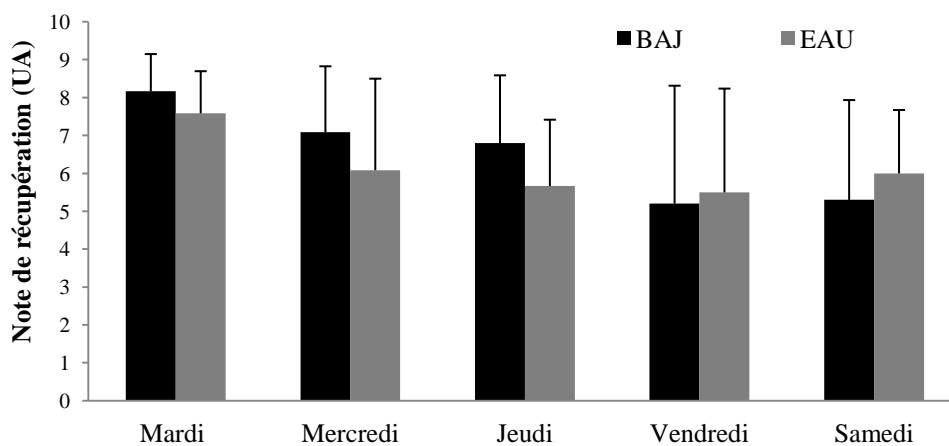


Figure 10 : Evolution de la perception de la récupération au cours de la semaine de stage pour les deux groupes (moyenne \pm écart type).

Le suivi de la récupération au cours du stage (Fig. 3) montre une diminution progressive liée probablement à une accumulation des charges d'entraînement. L'évolution est similaire quel que soit l'inhalation (BAJ vs EAU). Ce résultat pourrait-être expliqué par 1)

un effet limité du BAJ au cours d'un stage d'entraînement intensif, 2) une relation étroite entre le niveau de perception de la récupération et le degré de croyance dans le dispositif. En effet le niveau final de croyance était identique chez les deux groupes (BAJ = 2,8 et EAU = 2,5).

- **Variabilité de la fréquence cardiaque**

- **RMSSD**

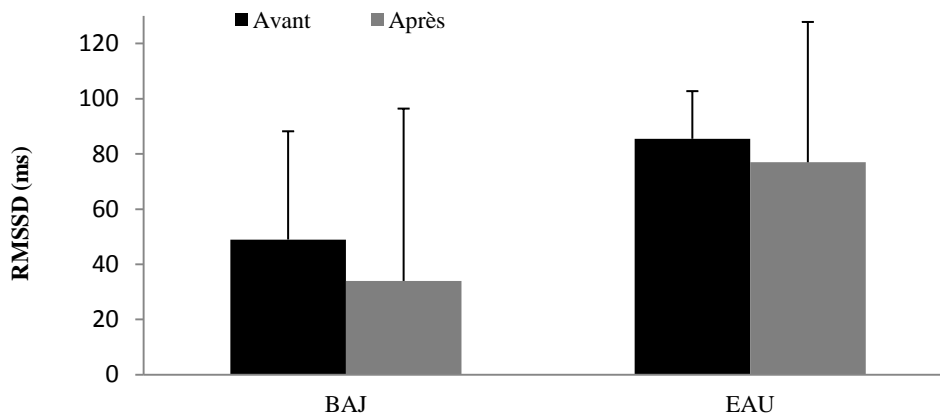


Figure 11 : Evolution du RMSSD sur les 3 dernières minutes de la phase allongée (moyenne \pm erreurs standards). Comparaison Avant vs Après le stage pour le groupe BAJ et EAU ($P=0.067$).

Le RMSSD, moyenné sur les 3 dernières minutes de la phase allongée (correspondant à un état stable) évolue de manière non significative pour les deux groupes. On observe tout de même une diminution du RMSSD pour les deux groupes après la cure. Cette diminution est plus prononcée pour le groupe BAJ puisqu'elle est de 31% contre 10% pour le groupe EAU.

- **Fréquence des oscillations : LF et HF**

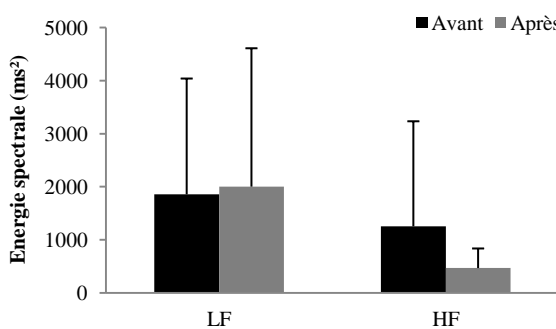


Figure 12 : Evolution des LF et HF avant vs après le stage pour le groupe BAJ (moyenne \pm écart type).

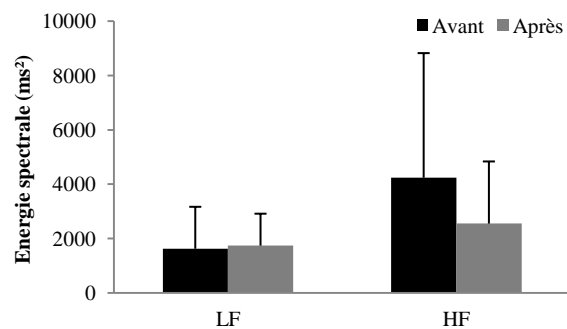


Figure 13 : Evolution des LF et HF avant vs après le stage pour le groupe EAU (moyenne \pm écart type).

Nous n'observons aucune différence significative avant vs après le stage pour les LF et les HF. Cela est valable pour les deux groupes (BAJ et EAU).

On peut observer une légère augmentation des LF après le stage puisque pour le groupe BAJ on a une augmentation de 8% et pour le groupe EAU de 7%. En revanche, on observe une chute des HF après le stage pour les deux groupes, elle est de 63% pour le groupe BAJ et 40% pour le groupe EAU.

- **Fréquence cardiaque**

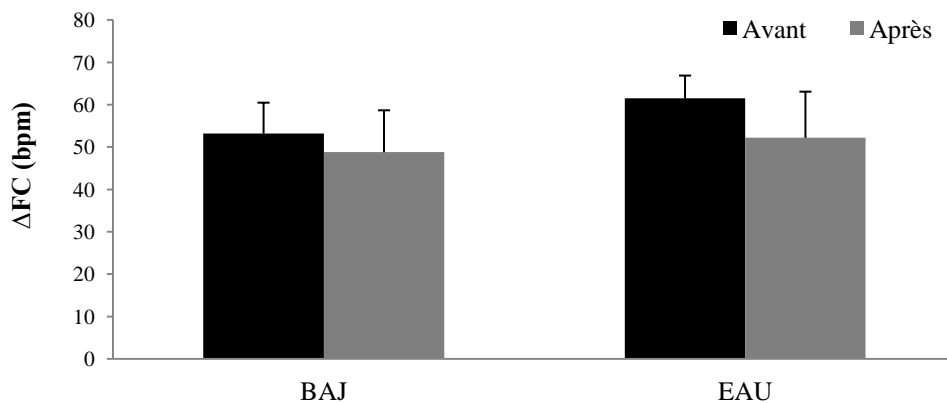


Figure 14 : Evolution de la différence de FC entre T1 et T0. Comparaison entre BAJ vs Eau et Avant vs Après le stage. (moyenne \pm écart type).

La différence de FC entre T1 et T0 (Fig. 5) montre une diminution non significative après le stage pour les deux groupes. En effet pour le groupe BAJ la différence de FC passe de 53 à 49 bpm soit une diminution de 8%. Pour le groupe EAU, elle passe de 61 à 52 bpm soit une diminution de 15%.

f) Discussion

Ce stage constitue bien un stage d'entraînement en endurance intensif puisque suite à la méthode de calcul de Foster, on obtient une charge d'entraînement élevée ($5494\text{UA} \pm 1570\text{UA}$) avec un temps d'entraînement de 20h ($\pm 2\text{h}$).

Contrairement à ce qui était attendu, les variables analysées montrent peu de variation (pas de différence significative) du système nerveux végétatif suite à cette semaine de stage intensif (avec une dominante en endurance) chez des cyclistes entraînés (niveau pôle Espoir) et ce quel que soit le groupe (BAJ et EAU).

Dans la plupart des cas, lorsqu'il y a de la fatigue lié à un ou des entraînements, du stress, de la surcharge ou même du surentraînement, on observe une baisse de l'activité parasympathique au profit du tonus sympathique (Pichot 2002, Uusitalo 2000, Buchheit 2009). Mais dans d'autres cas plus rare, on assiste à une hausse des indices liés à l'activité vagale (Hedelin 2000).

Or, dans notre étude, pour les deux groupes, les HF (hautes fréquences), utilisées pour quantifier l'activité parasympathique diminuent (de manière non significative liée probablement à des écarts types trop important) de 40 à 63%.

Le RMSSD, correspondant à un indice temporel équivalent aux HF, diminue de 10 à 30%. Les LF (Basses fréquences), renvoyant à l'activité sympathique, augmentent après le stage (10 à 30%).

Nos résultats, en accord avec la littérature, montrent tout de même, malgré des différences non significatives un état de fatigue suite au stage d'entraînement.

On peut donc penser que l'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque permet, au même titre que le calcul de la charge d'entraînement de pouvoir comprendre et mesurer l'impact d'un stage d'entraînement avec beaucoup d'heures de travail.

Concernant l'utilisation du Bol d'Air Jacquier®, nous n'avons pas, dans ce cas précis, pu mettre en évidence un ou des effets permettant aux athlètes de mieux récupérer et ainsi de se sentir moins fatigués.

3. Etude 2 : Utilisation du Bol d'Air Jacquier en cure chez des handballeurs professionnels

a) Sujets

Dix sept joueurs de handball masculins appartenant à la même équipe évoluant en championnat Pro D2 ont participé à l'étude durant une période de 5 semaines. Le tableau n°1 indique les principales caractéristiques de la population testée.

Tableau n°2 : Caractéristiques morphologiques de chaque groupe de handballeurs.

	Age (année)	Poids (kg)	Taille (cm)
Groupe BAJ (Moyenne + écarts types)	25,8 ± 4,3	87,6 ± 8,1	189 ± 7,1
Groupe Témoin (Moyenne + écarts types)	26,4 ± 5,5	84,1 ± 10,5	187,5 ± 6,8

b) Protocole

L'ensemble des joueurs de handball continuaient leur entraînement habituel, c'est-à-dire qu'ils réalisaient huit séquences d'entraînement sportif durant les cinq semaines d'études.

Deux groupes ont été constitués de manière aléatoire.

Un groupe de neuf joueurs constituait le groupe BAJ. Chaque sujet avait comme consigne d'inhaler le BAJ (diffuseur d'oresine®) par séquence de 3 minutes cinq fois par semaine. Le moment d'inhalation était laissé à l'appréciation du joueur (avant ou après le premier ou le deuxième entraînement quotidien). Chaque inhalation était notée sur une fiche individuelle.

Huit autres joueurs constituaient le groupe Témoin (sans inhalation).

Préalablement à l'étude, les sujets étaient familiarisés avec le dispositif et étaient informés de la constitution des groupes.

La figure n°1 représente la planification temporelle du protocole. L'analyse de la variabilité et du ressenti de la fatigue était réalisé en semaine 1 (S1), en semaine 3 (S3) et en semaine 5 (S5). Chaque joueur était évalué aux mêmes heures de la journée, le même jour de la semaine, sans entraînement préalable. La croyance en l'effet du dispositif BAJ était relevée en semaine 1 et en semaine 5.

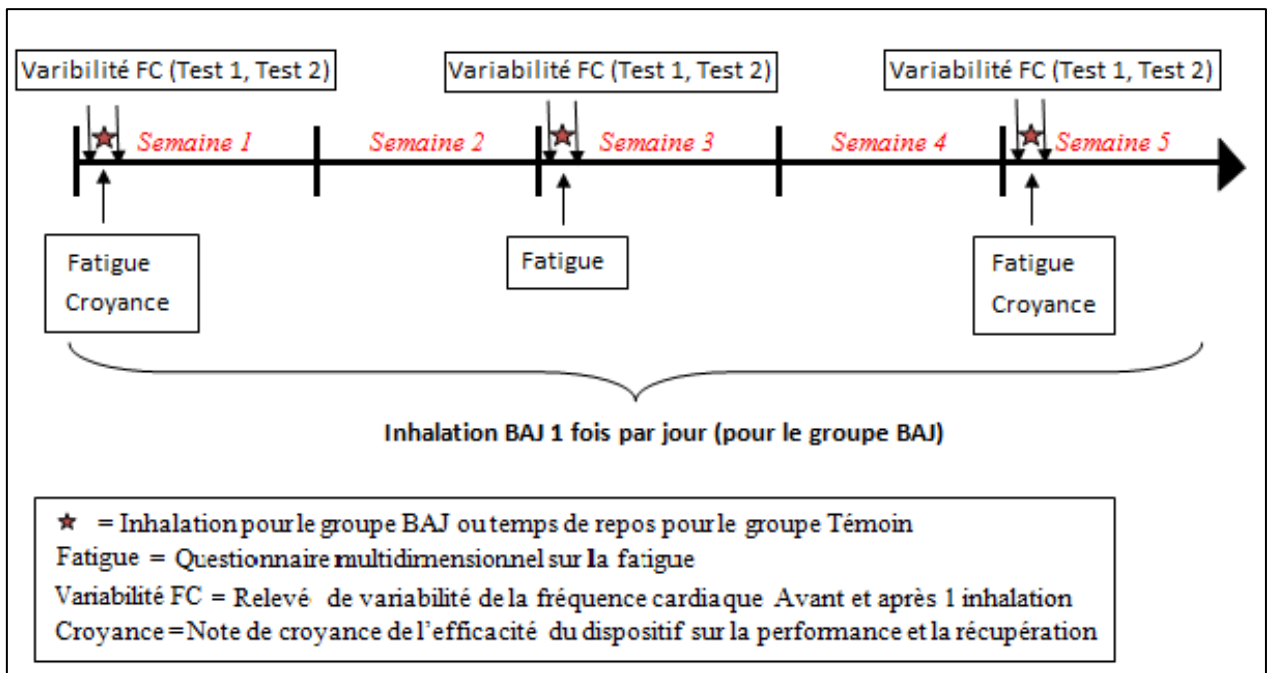
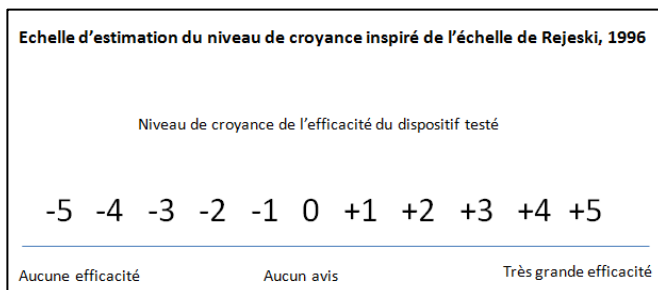


Figure 15 : Schéma général des 5 semaines d'étude

c) Variabiles analysées

- **Croyance**



Une échelle d'estimation du niveau de croyance d'efficacité du dispositif sur la récupération ainsi que sur la performance, graduée de -5 à +5 (-5 = aucune efficacité ; +5 = très grande efficacité), a été utilisée (63)

avant et après les 5 semaines de cure.

- **Questionnaire d'évaluation de la fatigue (MFI)**

La fatigue a été évaluée à partir du questionnaire d'évaluation de la fatigue (71) (Questionnaire Multidimensionnel sur la fatigue *French version of the MFI*) en Semaine 1, Semaine 3 et Semaine 5.

QUESTIONNAIRE MULTIDIMENSIONNEL SUR LA FATIGUE
(French version of the MFI[®])
© E. Grant, S. Coenen, E. Nijboer

Instruction :
À l'aide des affirmations suivantes, nous aimerions savoir comment vous vous êtes senti(e) ces derniers temps.
Voici par exemple la phrase :
« JE ME SENS DÉTENDU(E) »
Si vous pensez que c'est tout à fait vrai, que vous vous êtes effectivement senti(e) détendu(e) ces derniers temps, veuillez mettre une X dans la case se trouvant complètement à gauche, comme ceci :
oui, c'est vrai non, ce n'est pas vrai
Plus vous êtes en désaccord avec l'affirmation, plus vous placerez la X vers la réponse « non, ce n'est pas vrai ». Veuillez ne pas oublier d'affirmations et ne mettre une X que dans une case pour chaque affirmation.

1	Je me sens en forme.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
2	Physiquement, je n'arrive pas à faire grand chose.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
3	Je me sens très actif(-ive).	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
4	J'ai envie de faire toutes sortes de choses intéressantes.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
5	Je me sens fatigué(e).	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
6	Je pense que j'en fais beaucoup dans une journée.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
7	Quand je fais quelque chose, je peux rester concentré(e) dessus.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
8	Physiquement, j'arrive à faire beaucoup de choses.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
9	J'apprends d'avoir à faire des choses.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
10	Je pense que je ne fais pas grand chose dans une journée.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
11	J'arrive bien à me concentrer.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
12	Je me sens reposé(e).	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
13	Il faut que je fasse beaucoup d'efforts pour me concentrer sur quelque chose.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
14	Physiquement, je me sens pas en forme.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
15	J'ai beaucoup de projets.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
16	Je me fatigue facilement.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
17	Je termine peu de choses.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
18	Je n'ai pas envie de faire quoi que ce soit.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
19	J'ai du mal à me concentrer.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai
20	Physiquement, je me sens en excellente forme.	oui, c'est vrai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	non, ce n'est pas vrai

Merci pour votre participation.

Ce questionnaire permet d'évaluer la fatigue selon 5 items:

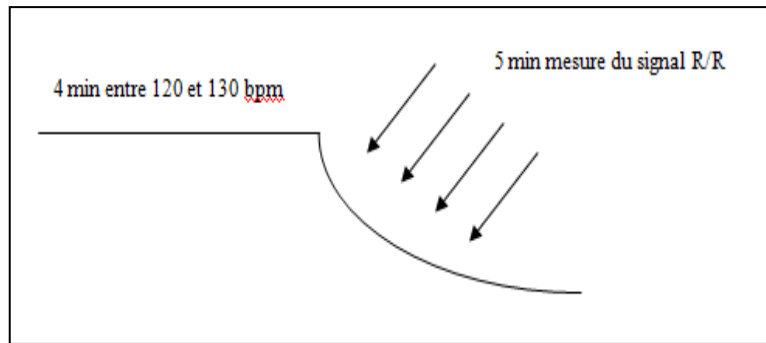
- La fatigue générale
- La fatigue physique
- La fatigue mentale
- La réduction des activités
- La baisse de la motivation.

Pour chaque item, un score élevé (maximum 20) indique une grande fatigue, au contraire un score faible indique peu de fatigue (minimum 4).

- **Variabilité de la fréquence cardiaque**

En Semaine 1, Semaine 3 et Semaine 5, nous avons relevé des données de variabilité de fréquence cardiaque (relevés R/R). Le protocole de mesure de la variabilité était réalisé deux fois, à 5 minutes d'intervalle, lors de la même session.

Les sujets étaient équipés de cardio-fréquencemètre de type Polar RS800 (20) (Polar Electro Oy, Kempele, Finlande) relevant les valeurs battement par battement durant l'intégralité du test. Le test proposé par Al Haddad débutait par une séquence de pédalage de 4 min à une fréquence cardiaque comprise entre 120 et 130bpm. Immédiatement après, les sujets s'allongeaient dans un environnement calme pendant 5 min.



La variabilité de la fréquence cardiaque est exprimée et quantifiée par différents indices comme nous l'avons vu précédemment. Au regard de la littérature (1,17, 68, 69), les variables couramment utilisées sont les hautes et les basses fréquences (HF et LF), permettant de quantifier l'activité sympathique et parasympathique obtenues grâce à l'analyse spectrale. On retrouve également, dans de nombreuses publications, l'analyse du RMSSD (exprimé en ms) permettant de mettre en évidence la composante rapide de la variabilité et donc le tonus vagal.

Les valeurs de HF, LF et RMSSD étaient moyennées (Kubios HRV) sur les 3 dernières minutes de la phase allongée correspondant à un plateau (les 2 premières minutes de frein vagal n'étaient pas prises en compte).

Enfin l'indice de récupération de la fréquence cardiaque (FC) était analysée une fois le sujet allongé (T0) et 1 min après (T1). Cette diminution rend compte du frein vagal.

- **Déroulement de la session de test**

Le sujet était équipé du cardiofréquencemètre, il réalisait le protocole de mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque (Test 1). Les sujets du groupe BAJ inhalaient l'Orésine® pendant 3 min et renseignaient le questionnaire MFI. Les sujets du groupe Témoin renseignaient le questionnaire MFI. La session de test se poursuivait, pour les deux groupes, par la reproduction du protocole de mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque (Test 2). La reproduction du protocole avait pour objectif d'observer d'éventuels effets aigus de la période d'inhalation.

d) Statistiques

Un test non paramétrique de Wilcoxon a été utilisé pour analyser l'évolution de la croyance, l'évolution de la fatigue, l'évolution du RMSSD, des LF, des HF et du rapport LF/HF ainsi que pour l'évolution du ΔFC (différence de FC entre T1 et T0) pour les deux groupes (BAJ et Témoin).

Un test d'ANOVA à mesures répétées à 2 facteurs a été utilisé pour l'analyse du RMSSD au cours du temps en fonction des conditions (BAJ et Témoin) ainsi que pour l'évolution de la fatigue.

e) Résultats

• Croyance

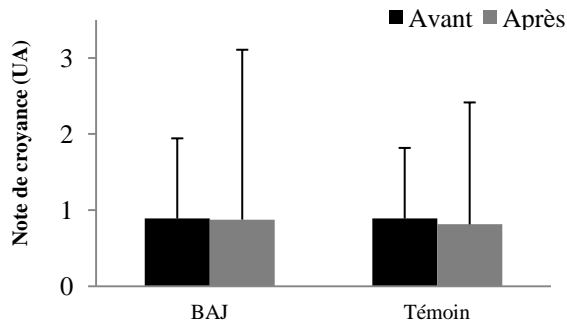


Figure 16 : Evolution de la croyance dans l'efficacité du dispositif sur la performance. Comparaison entre Avant vs Après l'étude pour chaque groupe. (moyenne \pm écarts types).

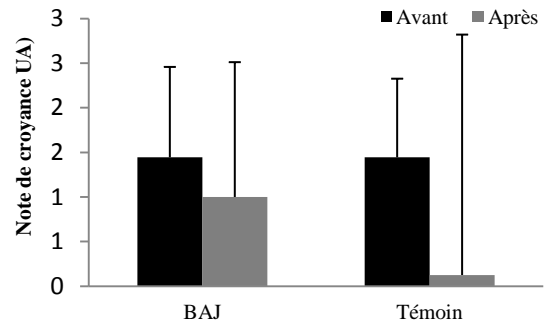


Figure 17 : Evolution de la croyance dans l'efficacité du dispositif sur la récupération. Comparaison entre BAJ vs Témoin et Avant vs Après l'étude. (moyenne \pm écarts types).

Nous n'observons aucune évolution pour la croyance en l'efficacité du dispositif ni sur la performance ni sur la récupération et ce, pour les deux groupes.

L'ensemble des notes de croyance (performance et récupération) étant positive, les athlètes perçoivent le BAJ® comme un procédé de récupération bénéfique. Ces résultats n'ont pas été influencés par l'équipe d'encadrement qui a été informé de ne pas partager son avis sur le dispositif.

• Questionnaire d'évaluation de la fatigue

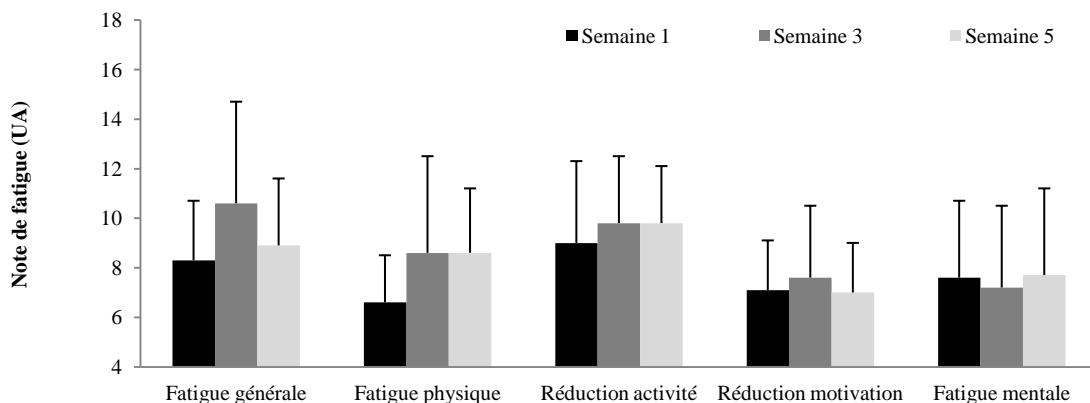


Figure 18 : Evolution de la fatigue au cours des 5 semaines de cure pour le groupe BAJ. Comparaison entre Semaine 1 vs Semaine 5, S1 vs S3 et S3 vs S5. (moyenne \pm écarts types).

Pour le groupe BAJ, nous n'observons aucune évolution significative de la fatigue au cours de la cure quel que soit l'item étudié.

On peut tout de même voir une augmentation de la fatigue générale en semaine 3 (10,6 UA) par rapport à la semaine 1 (8,3 UA) et 5 (8,9UA).

On observe également une augmentation de la fatigue physique en semaine 3 et 5 (8,6 UA) par rapport à la semaine 1 (6,6 UA).

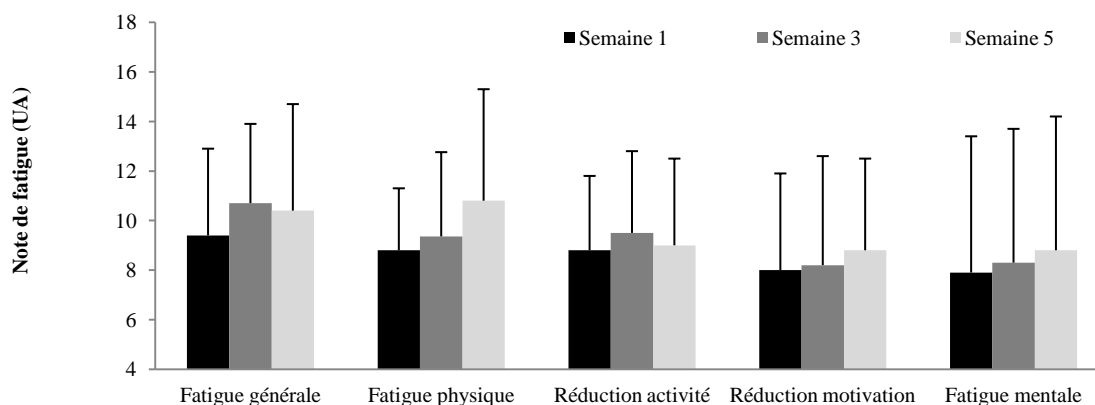


Figure 19 : Evolution de la fatigue au cours des 5 semaines de cure pour le groupe Témoin. Comparaison entre Semaine 1 vs Semaine 5, S1 vs S3 et S3 vs S5. (moyenne ± écarts types).

Nous n’observons aucune évolution significative pour le groupe témoin concernant la fatigue de 5 items. Le pic de fatigue générale se situe en semaine 3 avec une note de 10,7 UA. La fatigue physique augmente sur les 5 semaines passant de 8,8 à 10,8 UA.

D’après un test d’Anova à mesure répétée, le groupe BAJ évolue de manière similaire au groupe Témoin sur les 5 semaines et ce pour les 5 items de fatigue.

Enfin, la note maximum de fatigue qui peut-être atteinte est de 20 UA, or, pour tous les items et pour les deux groupes, la fatigue est largement en dessous puisqu’elle ne dépasse pas 10,8 au maximum (correspondant à la fatigue physique en semaine 3 pour le groupe Témoin).

- **Variabilité de la fréquence cardiaque**

RMSSD

➤ Evolution du RMSSD en Semaine 1 Test 1, Semaine 3 Test 1 et Semaine 5 Test 1

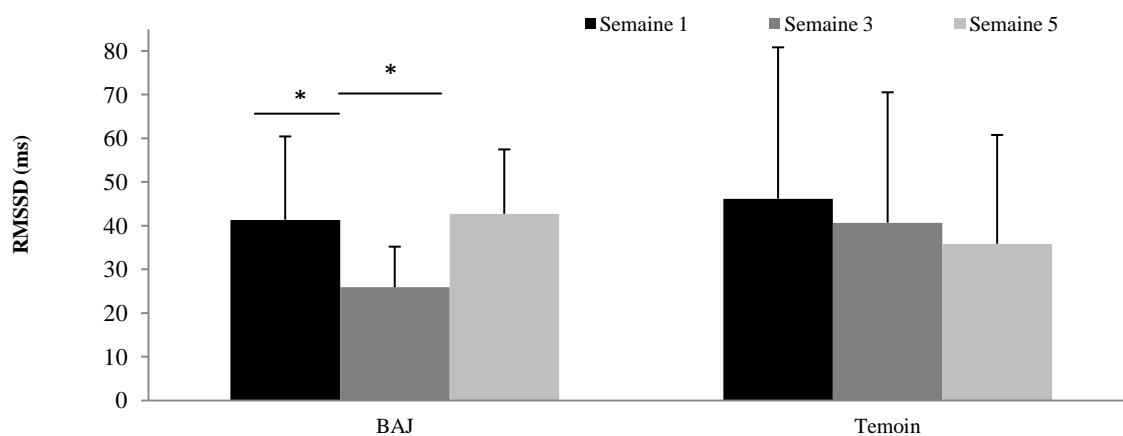


Figure 20 : Evolution du RMSSD sur les 3 dernières minutes de la phase allongée (moyenne \pm écart type). Comparaison entre S1 vs S2, S2 vs S3 et S1 vs S3 pour les deux groupes. (*: $p < 0.05$).

Nous observons une diminution significative du RMSSD pour le groupe BAJ entre la semaine 1 et la semaine 3 ($p = 0,0209$) et entre la semaine 3 et la semaine 5 ($p = 0,0425$). En effet en semaine 3, on observe une chute du RMSSD.

En revanche il n'y a aucune différence significative pour le groupe Témoin.

➤ Evolution du RMSSD avant et après une inhalation : effet aigu

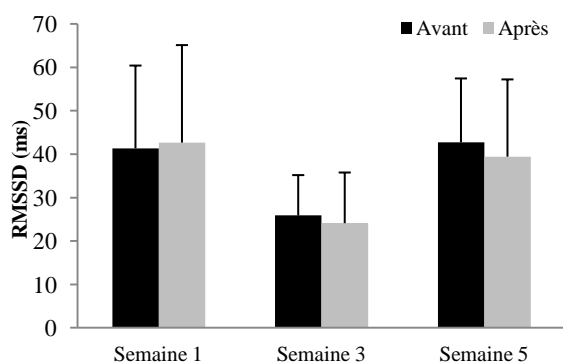


Figure 21 : Evolution du RMSSD avant et après une inhalation pour le groupe BAJ en Semaine 1, 2 et 3. (moyenne \pm écart type).

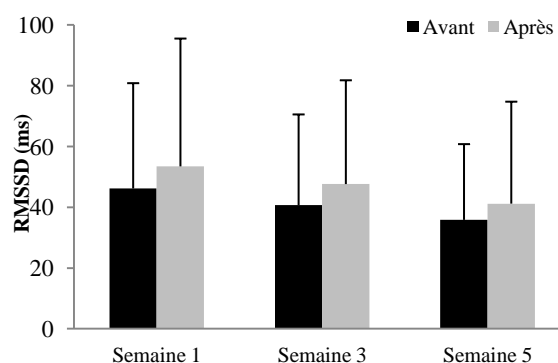


Figure 22 : Evolution du RMSSD avant et après une inhalation pour le groupe Témoin en Semaine 1, 2 et 3. (moyenne \pm écart type).

Nous n'observons aucune différence significative d'évolution du RMSSD après une inhalation (effet aigu). Cela est valable pour les deux groupes et pour toutes les semaines (S1, S3 et S5).

Fréquence des oscillations : LF et HF

➤ Evolution des LF et HF en Semaine 1 Test 1, Semaine 3 Test 1 et Semaine 5 Test 1

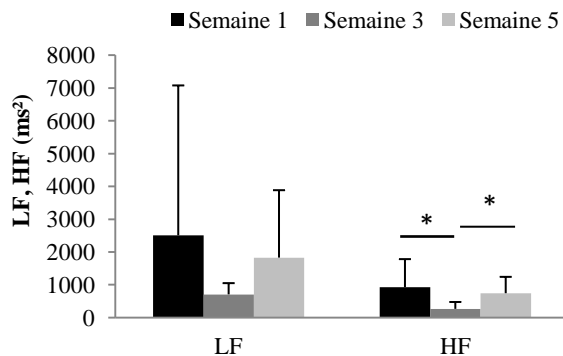


Figure 23 : Evolution des LF et HF pour le groupe BAJ (moyenne \pm écart type). Comparaison entre S1 vs S2, S2 vs S3 et S1 vs S5. (*: $p < 0.05$).

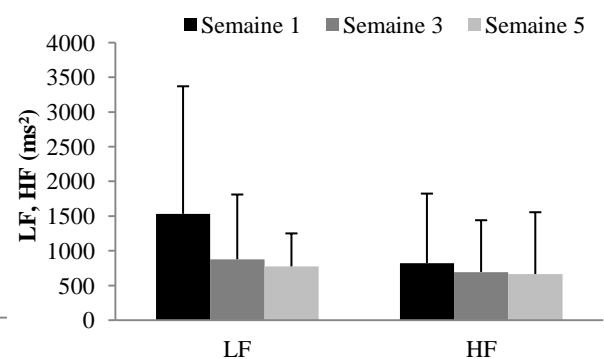


Figure 24 : Evolution des LF et HF pour le groupe Témoin (moyenne \pm écart type). Comparaison entre S1 vs S2, S2 vs S3 et S1 vs S5. (*: $p < 0.05$).

Pour le groupe BAJ, il n'y a aucune évolution des LF, en revanche on observe une diminution significative des HF en semaine 3 par rapport à la semaine 1 ($p = 0,0152$) et à la semaine 5 ($p = 0,0425$).

Nous n'observons aucune différence significative pour le groupe Témoin, mais avec tout de même une diminution de 50%.

➤ Evolution des LF avant et après une inhalation : effet aigu

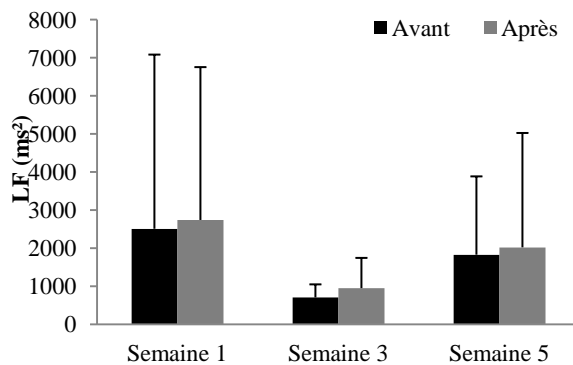


Figure 25 : Evolution des LF avant et après une inhalation pour le groupe BAJ en Semaine 1, 2 et 3. (moyenne \pm écart type).

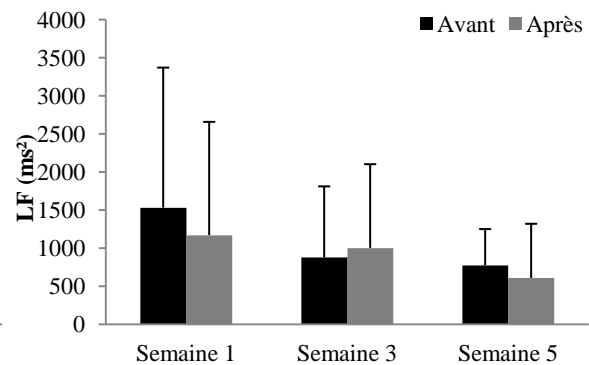


Figure 26 : Evolution des LF avant et après une inhalation pour le groupe Témoin en Semaine 1, 2 et 3. (moyenne \pm écart type).

Nous n'observons aucune différence significative pour le groupe BAJ avant et après une inhalation de 3 minutes d'Orésine®.

Cela est valable également pour le groupe Témoin qui ne réalisait aucune inhalation.

➤ Evolution des HF avant et après une inhalation : effet aigu

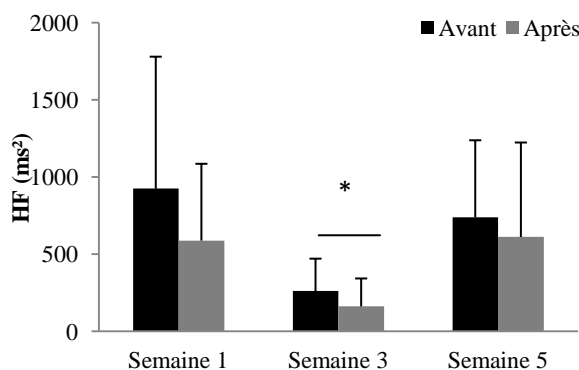


Figure 27 : Evolution des HF avant et après une inhalation pour le groupe BAJ en Semaine 1, 2 et 3. (moyenne ± écart type).

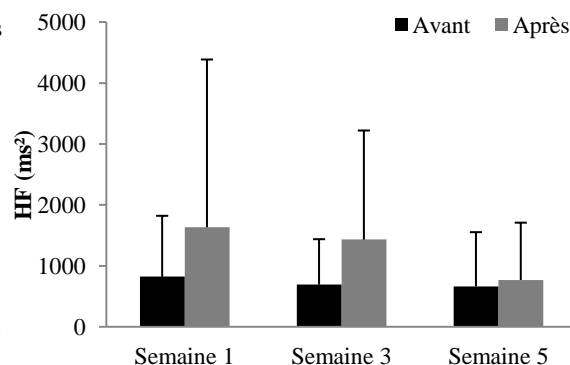


Figure 28 : Evolution des HF avant et après une inhalation pour le groupe Témoin en Semaine 1, 2 et 3. (moyenne ± écart type).

Pour le groupe BAJ, on remarque une diminution significative ($p = 0,0209$) des HF en semaine 3.

Nous n'observons aucune différence significative pour le groupe Témoin qui ne réalisait aucune inhalation.

➤ Evolution du rapport LF sur HF en Semaine 1 Test 1, Semaine 3 Test 1 et Semaine 5 Test 1

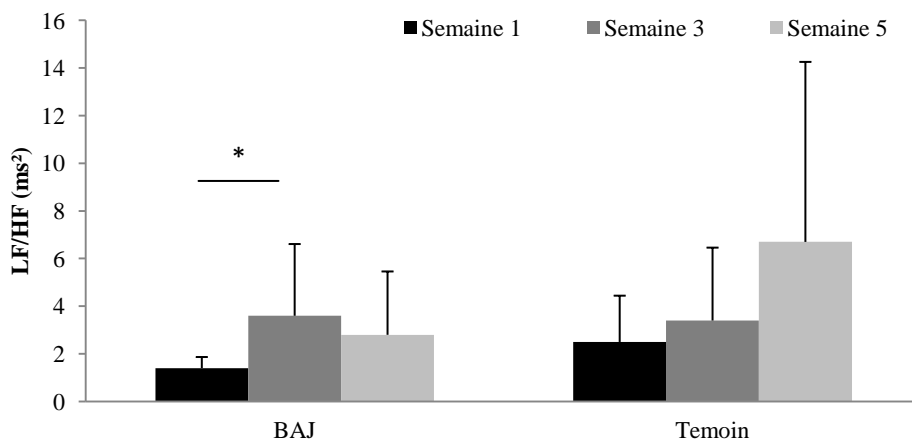


Figure 29 : Evolution du rapport LF sur HF pour les deux groupes (moyenne ± écart type). Comparaison entre S1 vs S2, S2 vs S3 et S1 vs S5. (*: $p < 0,05$).

Nous pouvons constater une augmentation significative du rapport LF/HF ($p = 0,0506$) pour le groupe BAJ entre la semaine 1 et la semaine 3.

Il n'y a aucune différence significative pour le groupe Témoin même si on observe une augmentation du rapport LF/HF au fil des semaines.

➤ Evolution du rapport LF sur HF avant et après une inhalation : effet aigu

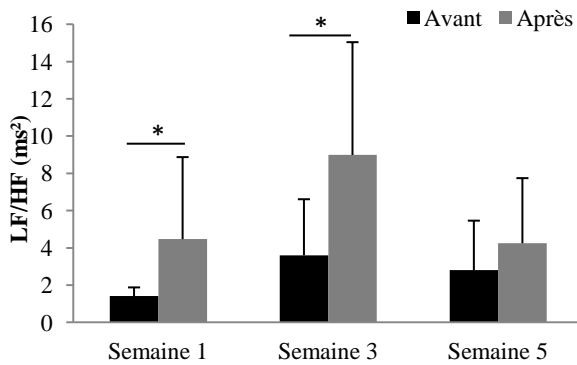


Figure 30 : Evolution du rapport LF sur HF avant et après une inhalation pour le groupe BAJ en Semaine 1, 2 et 3. (moyenne ± écart type).

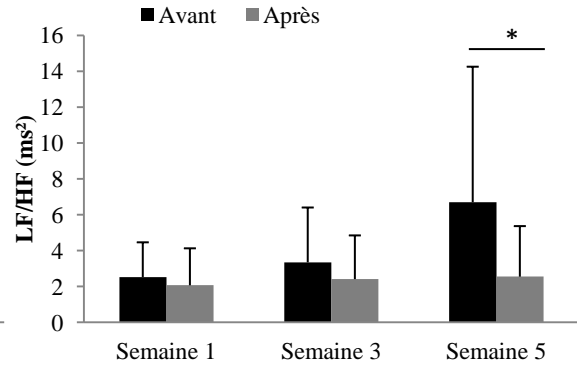


Figure 31 : Evolution du rapport LF sur HF avant et après une inhalation pour le groupe Témoign en Semaine 1, 2 et 3. (moyenne ± écart type).

Pour le groupe BAJ, nous obtenons des différences significative après une inhalation de 3 minutes en semaine 1 ($p = 0,0209$) et en semaine 3 ($p = 0,0077$), on peut voir une augmentation du rapport LF sur HF.

Pour le groupe Témoign, sans inhalation, il y a une diminution significative du rapport LF/HF en semaine 5 ($p = 0,0464$).

● Fréquence cardiaque

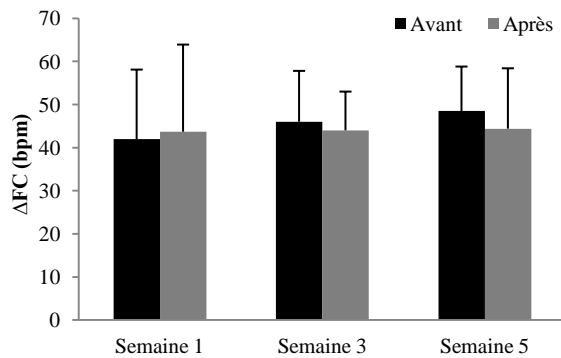


Figure 32 : Diminution de la FC entre T0 et T1 avant et après l'inhalation pour le groupe BAJ. Comparaison entre Avant vs Après et Avant S1 vs S5, Avant S1 vs Avant S3. (moyenne ± écart type).

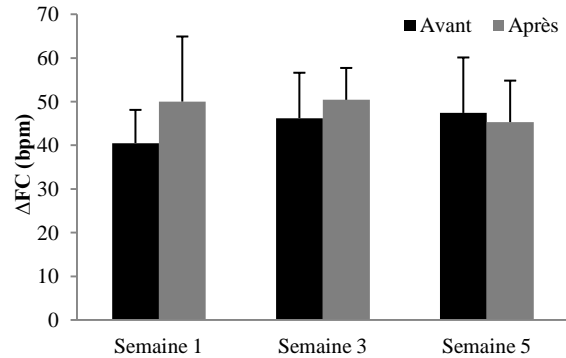


Figure 33 : Diminution de la FC entre T0 et T1 avant et après l'inhalation pour le groupe Témoign. Comparaison entre Avant vs Après et Avant S1 vs S5, Avant S1 vs Avant S3. (moyenne ± écart type).

Nous n'observons aucune évolution significative de la différence de fréquence cardiaque entre T0 et T1 et ce pour les deux groupes, que ce soit avant et après une inhalation (ou non inhalation pour le groupe Témoign) ou encore entre la semaine 1,3 et 5.

f) Discussion

Cette deuxième étude reprenait les mêmes paramètres évalués que l'étude précédente sur les cyclistes, mais sur un temps de cure plus long (1 semaine vs 5 semaines) et était intégré à l'entraînement habituel des joueurs de handball.

Nous avons pu constater l'évolution de certains paramètres de manière significative, notamment dans le groupe BAJ.

Les évolutions significatives ont eu lieu principalement en Semaine 3. On a pu observer une diminution significative du RMSSD ainsi que des HF. Le rapport LF/HF a donc augmenté par rapport aux semaines 1 et 5.

Comme nous avons pu le voir dans l'étude précédente, une baisse de l'activité parasympathique est observée lorsqu'il y a une accumulation de fatigue (6, 7, Buchheit 2009).

Nous avons également pu observer que les notes subjectives de fatigue générale, pour les deux groupes sont les plus élevées en semaine 3. Les paramètres objectifs et subjectifs évoluent donc dans le même sens.

Ainsi, au regard de l'évolution de ces paramètres on peut en déduire que les handballeurs du groupe BAJ présentaient un état de fatigue en semaine 3 lié certainement à des facteurs conjoncturels (fatigue, maladies, stress...). En effet un grand nombre de joueurs nous ont signalé être malade (grippe, rhum...) lors de cette période (début février).

Concernant l'effet aigu de l'inhalation de l'Oresine® sur une période de 3 minutes, nous observons une diminution significative des HF en semaine 3 ainsi qu'une augmentation significative du rapport LF/HF en semaine 1 et semaine 3 (et non significative en semaine 5). En revanche nous n'observons pas d'évolution des LF avant vs après une inhalation. Cela est valable uniquement pour le groupe BAJ. L'inhalation aurait donc engendré une légère diminution de l'activité parasympathique au profit de l'activité sympathique. Nous ne pouvons conclure sur un éventuel effet de l'inhalation sur le système nerveux végétatif, d'autres études réalisées en cross-over seraient nécessaires pour confirmer cela.

Concernant l'utilisation du Bol d'Air Jacquier®, comme pour l'étude précédente, nous n'avons pas, dans ce cas précis, pu mettre en évidence un ou des effets permettant aux athlètes de mieux récupérer et ainsi de se sentir moins fatigués.

IV. DISCUSSION GENERALE

Les objectifs de cette étude étaient d'évaluer les effets du Bol d'Air Jacquier sur la récupération du sportif à travers des paramètres objectifs et subjectifs comme la variabilité de la fréquence cardiaque, la perception de la récupération et de la fatigue.

Au cours de cette étude, nous avons pu enregistrer des valeurs de variabilité de fréquence cardiaque à partir de divers indices. Parmi ceux analysés, il y avait des indices statistiques comme le RMSSD et des indices issus de l'analyse spectrale (transformée de Fourier) comme les LF et HF. Selon Buchheit (2009), ces méthodes d'analyses concernent 90% des publications actuelles.

Les paramètres subjectifs étudiés concernaient l'évaluation de la fatigue et la perception de la récupération.

Croyance

Dans un premier temps, ces résultats suggèrent que la poursuite de l'étude des effets du BAJ nécessite le contrôle des données subjectives telles que la croyance et la perception de l'odeur. En effet dans toute étude utilisant un dispositif spécifique, y compris pour évaluer les effets de la cryostimulation, connaître le niveau de croyance des sujets au préalable permet de mieux comprendre quelle est la part psychologique influençant les résultats.

Evaluation de la fatigue/ Perception de la récupération

Que ce soit en cure d'une semaine lors d'un stage d'entraînement intensif ou sur une cure de 5 semaines d'entraînements, l'inhalation (quotidienne) de l'Oresine® du Bol d'Air Jacquier® ne semble pas permettre aux athlètes de percevoir une meilleure récupération ou une fatigue moindre par rapport au groupe témoin. Les mêmes échelles pourront, en revanche, être utilisées pour analyser l'impact de la cryostimulation sur la récupération des sportifs.

Variabilité de la fréquence cardiaque

Contrairement à ce qui était attendu, les variables analysées montrent peu de variation du système nerveux végétatif suite à un stage d'entraînement en endurance avec une grosse charge d'entraînement (aucune différence significative) ou sur tout un groupe de joueurs de handball tout au long de leurs entraînements. Cela est valable pour tous les groupes, avec ou sans inhalation d'Oresine®.

Suite à une revue de la littérature, nous pouvons donner quelques explications :

- 1) Cette variable est adaptée au suivi individuel à long terme d'un athlète c'est-à-dire adaptée à une étude clinique. En effet elle est utilisée chez les athlètes de haut niveau dans le cadre d'une prévention individualisée du surentraînement et de la fatigue centrale (test à échéance régulière 3 à 4 fois par semaine puis adaptation de l'entraînement en fonction des résultats obtenus) (Schmitt 67).
- 2) Elle est utilisée pour observer les effets aigus d'exercice différents (sprint vs footing) (Buchheit, 18).
- 3) Le suivi de la variabilité de la fréquence cardiaque ainsi que le recueil des données est très sensibles à la fatigue, à l'exercice, à la position du sujet au moment de l'enregistrement dans la journée. Nos différentes conditions expérimentales ont toutes été bien contrôlées. En revanche certaines variables ne peuvent pas toujours être contrôlées de manière optimale : immobilité, stress psychologique, pensée parasites.
- 4) Il n'est pas exclu que l'odeur (agréable ou non) de l'Orésine® ait un impact neurophysiologique différent en fonction des individus. Schmitt fait l'hypothèse que la perception des odeurs aurait une influence sur le système neurovégétatif.
- 5) Enfin, il ne faut pas non plus ignorer le nombre important d'études qui n'ont pas permis d'observer les résultats espérés (Aubert, 2003) (absence de différences de VFC après entraînement, aucun effet d'une fatigue importante sur la VFC (Bosquet, 2003).

Nous n'avons donc pas mis en évidence les éventuels effets du Bol d'Air Jacquier sur les paramètres relatifs à la variabilité de la fréquence cardiaque.

Concernant les différents articles sur les effets de la cryostimulation que nous avons recensé précédemment, aucune étude n'a, à ce jour, étudié les effets de celle-ci sur la variabilité de la fréquence cardiaque. Il pourrait donc être intéressant d'effectuer le même protocole sur cet outil pour éventuellement comparer les deux techniques de récupération.

Limites

Nous n'avons pas effectué de mesures en « Cross-over », c'est-à-dire en administrant au même groupe l'inhalation et la non inhalation d'Orésine® dans un ordre aléatoire. Si tel avait été le cas, nous aurions alors pu comparer les différences de manière plus détaillée et plus pointilleuse. Mais comme ces études ne sont pas des études de laboratoire, mais de terrain, le temps aurait été multiplié par deux (5 semaines vs 10 semaines) et les sujets n'étaient pas prêt pour cela (manque de motivation et lassitude des participants).

Au niveau du protocole de mesure de la variabilité de fréquence cardiaque, il s'avère que dans de nombreuses études, le relevé des valeurs se fait directement après le réveil, le matin tôt pour éviter toute mesure « parasite » (digestion, cycle veille/sommeil...). Malheureusement, il était impossible pour nous de réaliser des mesures dans ces conditions. Nous aurions pu également allonger le temps en position de décubitus dorsale pour avoir une période stable de meilleure qualité.

V. CONCLUSION GENERALE

Dans le cas précis de ces deux études, le Bol d'Air Jacquier® n'a pas permis une amélioration de la récupération sur des paramètres objectifs (variabilité de la fréquence cardiaque) et subjectifs (questionnaire de récupération et de fatigue). Cela est valable tout au long d'une cure (1 à 5 semaines) ou pour un effet aigu (suite à une inhalation).

Nous avons tout de même pu mettre en évidence l'existence de liens entre les paramètres objectifs (variabilité de la fréquence cardiaque) et des paramètres subjectifs (échelles de perception de la récupération et de la fatigue). Il nous paraît donc important, dans le cadre du suivi de l'entraînement, d'interpréter simultanément les charges d'entraînements, les indices de perception de fatigue et de récupération avec les indices de variabilité de fréquence cardiaque. Cela permettrait de rendre compte de l'état d'adaptation du système nerveux autonome en réponse à l'entraînement et donc d'avoir une lisibilité totale des effets de l'entraînement.

Perspectives

L'étude de la variabilité de la fréquence cardiaque associée à celle des paramètres subjectifs semble être intéressante pour évaluer les effets des techniques de récupération chez le sportif. Les protocoles que nous avons mis en place dans les différentes études pourraient être utilisés pour évaluer les effets de la cryostimulation sur la récupération du sportif.

Concernant les effets « récupérateurs » du Bol d'Air Jacquier sur le sportif, les études étant inexistantes, il reste encore de nombreux champs à explorer. Il nous paraît donc intéressant d'effectuer des analyses biologiques pour mieux comprendre ces effets.

BIBLIOGRAPHIE

1. Al Haddad H, Laursen PB, Ahmaidi S, Buchheit M (2009). Influence of cold water face immersion on post-exercise parasympathetic reactivation. *Eur J Appl Physiol*, Oct 31.
2. Amorim FT, Yamada PM, Robergs RA, and Schneider SM. Palm cooling does not reduce heat strain during exercise in a hot, dry environment. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme* 35: 480-489, 2010.
3. Armada-da-Silva PA, Woods J, and Jones DA. The effect of passive heating and face cooling on perceived exertion during exercise in the heat. *European journal of applied physiology*, 91: 563-571, 2004.
4. Arngrimsson SA, Petitt DS, Stueck MG, Jorgensen DK, and Cureton KJ. Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *J Appl Physiol*, 96: 1867-1874, 2004.
5. Bandelow S, Maughan R, Shirreffs S, Ozgunen K, Kurdak S, Ersoz G, Binnet M, and Dvorak J. The effects of exercise, heat, cooling and rehydration strategies on cognitive function in football players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 Suppl 3: 148-160, 2010.
6. Banfi C, Melegati G, Barassi A, Dogliotti G, Melzi d'Eril G, Dugue B, and Corsi M. Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes. *Journal of Thermal Biology*, 34: 55-59, 2009.
7. Banfi G, Krajewska M, Melegati G, and Patacchini M. Effects of whole-body cryotherapy on haematological values in athletes. *Br J Sports Med*, 42: 858, 2008.
8. Banfi G, Lombardi G, Colombini A, and Melegati G. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med*, 40: 509-517, 2010.
9. Banfi G, Melegati G, Barassi A, and d'Eril GM. Effects of the whole-body cryotherapy on NTproBNP, hsCRP and troponin I in athletes. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 12: 609-610, 2009.

10. Barr D, Gregson W, and Reilly T. The thermal ergonomics of firefighting reviewed. *Appl Ergon*, 41: 161-172, 2010.
11. Barr D, Gregson W, Sutton L, and Reilly T. A practical cooling strategy for reducing the physiological strain associated with firefighting activity in the heat. *Ergonomics*, 52: 413-420, 2009.
12. Barr D, Reilly T, and Gregson W. The impact of different cooling modalities on the physiological responses in firefighters during strenuous work performed in high environmental temperatures. *European journal of applied physiology*, 111: 959-967, 2011.
13. Barwood MJ, Davey S, House JR, and Tipton MJ. Post-exercise cooling techniques in hot, humid conditions. *European journal of applied physiology*, 107: 385-396, 2009.
14. Becker LB. Cooling heads and hearts versus cooling our heels. *Circulation* 122: 679-681, 2010.
15. Beliveau. La fatigue musculaire. Aspects biochimiques et physiologiques / muscle fatigue [Broché] Atlan; 1991.
16. Bringard A, Denis R, Belluye N, Perrey S. External elastic compression and muscle function in humans. *Sci Sports*, 2007; 22: 3–13
17. Buchheit M, Peiffer JJ, Abbiss CR, Laursen PB (2009). Effect of cold water immersion on postexercise parasympathetic reactivation. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 296: 421-427
18. Buchheit M, Kuitunen S, Voss SC, Williams BK, Mendez-Villanueva A, Bourdon PC. (2012). Physiological strain associated with high-intensity hypoxic intervals in highly trained young runners. *J Strength Cond Res*. 2012 Jan;26(1):94-105.
19. Budgett R. fatigue and underperformance in athletes: the overtraining syndrome. *Br J Sports Med*, 1998 ; 3 ; 107-10.
20. Cassirame J. et al. L'utilisation d'un nouveau système d'enregistrement de fréquence cardiaque battement à battement pour l'analyse traditionnelle de variabilité de fréquence cardiaque, *Science & Sports*, (2007), doi: 10.1016/j.scispo.2007.07.006.

21. Castle PC, Macdonald AL, Philp A, Webborn A, Watt PW, and Maxwell NS. Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *J Appl Physiol*, 100: 1377-1384, 2006.
22. Chennaoui M., D. Gomez-Merino, Duclos M., Guézenne C.Y.. La fatigue : mécanismes et conséquences. Doi : 10.1016/j.scispo. 2004. 05. 006.
23. Cholewka A, Stanek A, Sieron A, and Drzazga Z. Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy. *Skin Res Technol*, 18: 180-187, 2012.
24. Costello JT, Algar LA, and Donnelly AE. Effects of whole-body cryotherapy (-110 degrees C) on proprioception and indices of muscle damage. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 22: 190-198, 2012.
25. De Pauw K, De Geus B, Roelands B, Lauwens F, Verschueren J, Heyman E, and Meeusen RR. Effect of five different recovery methods on repeated cycle performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 43: 890-897, 2011.
26. Dugue B and Leppanen E. Adaptation related to cytokines in man: effects of regular swimming in ice-cold water. *Clin Physiol*, 20: 114-121, 2000.
27. Dugue B, Smolander J, Westerlund T, Oksa J, Nieminen R, Moilanen E, and Mikkelsen M. Acute and long-term effects of winter swimming and whole-body cryotherapy on plasma antioxidative capacity in healthy women. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 65: 395-402, 2005.
28. Dybek T, Szygula R, klimek A, and Tubek S. IMPACT OF 10 SESSIONS OF WHOLE BODY CRYOSTIMULATION ON AEROBIC AND ANAEROBIC CAPACITY AND ON SELECTED BLOOD COUNT PARAMETERS. *Biology of Sport*, 23: 39-43, 2012.
29. Edwards AM, Bentley MB, Mann ME, Sesholme TS. Self-pacing in interval training: a teleoanticipatory approach. *Psychophysiology*. 2011 Jan;48(1):136-41
30. Engel P, Fricke R, Taghawinejad M, and Hildebrandt G. Ganzkörperkaltebehandlung bei Patienten mit chronischer Polyarthritits. *Phys Med Baln Med Klim*, 18: 37-43, 1989.
31. Foster C. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome, 1998 *Med Sci Sport Exerc*, Vol. 30, No 7, pp. 1164-1168

32. Gordon NF, Bogdanffy GM, and Wilkinson J. Effect of a practical neck cooling device on core temperature during exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 22: 245-249, 1990.
33. Grahn DA, Cao VH, and Heller HC. Heat extraction through the palm of one hand improves aerobic exercise endurance in a hot environment. *J Appl Physiol*, 99: 972-978, 2005.
34. Grémion G. Les exercices d'étirement dans la pratique sportive ont-ils encore leur raison d'être ? Une revue de la littérature. Hôpital orthopédique de la Suisse romande, CHUV, in *Revue médicale suisse*, n°28, 2005.
35. Hamlin MJ, Mitchell CJ, Ward FD, Draper N, Shearman JP and Kimber NE. Effect of compression garments on short-term recovery of repeated sprint and 3-km running performance in rugby union players. *J Strength Cond Res* 26 (11) : 2975-2982, 2012.
36. Hausswirth C, Louis J, Bieuzen F, Pournot H, Fournier J, Filliard JR, and Brisswalter J. Effects of whole-body cryotherapy vs. far-infrared vs. passive modalities on recovery from exercise-induced muscle damage in highly-trained runners. *PloS one*, 6: e27749, 2011.
37. Hemmings B, Smith M et coll. (2000) *Br J Sports Med*. 34:109-14.
38. Herrera E, Sandoval MC, Camargo DM, and Salvini TF. Effect of walking and resting after three cryotherapy modalities on the recovery of sensory and motor nerve conduction velocity in healthy subjects. *Rev Bras Fisioter*, 15: 233-240, 2011.
39. Hsu AR, Hagobian TA, Jacobs KA, Attallah H, and Friedlander AL. Effects of heat removal through the hand on metabolism and performance during cycling exercise in the heat. *Canadian journal of applied physiology = Revue canadienne de physiologie appliquee* 30: 87-104, 2005.
40. James A. PRACTICAL ILLUSTRATIONS OF THE REMEDIAL EFFICACY OF A VERY LOW OR ANÆSTHETIC TEMPERATURE.—I. IN CANCER. *The Lancet*, 56: 316-318, 1850.
41. Klimek AT, Lubkowska A, Szygula Z, Chudecka M, and Fraczek B. Influence of the ten sessions of the whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic

- capacity. *International journal of occupational medicine and environmental health*, 23: 181-189, 2010.
42. Klimek AT, Lubkowska A, Szygula Z, Fraczek B, and Chudecka M. The influence of single whole body cryostimulation treatment on the dynamics and the level of maximal anaerobic power. *International journal of occupational medicine and environmental health*, 24: 184-191, 2011.
43. Korzonek-Szlacheta I, Wielkoszynski T, Stanek A, Swietochowska E, Karpe J, and Sieron A. Influence of WBC on the levels of some hormones in professional footballers. *Polish Journal of Endocrinology*, 58: 27-32, 2007.
44. Larrey JD. *Memoires de chirurgie militaire, et campagnes*. Paris, 1817.
45. Leppaluoto J, Westerlund T, Huttunen P, Oksa J, Smolander J, Dugue B, and Mikkelsen M. Effects of long-term whole-body cold exposures on plasma concentrations of ACTH, beta-endorphin, cortisol, catecholamines and cytokines in healthy females. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 68: 145-153, 2008.
46. Lubkowska A and Szygula Z. Changes in blood pressure with compensatory heart rate decrease and in the level of aerobic capacity in response to repeated whole-body cryostimulation in normotensive, young and physically active men. *International journal of occupational medicine and environmental health*, 23: 367-375, 2010.
47. Lubkowska A, Chudecka M, Klimek A, Szygula Z, and Fraczek B. Acute effect of a single whole body cryostimulation on prooxidant- antioxidant balance in blood of healthy, young men. *Journal of Thermal Biology*, 33: 464-467, 2008.
48. Lubkowska A, Dolegowska B, Szygula Z, and Klimek A. Activity of selected enzymes in erythrocytes and level of plasma antioxidants in response to single whole-body cryostimulation in humans. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 69: 387-394, 2009.
49. Lubkowska A, Szygula Z, Chlubek D, and Banfi G. The effect of prolonged whole-body cryostimulation treatment with different amounts of sessions on chosen pro- and anti-inflammatory cytokines levels in healthy men. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 71: 419-425, 2011.

50. Lubkowska A, Szygula Z, Klimek AJ, and Torii M. Do sessions of cryostimulation have influence on white blood cell count, level of IL6 and total oxidative and antioxidative status in healthy men? *European journal of applied physiology*, 109: 67-72, 2010.
51. Malliani A. The pattern of sympathovagal balance explored in the frequency domain. *News Physiol Sci*, 1999 ; 14 : 111-7
52. Martin V, Millet GY et coll. (2004) *Med Sci Sports Exerc.* 36:1907-15.
53. McEniery CM, Jenkins DG et coll. (1997) *Eur J Appl Physiol*, 75: 462-66.
54. Mercier B. Antioxidant activity of Bol d'air Jacquier® breathing sessions in wistar rats – first studies. *International Journal of occupational medicine and environmental health*, 2008;21(1): 1-16 DOI
55. Mercier B. The essential oil of turpentine and its major volatile fraction (α - and β -minenes): a review. *International Journal of occupational medicine and environmental health*, 2009;22(4): 331-342 DOI
56. Metzger D, Zwingmann C, Protz W, and Jackel WH. [Whole-body cryotherapy in rehabilitation of patients with rheumatoid diseases--pilot study]. *Die Rehabilitation* 39: 93-100, 2000.
57. Miller E, Markiewicz L, Saluk J, and Majsterek I. Effect of short-term cryostimulation on antioxidative status and its clinical applications in humans. *European journal of applied physiology*, 112: 1645-1652, 2012.
58. Miller E, Mrowicka M, Malinowska K, Kedziora J, and Majsterek I. [The effects of whole-body cryotherapy and melatonin supplementation on total antioxidative status and some antioxidative enzymes in multiple sclerosis patients]. *Polski merkuriusz lekarski : organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego* 31: 150-153, 2011.
59. Miller E, Mrowicka M, Malinowska K, Mrowicki J, Saluk-Juszczak J, and Kedziora J. Effects of whole-body cryotherapy on a total antioxidative status and activities of antioxidative enzymes in blood of depressive multiple sclerosis patients. *The world journal of biological psychiatry : the official journal of the World Federation of Societies of Biological Psychiatry*, 12: 223-227, 2011.

60. Millot J.L, Brand F, Morand N. (2002). Effects of ambient odors on reaction time in humans. *Neuroscience Letters*, 322 (2002) 79-82
61. Petibois C., Cazorla G., Déléris G., H Gin. L'étiologie clinique du surentraînement au travers de l'examen sanguin : état des connaissances. *Rev Méd Interne*, 2001 ; 22 : 723-36.
62. Pournot H, Bieuzen F, Louis J, Mounier R, Fillard JR, Barbiche E, and Hausswirth C. Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PloS one*, 6: e22748, 2011.
63. Rejeski WJ, Brawley LR, Shumaker SA. Physical activity and health-related quality of life. *Exerc Sport Sci Rev*. 1996;24:71-108.
64. Rymaszewska J, Bialy D, Zagrobelny Z, and Kiejna A. [The influence of whole body cryotherapy on mental health]. *Psychiatria polska*, 34: 649-653, 2000.
65. Rymaszewska J, Ramsey D, and Chladzinska-Kiejna S. whole-body cryotherapy as adjunct treatment of depressive and anxiety disorders. *Arch Immunol Ther Exp*, 56: 63-68, 2008.
66. Saboul D, Pialoux V and Hautier C. The impact of breathing on HRV measurements: Implications for the longitudinal follow-up of athletes. *Eur J Sports Sci*, DOI: 10.1080/17461391.2013.767947
67. Schmitt L (2007). Effets de l'entraînement en hypoxie et suivi de l'activité du système nerveux végétatif mesurée à partir de la variabilité de la fréquence cardiaque chez des athlètes de haut niveau en endurance. Thèse de Doctorat de Biologie. Université Paris XIII.
68. Schmitt L, Millet G, Fouillot JP, Nicolet G, Coulmy N, Regnard J (2009). Typologie de la fatigue à partir de l'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque chez des athlètes d'endurance élités. *ACAPS in press*.
69. Schmitt L, Millet G, Fouillot JP, Nicolet G, Coulmy N, Regnard J (2009). Typologie de la fatigue à partir de l'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque chez des athlètes d'endurance élités. *ACAPS in press*.
70. Simmons SE, Mundel T, and Jones DA. The effects of passive heating and head-cooling on perception of exercise in the heat. *European journal of applied physiology*, 104: 281-288, 2008.

71. Smets et al. , 1995; De Luca, 1984. L'inventaire multidimensionnel de la fatigue (Multidimensional Fatigue Inventory, MFI)
72. Smolander J, Leppaluoto J, Westerlund T, Oksa J, Dugue B, Mikkelsen M, and Ruokonen A. Effects of repeated whole-body cold exposures on serum concentrations of growth hormone, thyrotropin, prolactin and thyroid hormones in healthy women. *Cryobiology*, 58: 275-278, 2009.
73. Smolander J, Mikkelsen M, Oksa J, Westerlund T, Leppaluoto J, and Huttunen P. Thermal sensation and comfort in women exposed repeatedly to whole-body cryotherapy and winter swimming in ice-cold water. *Physiology & behavior*, 82: 691-695, 2004.
74. Smolander J, Westerlund T, Uusitalo A, Dugue B, Oksa J, and Mikkelsen M. Lung function after acute and repeated exposures to extremely cold air (-110 degrees C) during whole-body cryotherapy. *Clinical physiology and functional imaging*, 26: 232-234, 2006.
75. Stamford BA, Moffatt RJ et coll. (1978). *J Appl Physiol*. 45: 244-8.
76. Stanek A, Grzegorz C, Matyszkiewicz B, Rozmuz-Kuczia I, Sieron-Stoltny K, Koczy B, and Sieron A. SUBJECTIVE ESTIMATION OF THERAPEUTIC EFFICACY OF WHOLE-BODY CRYOTHERAPY IN PATIENTS WITH ANKYLOSING SPONDYLITIS. 2006.
77. Stanek A, Sieron A, Cieslar G, Matyszkiewicz B, and Rozmuz-Kuczia I. The impact of whole-body cryotherapy on parameters of spinal mobility in patients with ankylosing spondylitis. *Ortopedia, traumatologia, rehabilitacja*, 7: 549-554, 2005.
78. Task Force (1996). Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93: 1043-1065.
79. Uckert S and Joch W. Effects of warm-up and precooling on endurance performance in the heat. *Br J Sports Med*, 41: 380-384, 2007.
80. Westerlund T, Oksa J, Smolander J, and Mikkelsen M. Neuromuscular adaptation after repeated WBC (-110°). *Journal of Thermal Biology*, 34: 226-231, 2009.
81. Westerlund T, Oksa J, Smolander J, and Mikkelsen M. Thermal responses during and after whole-body cryotherapy (-110°C). *Journal of Thermal Biology*, 28: 601-608, 2003.

82. Wozniak A, Wozniak B, Drewa G, and Mila-Kierzenkowska C. The effect of whole-body cryostimulation on the prooxidant-antioxidant balance in blood of elite kayakers after training. *European journal of applied physiology*, 101: 533-537, 2007.
83. Yamauchi T. Whole-body cryotherapy is a method of extreme cold (-175°C) treatment initially used for rheumatoid arthritis. *Z Phys Med Baln Med Klim*, 15: 311, 1988.
84. Zagrobelny Z, Halawa B, Negrusz-Kawecka M, Spring A, Gregorowicz H, Wawrowska A, and Rozwadowski G. [Hormonal and hemodynamic changes caused by whole body cooling in patients with rheumatoid arthritis]. *Polskie Archiwum Medycyny Wewnętrznej*, 87: 34-40, 1992.

ANNEXES

Annexe 1 : HASSENFRAZ C, RAVIER G, GRAPPE F. Bol d'Air Jacquier et perception de la récupération en cyclisme. Résumé. Soumis à la 3ème édition des journées G. Cometti. Dijon, 12 – 13 Avril 2013

Annexe 2 : HASSENFRAZ C, RAVIER G, GRAPPE F. Bol d'Air Jacquier et perception de la récupération en cyclisme. Poster. Soumis à la 3ème édition des journées G. Cometti. Dijon, 12 – 13 Avril 2013