

Master 2nde année mention STAPS : EOPS

ENTRAÎNEMENT ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE SPORTIVE
ANNÉE UNIVERSITAIRE 2022-2023

MEMOIRE

**TITRE : L'IMPACT DE L'IMMERSION EN EAU FROIDE
CHEZ LE JEUNE FOOTBALLEUR DE HAUT NIVEAU :
RÉCUPÉRATION ET PERFORMANCE**

PRÉSENTÉ PAR : GOSSET MARIUS

SOUS LA DIRECTION DE : CAMPILLO PHILIPPE

SOUTENU LE . . / . . /

DEVANT LE JURY :

STAPS : EOPS (Entraînement et Optimisation de la Performance Sportive)

« La Faculté des Sciences du Sport et de l'Éducation Physique n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les mémoires; celles-ci sont propres à leurs auteurs. »

Table des matières

Table des matières	3
Glossaire	4
Listes des abréviations	5
Listes des figures	5
Listes des Tableaux	6
Listes des Graphiques	6
Remerciements	7
1. Introduction	9
2. Revue de littérature	10
2.1 Le processus de récupération.....	10
2.2 Les techniques de récupération en football.....	13
2.2.1 L'exposition au froid.....	14
2.2.2.1 L'immersion en eau froide (CWI).....	16
3. Problématique, objectifs et hypothèses	18
3.1 Problématique.....	18
3.2 Objectifs.....	18
3.3 Hypothèses.....	18
4. Le stage	19
4.1 Milieu professionnel de la structure.....	19
4.2 Les sujets.....	20
5. Matériel, méthodes et protocole	21
5.1 Protocole expérimental.....	21
5.1.1 Mise en place des protocoles d'immersion en eau froide.....	21
5.1.2 Mise en place des tests.....	22
5.2 Analyse statistiques.....	25
6. Résultats	26
Tableau des résultats des tests Counter Movement Jump en annexes (N°19)	26
Analyses statistiques des résultats.....	28
7. Discussion	29
7.1 Rappel des hypothèses.....	29
7.2 Discussion des résultats.....	30
7.2.1 CMJ Bras libre.....	30
7.2.2 La fatigue.....	31
7.2.3 Les courbatures.....	32
7.2.4 Le stress.....	33
7.2.5 Le sommeil.....	34
7.2.8 Test my sprint.....	36
7.2.9 Les charges de travail.....	37
7.3 Les limites de l'étude et problèmes rencontrés.....	38
8. Conclusion	39
9. Bibliographie	40
10. ANNEXES	45
7.2.4 Le stress.....	66
Résumé et mots-clés	80
Abstract and keywords	81
Compétences acquises entre le début du stage et la soutenance du mémoire :	82

Glossaire

Adénosine Triphosphate : Composé de nucléotides associé à un triphosphate. Cette molécule est présente dans les organismes vivants et a pour objectif de fournir l'énergie aux cellules.

Bêta endorphine : La bêta-endorphine est le peptide opioïde qui produit la plus grande sensation d'euphorie, elle permet également de diminuer la douleur (son pouvoir analgésique est plusieurs fois supérieur à la morphine). Ce peptide est produit durant l'exercice physique soutenu ou encore durant une séance de sauna et produit cette sensation en se fixant sur des récepteurs opioïdes de types "mu" (Une des 4 familles de récepteurs d'opioïdes).

Créatine kinase : C'est une enzyme localisée dans le cytosol ou les mitochondries des cellules. Elle est présente dans l'organisme après l'effort car elle est utilisée pour resynthétiser l'ATP à partir d'ADP et de phospho créatine.

Cytokines pro-inflammatoires et anti-inflammatoires : Protéines qui permettent la communication entre les cellules immunes et déterminent l'orientation de la réponse immunitaire en fonction de la nature du signal détectée.

Interleukine : Groupe de substances naturelles semblables aux hormones et qui sont produites par les globules blancs (ils aident le corps à combattre les infections et les maladies). Les interleukines sont un type de cytokine. Elles agissent comme des messagers pour réguler et stimuler le système immunitaire. Par exemple, l'interleukine-6 (IL-6) est une protéine dont l'un des rôles est d'attirer les cellules immunitaires vers la zone lésée suite à un exercice inducteur de dommages musculaires.

Lactate déshydrogénase : Enzyme présente dans presque tous les tissus et les organes du corps humain. Un taux élevé de LDH dans le sang signifie que les cellules présentes dans les tissus se sont brisées, ce qui a permis au LDH de se déverser dans le sang. Le LDH est utilisé comme marqueur de dommages musculaire.

Radicaux libres oxygénés : Molécules d'oxygène très réactives qui participent à la destruction des agents infectieux (bactéries et parasites) par ces cellules.

Sarcolemme : Fine membrane qui entoure la myofibre des muscles striés.

Listes des abréviations

ATP : Adénosine Triphosphate

ARN : Acide Ribonucléique

CK : Créatine Kinase

CMJ : Counter Movement Jump

CWI : Cold Water Immersion (Immersion en eau froide)

EIMD : Exercice Inducteur de Dommages Musculaire

ICE : Immersion Corps Entier

IL : Interleukine

LDH : Lactate déshydrogénase

RLO : Radicaux libres oxygénés

Listes des figures

Figure 1 : Schéma du phénomène de surcompensation (Savard, 2002).....	9
Figure 2 : Effets des techniques de récupération sur la cinétique des dommages musculaires (CK) et les marqueurs inflammatoires (CRP et IL-6). (Douzi, 2018).....	12
Figure 3 : Les stratégies les plus fréquemment utilisées par les clubs de football professionnel (Field et al. 2021).....	13
Figure 4 : Résumé sur des facteurs influençant l'efficacité du post-cooling, ses effets sur les réponses physiologiques et sur les paramètres objectifs et subjectifs (Douzi. 2018).....	15
Figure 5 : Wellness questionnaire shared by FC Barcelona (Extrait de Hooper & Mackinnon, 1995).....	21
Figure 6 : Questionnaire "The Perceived Recovery Status Scale" (Laurent, 2011).....	21
Figure 7 : Counter Movement Jump bras libre.....	22
Figure 8 : Optojump Next.....	22
Figure 9 : Test force - vitesse my sprint.....	23
Figure 10 : Formule pour calculer la taille de l'effet.....	27

Listes des Tableaux

<u>Tableau 1</u> : Caractéristiques de la population.....	19
<u>Tableau 2</u> : Résultats tests CMJ.....	62
<u>Tableau 3</u> : Résultats tests my sprint.....	63
<u>Tableau 4</u> : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective de la fatigue (Questionnaire de Hooper)	64
<u>Tableau 5</u> : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective des courbatures (Questionnaire de Hooper)	65
<u>Tableau 6</u> : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective du stress (Questionnaire de Hooper).....	66
<u>Tableau 7</u> : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective du sommeil (Questionnaire de Hooper)	67
<u>Tableau 8</u> : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective du bien être (Questionnaire de Hooper).....	68
<u>Tableau 9</u> : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective de la récupération (Questionnaire de Laurent)	69
<u>Tableau 10</u> : Variation moyenne sur 4 semaines des CMJ bras libre.....	70

Listes des Graphiques

<u>Graphique 1</u> : évolution des performances tests CMJ bras libre Groupe contrôle.....	25
<u>Graphiques 2-3-4</u> : Notes des paramètres du questionnaire de Hooper en fonction des groupes.....	26
<u>Graphique 5</u> : Notes questionnaire de Hooper en fonction des groupes sur la semaine.....	26
<u>Graphique 6</u> : Notes questionnaire de Laurent en fonction des groupes sur la semaine.....	26
<u>Graphiques 7-8-9</u> : Evolution des performances sur le test my sprint.....	27
<u>Graphique 10</u> : Variation moyenne sur 4 semaines des charges d'entraînement en fonction des groupes.....	27

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont permis de réaliser ce mémoire.

Tout d'abord, merci à la **faculté des sports** et à l'ensemble des **enseignants** pour leurs partages de connaissances, leurs disponibilités, leurs pédagogies, leurs compréhensions, leurs aides en général et leurs temps pris pour répondre à nos interrogations.

Merci au **Racing Club de Lens** pour m'avoir permis de réaliser mon stage et ce mémoire. Merci à **Jonathan Catalano, Lucien Bellanger, Laurent Bessière, Benoit Delaval, Alexis Coquart, Guillaume Huou et Alexis Vercruyse** pour vos échanges, vos disponibilités et vos conseils qui m'ont beaucoup aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Merci à **Anthyme Charlet, Yvan Dzierzynski, Anthony Matrisciano, Choteau Samuel et Lucas Della Franca** pour votre confiance, votre bonne humeur et à toute l'aide que vous m'avez apportée durant cette année.

Merci à **Eric Assadourian** pour votre confiance et votre écoute durant toute la saison.

Je remercie également l'ensemble des **joueurs U16 et U17** du RC Lens pour votre implication chaque jour de l'année dans votre préparation physique.

Merci à toute la formation du RC Lens **Vincent Carlier, Walid Mesloub, Thierry Malaspina, Yohan Demont, Jean-Pierre Lauricella, Pierre Capitaine, Olivier Bijotat, Samba Sow, Alaeddine Yahia, Guillaume Ciupa et Dominique Delatre** pour votre bonne humeur, vos échanges et vos conseils qui m'ont beaucoup appris.

Merci à mes **formateurs du Brevet de Moniteur de Football** qui m'ont aidé à devenir un meilleur préparateur athlétique grâce à leurs connaissances footballistiques, pédagogiques et leurs conseils.

Merci à mon directeur de mémoire Monsieur **Philippe Campillo** pour son implication, ses explications, sa pédagogie et toute l'aide qu'il a pu m'apporter durant cette année.

Merci à l'ensemble de mes **proches** qui m'ont soutenu durant cette année chargée en travail.

1. Introduction

« Le football (ou soccer dans les pays anglophones) est le jeu le plus populaire au monde. La FIFA recense 270 millions de pratiquants, compte 301 000 clubs, 38 287 000 licenciés dont 113 000 joueurs professionnels. Le football possède le statut de sport numéro un dans la majorité des pays. Certains continents, comme l'Afrique, l'Amérique du Sud et l'Europe, sont même presque entièrement dominés par cette discipline. Le football est un sport collectif opposant deux équipes de onze joueurs sur un terrain. L'objectif de chaque formation est de mettre un ballon sphérique dans le but adverse, sans utiliser les bras, et de le faire plus souvent que l'autre équipe. » (Vigne, 2011)

« Le football est une activité multifactorielle, c'est-à-dire que la performance d'un joueur dépend de l'interaction de ses capacités techniques, tactiques, physiques et mentales. Chaque poste de jeu présente des spécificités qui varient selon les exigences et les orientations technico-tactiques (animation défensives et offensives) impulsées par le staff technique. Comme beaucoup de techniciens de très haut niveau le disent, la préparation physique tient une place importante dans le football moderne, qu'elle soit intégrée, dissociée ou associée. » (Dellal, 2020)

Dans un premier temps, la préparation a pour objectif d'améliorer les performances du joueur en développant les qualités physiques propres au football. Mais ces dernières années les instances du football ont alourdi les calendriers et les joueurs se retrouvent à enchaîner des matchs tous les 3 jours ce qui ne laisse plus vraiment de temps pour le développement des qualités physiques. L'incidence des blessures est 6,2 fois plus grande lorsque l'on joue 3 fois par semaine (48 à 72 h de récupération) en comparaison avec 1 match par semaine (Dupont, 2010). Un joueur évoluant en championnat et en équipe nationale peut se retrouver à participer à 2 compétitions nationales (coupe et championnat), une coupe d'Europe, des matchs de qualifications en équipe nationale, la coupe du monde ou le championnat européen (EURO), la ligue des nations et les jeux olympiques. On peut évidemment penser à Pedro González López, dit Pedri, qui a battu le record de matchs joués en une saison en participant à 73 rencontres durant la saison 2020-2021 (52 avec le FC Barcelone, 10 avec l'équipe nationale d'Espagne et 11 avec l'équipe olympique (U21) (5 168 minutes)). Il a été forcé de suivre des principes très détaillés sur sa récupération et cela a payé car il a réussi à éviter les blessures durant cette saison, ce qui est un véritable exploit ! En effet, "l'incidence globale des blessures chez les footballeurs professionnels masculins était de 8,1 blessures/1000 heures d'exposition. L'incidence des blessures en match (36 blessures/1000 heures d'exposition) était presque 10 fois supérieure au taux d'incidence des blessures à l'entraînement (3,7 blessures/1000 heures d'exposition)" (Lopez-Valenciano et al., 2020).

De plus en plus de préparateurs physiques en football se disent être aujourd'hui des "récupérateurs physiques" (Broussal & Bolliet, 2015). Ils gèrent la charge des joueurs, communiquent

avec les kinésithérapeutes, médecins, diététiciens, ils font parfois appel à des spécialistes du sommeil afin d'optimiser la récupération de leurs sportifs.

Dans cette revue de littérature nous définirons la récupération dans un premier temps, puis dans un second temps nous détaillerons les étapes de ce processus et conclurons sur les différentes techniques et méthodes utilisées dans le football visant l'optimisation de la récupération.

2. Revue de littérature

2.1 Le processus de récupération

« La récupération est la capacité à revenir ou excéder sa performance lors d'une activité particulière. »
(Bishop, 2018)

Bishop différencie 3 types de récupération :

- La récupération immédiate qui correspond à la récupération qui a lieu entre des efforts rapides et très rapprochés dans le temps.
- La récupération à court terme, c'est la récupération entre deux efforts dans un exercice donné.
- La récupération à long terme, celle entre deux séances d'entraînement ou deux compétitions.

Pour que le processus de récupération existe il doit y avoir une fatigue préalable :

Les exercices physiques induisent des dommages musculaires, ces dommages sont la plupart du temps liés au travail excentrique (Kwiecien al., 2018). Les dommages musculaires engendrent la production de radicaux libres oxygénés qui dénaturent les protéines, les lipides et les acides nucléiques ce qui déstabilise les sarcolemmes et rend donc les fibres musculaires plus perméables et exposés à des micro-déchirures au niveau des membranes cellulaires et du réticulum sarcoplasmique. Ce mécanisme engendre des réactions inflammatoires avec une sécrétion de cytokines pro-inflammatoire par les neutrophiles, les lymphocytes et les monocytes. Ces substances induisent un ensemble de dégradation intramusculaire qui accentue les lésions musculaires initiales. Ces réactions créent une augmentation de la concentration des enzymes musculaires (Créatine Kinase : CK) dans la circulation systémique 24 à 48 heures à l'issue de l'exercice (Douzi, 2018).

La fatigue est observée à travers différents marqueurs physiologiques tels que les dommages musculaires, la variabilité de la fréquence cardiaque, les marqueurs sanguins, l'urée sanguine, la concentration de créatine kinase, l'hématocrite, le statut immunitaire, le profil lipidique, le statut ferrique, les marqueurs salivaires, les marqueurs urinaires, etc. La récupération correspond donc au processus qui permet à l'organisme de revenir à un état "sain" appelé homéostasie dans lequel tous ces éléments sont déterminés comme "normaux". Ces normes permettent à l'organisme de fonctionner de manière optimale.

« Un match de football de haut niveau provoque chez les joueurs des variations de fréquence cardiaque, une baisse de réserves énergétiques, des dommages musculaires, du stress oxydatif et des altérations du statut immunitaire. Incidences physiologiques auxquelles s'ajoutent des modifications de perception de la fatigue, des douleurs musculaires, du bien-être, de la qualité du sommeil, du stress psychologique et de l'humeur. » (Djaoui, 2018)

Jaïli (2014) distingue 3 types de fatigue :

« La fatigue métabolique :

Il existe trois principales réactions métaboliques qui impactent les performances sportives :

- L'acidose : L'accumulation d'ions H^+ (hydrogène) engendre une diminution du pH, ce qui entraîne une inhibition de la glycolyse.
- Les microlésions musculaires : Elles sont soit d'origine métabolique (activation des protéases et des phospholipases et insuffisance de la respiration mitochondriale) soit d'origine mécanique (contractions musculaires excentriques, microtraumatismes).
- La réaction inflammatoire : L'inflammation augmente la température par l'effet de l'interleukine sur l'hypothalamus et la pression intramusculaire par la présence d'œdème.

La fatigue musculaire :

L'augmentation de la consommation d'oxygène lors de l'exercice engendre une augmentation de la production de radicaux libres. Ces espèces radicalaires sont des éléments chimiques extrêmement réactifs. Leur production aboutit à une oxydation de plusieurs composants cellulaires, ce qui altère le bon fonctionnement cellulaire. Sur le plan mécanique, l'accumulation du travail excentrique entraîne également une perturbation aboutissant à un catabolisme de certains éléments myo-cellulaires (ensemble des réactions biochimiques de dégradation des molécules qui se déroule dans l'organisme et plus précisément dans la cellule musculaire). La pratique sportive de haut niveau aurait donc pour conséquence une atteinte des structures cellulaires par modification métabolique importante.

Cette fatigue musculaire aboutit à une perte de force musculaire : «Un mécanisme potentiel pouvant expliquer la réduction de la production de force est la "théorie du sarcomère éclaté" associée à l'EIMD (Exercice Inducteur de Dommages Musculaire), qui est causée à la suite de contractions musculaires excentriques, lorsque les sarcomères sont étirés au-delà du point de chevauchement des filaments» (Peake et al., 2017).

La fatigue psychique :

La compétition à haut niveau entraîne une pression sur le sportif aboutissant à différentes formes de stress. Le stress est défini en psychologie du sport par McGrath (2005) comme : « un

déséquilibre important entre une exigence et la capacité à faire face à cette exigence dans des situations où le doute de pouvoir faire face à l'exigence existante peut entraîner des conséquences importantes ».

- Le stress psychique : Il est dû à l'interprétation que chacun se fait des situations auxquelles il peut être confronté. Cette interprétation sera influencée par des facteurs comme une exigence de résultats, la perception de son identité, de son avenir...
- Le stress social : Il survient lors de rencontres avec d'autres personnes. Ce stress est d'autant plus présent dans le monde du sport de haut niveau qui regroupe des sportifs performants dont l'exigence est similaire. Parmi les sources de pression, il y a les entraîneurs, les dirigeants, le cercle familial et les autres sportifs.
- Le stress physique : Il a pour cause une altération physique du sportif. Il est favorisé par l'entraînement, la maladie, les traitements... »

Une fois que le processus de récupération est terminé nous pouvons observer un phénomène appelé "surcompensation" (si la gestion de la fatigue et de la récupération est réalisée intelligemment). (Figure 1)

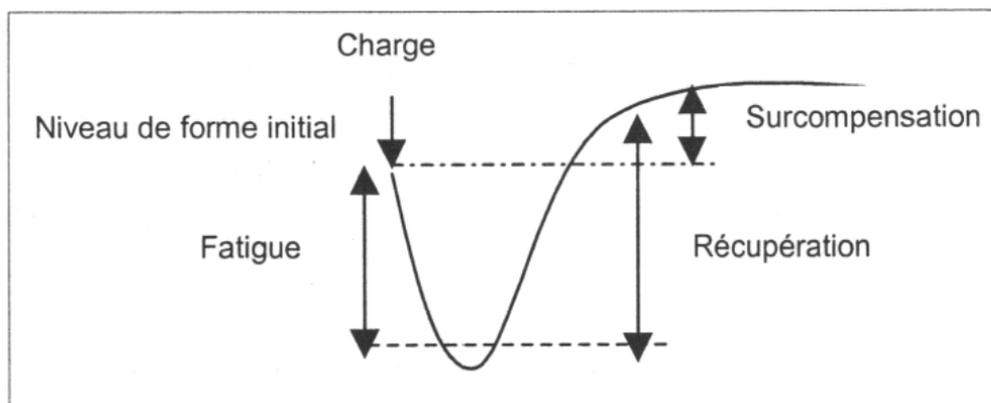


Figure 1 : Schéma du phénomène de surcompensation (Savard, 2002)

Tout préparateur physique et entraîneur cherche donc à créer une fatigue chez ses athlètes afin d'observer ce processus et continuer à faire progresser ses joueurs.

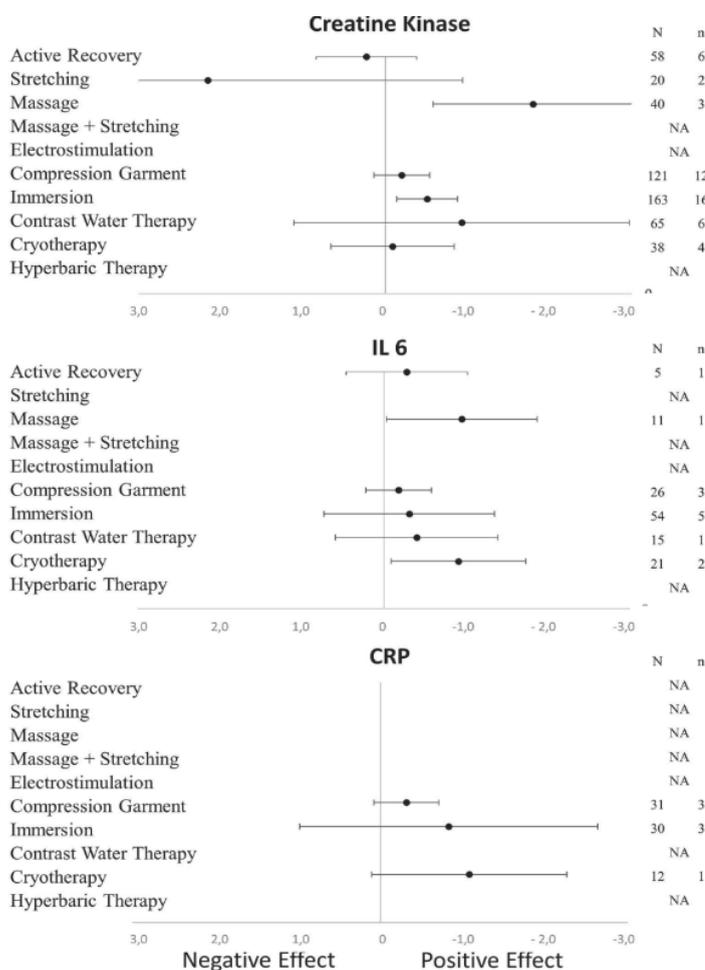
Cependant, cela n'est pas simple, car de nombreux éléments peuvent avoir un impact sur la récupération :

- Le stress qui va « ralentir la cicatrisation, diminuer la progression suite à l'entraînement, provoque une altération du système immunitaire et augmente le risque de maladie et de blessure » (Christian et al., 2007).
- Le système immunitaire : « Les cellules de ce système permettent de phagocyter et digérer les microbes, nettoient la zone lésée, stimulent la régénération musculaire. A court terme l'inflammation est néfaste mais à moyen et long terme l'inflammation est indispensable à la régénération musculaire » (Peake et al., 2011).

- Les hormones : « la production d’hormones telles que la testostérone impacte la cicatrisation musculaire. Le retour à l’homéostasie est dépendant de la vitesse des interactions » (Kraemer et al., 2017)

La récupération ne correspond pas à l’unique fait de se reposer chez soi, il existe une multitude de techniques et méthodes qui permettent d’accélérer et d’améliorer le processus en jouant sur différents aspects de la récupération.

2.2 Les techniques de récupération en football



Dans sa thèse, Douzi (2018) nous montre différentes techniques de récupération et l’impact que ces méthodes peuvent avoir sur les marqueurs sanguins que sont la créatine kinase, l’interleukine-6 et les protéines C-réactive. (Figure 2)

Field et al., (2021), ont étudié les différentes méthodes et techniques de récupération utilisées par des clubs de football professionnels. Ils ont trouvé que les 3 objectifs majeurs de la récupération étaient de soulager les dommages musculaires, minimiser le risque de blessures et optimiser la performance. Cette étude montre quelles stratégies sont utilisées et à quelle distance du match. (Figure 3)

Figure 2 : Effets des techniques de récupération sur la cinétique des dommages musculaires (CK) et les marqueurs inflammatoires (CRP et IL-6) (Douzi, 2018).

N : nombre de sujets;

n : nombre de groupes expérimentaux.

Les stratégies les plus fréquemment utilisées étaient

JM: jour de match

Stratégie de récupération	JM-3	JM-2	JM-1	JM	JM+1	JM+2	JM+3	Usage (%)	Efficacité perçue (/10)
Récupération active	14	19	18	19	71	53	16	97	7,9
Journée de récupération structurée	16	4	4	3	58	34	4	94	8,3
Journée de repos supplémentaire	8	5	3	4	56	41	6	94	8,3
Massage	41	41	55	48	69	55	38	92	6,9
Bain froid	26	29	23	65	63	25	19	91	7,6
Apport de glucides	38	38	53	81	53	38	38	90	8,3
Soutien de l'immunité	16	15	28	46	50	35	23	87	7,5
Apport de protéines	49	46	45	71	66	63	46	85	8,2
Bas de compression	18	16	28	46	49	34	19	72	6,4
Techniques utilisant la chaleur	23	19	10	14	43	20	16	69	5,8
Optimisation du sommeil	18	16	48	34	38	16	13	66	7,2
Compression pneumatique intermittente	16	15	15	28	41	25	13	57	6,3
Mélatonine	4	6	23	20	13	4	4	40	5,8
Médication pour le sommeil	1	6	19	26	4	1	3	34	4,7
Anti-inflammatoires non stéroïdiens	8	9	24	33	13	10	10	32	5
Moyenne	23	23	29	37	47	32	20	73	6,9

Figure 3 : Les stratégies les plus fréquemment utilisées par les clubs de football professionnel (Field et al., 2021)

Les bains froids sont utilisés le plus fréquemment les jours de match (après le match) et le lendemain de match avec une efficacité perçue de 76%. Mais cette étude montre des résultats concernant un public professionnel à la recherche d'une performance lors de chaque match (donc une à deux fois par semaine). Le fonctionnement des centres de formation est différent. En effet, l'objectif principal est le développement individuel du sportif donc les effets recherchés sont fondamentalement différents.

2.2.1 L'exposition au froid

L'exposition au froid est une méthode de récupération qui consiste à refroidir le corps en se plongeant dans un environnement froid, ce qui aurait pour conséquence de diminuer l'inflammation.

D'après El Kadri (2020), "la variation du débit sanguin cutané entraîne une variation de la température cutanée et donc une variation de la chaleur dissipée par convection et rayonnement. La sudation favorise la dissipation de la chaleur. Le métabolisme, la chaleur dissipée par convection, rayonnement et évaporation sont les facteurs essentiels du bilan thermique du corps humain. Au niveau de la peau, les échanges de chaleur s'effectuent par convection, rayonnement et évaporation si la sudation est activée." Le mécanisme d'échange thermique qui nous intéresse ici est la convection. Elle correspond à l'échange qui a lieu entre un solide et un fluide (ici, le corps et l'eau).

"La convection se présente sous deux grands types à savoir la convection naturelle et la convection forcée. Pour la convection naturelle, la variation de la température du fluide entraîne une variation de masse volumique et donc une circulation qui provoque l'échange de chaleur entre le solide et le fluide. Pour la convection forcée, la vitesse du fluide est provoquée par une force extérieure comme le vent ou un ventilateur, par exemple." (El Kadri, 2020)

Les effets de l'exposition au froid sur la récupération :

- “Lors des 30 premières secondes d’immersion, un choc thermique se produit. Ce phénomène se caractérise par une hyperventilation, une hypocapnie, une tachycardie et une hypertension” (Datta et al., 2006).
- Cheng et al., (2017), ont démontré que l’utilisation du froid ralentissait la resynthèse glycogénique et réduisait la performance (contrairement à la chaleur).
- La cryothérapie ne semble pas améliorer la récupération du muscle squelettique. (Sanchez, 2022)
- Moore et al., (2022) ont démontré que l’utilisation du froid permet de limiter les courbatures à 48h, 72h et 96h après un travail excentrique mais aucun effet à 24h après l’exercice. Ils ont également démontré que le froid n’avait aucun effet significatif sur le taux de lactate ou l’interleukine (marqueur inflammatoire). Cela dit, à la suite d’exercices réalisés à haute intensité, des effets positifs ont été constatés concernant la puissance musculaire, la sensation de douleur et la créatine kinase 24h après l’exercice. Cette même étude a démontré que les bains relativement courts (5-10 minutes) obtenaient de meilleurs résultats que les bains plus longs.
- L’utilisation des bains froids bloque la fabrication d’acide ribonucléique (ARN) ribosomiaux nécessaire à la fabrication des ribosomes, organites qui synthétise nos protéines et qui possèdent un rôle majeur dans la prise de masse musculaire. (Sanchez, 2022)
- L’utilisation trop fréquente du froid réduit la possibilité pour l’organisme de mettre en action des systèmes d’adaptation sur le long terme (Christensen et al., 2018). Ceci est confirmé par Sanchez (2022) qui démontre que l'utilisation chronique du froid inhibe certaines adaptations à l’entraînement en force et hypertrophie.
- Douzi, (2018), a détaillé dans ses travaux les différentes réponses physiologiques du post-cooling (exposition au froid à la suite d’un effort) :

Il existe une multitude de méthodes et techniques de récupération, certaines plus efficaces que les autres en fonction des paramètres étudiés (marqueurs sanguins, dommages musculaires, sensation de bien-être, qualité subjective de récupération...)

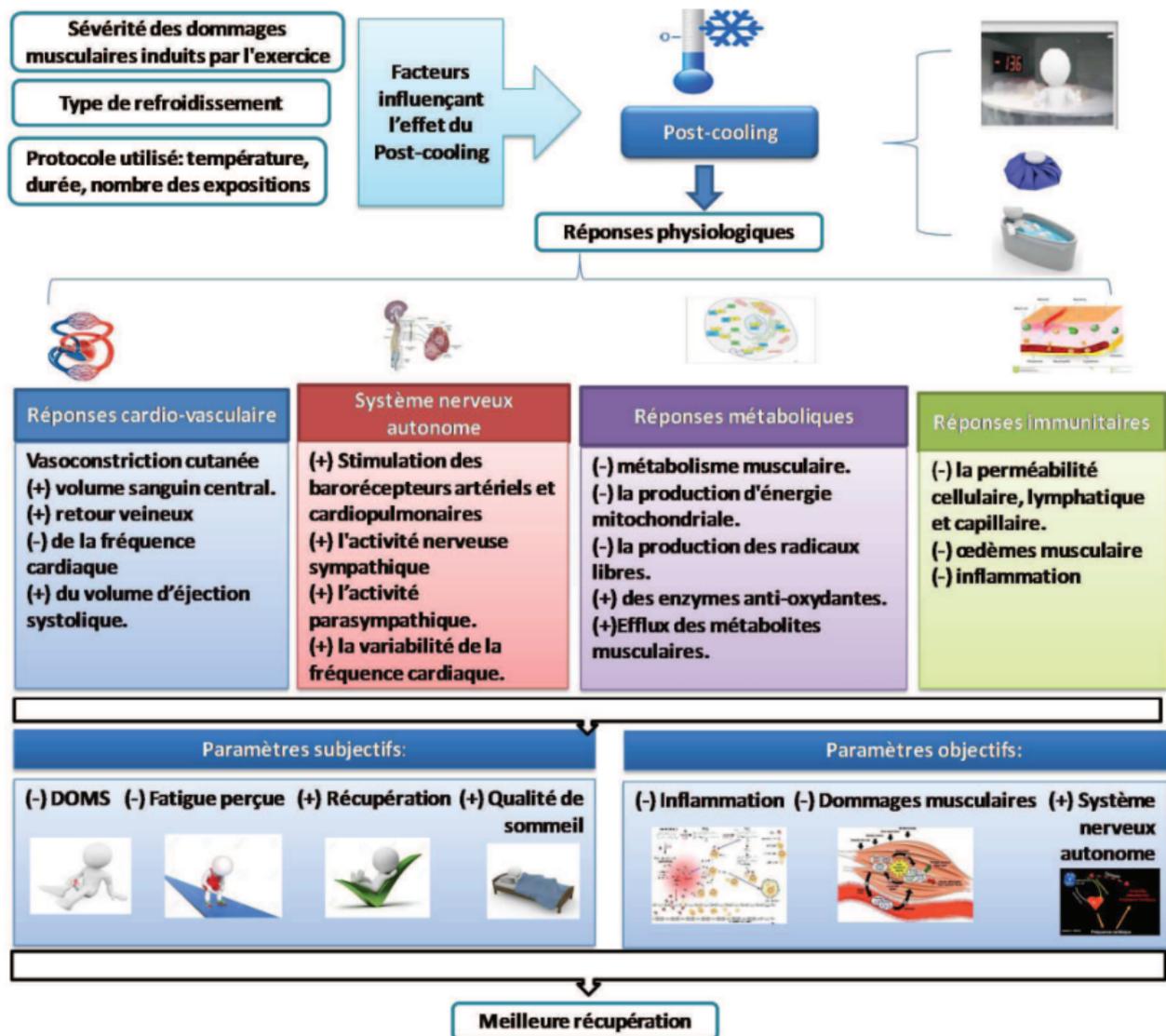


Figure 4 : Résumé sur des facteurs influençant l'efficacité du post-cooling, ses effets sur les réponses physiologiques et sur les paramètres objectifs et subjectifs (Douzi. 2018).

2.2.2.1 L'immersion en eau froide (CWI)

Pour une immersion en eau froide, “les températures sont de l'ordre de 9 à 15°C car elles sont suffisantes pour induire un impact positif sur les marqueurs de récupération” (Douzi. 2018). Cela peut varier en fonction des différentes qualités physiques développées. “La durée moyenne du CWI dans la littérature scientifique est de $12,5 \pm 5,6$ min” (Kwiecien et al., 2018), mais il n'y a pas de consensus sur la durée optimale du CWI dans le contexte de la récupération même s'il semble que la CWI de 10 minutes à 6°C peut réduire la douleur musculaire au cours des premiers 96 h après l'exercice, que la CWI de 15 minutes à 14 °C ou une CWI de 5 minutes à 9 °C sont les protocoles les plus optimaux pour faciliter la réactivation de la fonction parasympathique” (Douzi, 2018). Ces températures provoquent une

vasoconstriction locale et une diminution de la conduction nerveuse associée à une diminution de la fréquence cardiaque. Elle vise à réduire les hématomes et les œdèmes, à traiter les lésions musculaires aiguës, ainsi que les courbatures, les tendinopathies, les microtraumatismes musculaires et les poussées arthrosiques.

L'effet antalgique est également un des bénéfices recherchés : “Les mécanismes sous-jacents peuvent être liés au fait que la CWI aide à réduire la douleur perçue en raison de la réduction du taux de tir des récepteurs sensoriels de la douleur dans la peau après le refroidissement et en raison de la vasoconstriction, qui peut réduire l'inflammation et la pression osmotique de l'exsudat, diminuant la pression exercée sur les nocicepteurs de signalisation de la douleur” (Broatch et al., 2018).

En plus des effets du froid, on peut noter le rôle de l'eau qui crée une pression hydrostatique sur les membres immergés. Cette pression hydrostatique aurait un effet positif sur la récupération de part la compression appliquée sur les tissus et c'est la raison pour laquelle l'immersion corps entier serait plus efficace selon certaines études que l'immersion partielle : en effet lors d'une immersion corps entier, le bas du corps est plus profond et donc la pression hydrostatique est plus importante.

La CWI est généralement identifiée comme utilisant des températures d'eau inférieures à 15°C. Les protocoles consistent à immerger les membres inférieurs et/ou le corps entier jusqu'au cou. Cette température peut ne pas affecter radicalement la température centrale avec les temps d'immersion relativement courts utilisés. Les études menées pour vérifier les effets de la CWI sur l'hypothermie chez l'homme se réfèrent à des périodes inférieures à 3 minutes pour l'immersion initiale, à court terme jusqu'à 15 minutes et à long terme plus de 30 minutes (Murray, 2015).

Dans la méta-analyse de Moore et al., (2023), il nous est expliqué que “le CWI s'est avéré supérieur aux autres méthodes de récupération pour la récupération des courbatures, et similaire aux autres méthodes pour la récupération de la puissance et de la souplesse musculaires. L'ICE (Immersion corps entier) s'est avérée plus efficace que la récupération active, la thérapie par l'eau contrastée et l'immersion dans l'eau chaude pour la plupart des résultats de récupération. La cryothérapie à l'air était significativement plus efficace que la CWI pour favoriser la récupération de la force musculaire et la récupération immédiate de la puissance musculaire (1 heure après l'exercice). La méta-régression a révélé que la température de l'eau et la durée de l'exposition étaient rarement des modérateurs de l'exposition.” (Voir Annexes N°2)

3. Problématique, objectifs et hypothèses

3.1 Problématique

Dans une méta-analyse de 2021 sur les méthodes de récupération chez le jeune footballeur, Calleja-Gonzalez et al., ont conclu concernant l'utilisation des bains froids que ces derniers permettent une diminution des réponses inflammatoires, une réduction de l'œdème musculaire chez les jeunes joueurs d'élite, une meilleure perception de l'effort, une diminution de la fatigue générale, une diminution de l'activité de la créatine kinase, de l'acide urique, des leucocytes, de l'hémoglobine et des réticulocytes sur une période de 48h. Ils permettent également une réduction de la perméabilité des cellules lymphatiques et capillaires par la vasoconstriction périphérique induite par les basses températures et/ou l'effet de la pression hydrostatique, atténuant l'efflux de CK des fibres musculaires endommagées. Ils éliminent les déchets et les cytokines inflammatoires et permettent une récupération de la performance neuromusculaire mais leurs effets positifs ne sont pas significatifs.

La problématique est la suivante :

Quel est l'impact de l'immersion en eau froide à J+1 et J+3 chez le jeune footballeur de haut niveau sur la récupération et sur le développement des performances des composantes force-vitesse ?

3.2 Objectifs

L'objectif de ce mémoire est de savoir si l'immersion en eau froide a un impact significatif sur le développement et/ou la récupération du jeune footballeur de haut niveau et s'il y a un moment dans la semaine où l'on peut optimiser l'utilisation du bain froid en tant que technique de récupération.

3.3 Hypothèses

- H0 : L'immersion en eau froide à J+1 ou J+3 n'a aucun impact sur la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H1 : L'immersion en eau froide à J+1 est significativement plus efficace que de ne pas prendre de bains froids pour la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H2 : L'immersion en eau froide à J+1 est significativement plus efficace que l'immersion en eau froide à J+3 pour la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H3 : L'immersion en eau froide à J+3 est significativement plus efficace que de ne pas prendre de bains froids pour la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H4 : L'immersion en eau froide à J+3 est significativement plus efficace que l'immersion en eau froide à J+1 pour la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H5 : Ne pas utiliser les bains froids est significativement plus efficace que l'immersion en eau froide

4. Le stage

4.1 Milieu professionnel de la structure

La structure qui m'a accueilli pour la réalisation de ce mémoire est le Racing Club de Lens. C'est un club professionnel fondé en 1906 qui évolue actuellement en ligue 1 avec son entraîneur Franck Haise et son capitaine Seko Fofana.

Le club vise les premières places du tableau et a pour objectif de se qualifier en Ligue des Champions pour la saison 2023-2024. Ceci facilitera le développement du club dans son ensemble et notamment le centre de formation.

Concernant le centre de formation, l'objectif est de former les joueurs au métier de footballeur professionnel en passant par un apprentissage tactique et un développement physique, technique et mental. Ceci dans l'objectif de voir évoluer d'ici peu les jeunes joueurs du centre de formation avec le groupe professionnel.

Mon stage a été réalisé au sein du centre de formation avec les catégories U16 et U17. Les U16 évoluent au niveau Régional 1 et les U17 au niveau National. Les deux équipes évoluent au plus haut niveau possible. Concernant mes missions, je suis en charge de la préparation du contenu athlétique pour le développement des qualités physiques des joueurs. Pour ce faire, j'organise avec les coachs l'ensemble des contenus de la semaine afin d'optimiser le développement du joueur. Étant donné que les joueurs du centre de formation suivent un parcours scolaire, les séances d'entraînements ont lieu aux mêmes horaires, la communication avec les autres coachs et préparateurs physiques est donc essentielle dans cette organisation (afin de savoir quelle équipe occupe tel ou tel terrain, est ce qu'une équipe est en salle de sport ? etc...).

Je m'occupe également des joueurs en retour de blessure en collaboration avec le médecin et les kinésithérapeutes du club. J'interviens les lundis, mardis, mercredis pour les séances d'entraînements et les matchs le dimanche.

4.2 Les sujets

Joueurs	Âge (années)	Taille (cm)	Masse (Kg)	Masse grasse (%)
Groupe Contrôle				
Sujet 1	16	180	64,4	9,2
Sujet 2	16	180	63,2	8,7
Sujet 3	16	183	68,9	8,5
Sujet 4	15	175	55,2	9,3
Sujet 5	16	183	80,1	13,3
Sujet 6	16	178	70,7	10,1
Sujet 7	16	171	62,8	10,3
Moyenne Gr contrôle	15,86	178,57	66,47	9,91
Max Gr contrôle	16	183	80,1	13,3
Min Gr contrôle	15	171	55,2	8,5
Ecart type Gr contrôle	0,38	4,35	7,80	1,63
Groupe bains froids J+1				
Sujet 8	16	169	58,6	8,5
Sujet 9	15	182	68,3	8
Sujet 10	16	175	67,8	13,4
Sujet 11	16	179	66,9	10,7
Sujet 12	15	174	67,3	11,2
Sujet 13	15	162	57,3	9,5
Sujet 14	16	181	77,9	12
Moyenne Gr bains froids J+1	15,57	174,57	66,30	10,47
Max Gr bains froids J+1	16	182	77,9	13,4
Min Gr bains froids J+1	15	162	57,3	8
Ecart type Gr J+1	0,53	7,14	6,86	1,93
Groupe bains froids J+3				
Sujet 15	15	163	60,7	9,9
Sujet 16	15	179	64,9	6,5
Sujet 17	15	166	58,7	10,3
Sujet 18	15	174	67	9,6
Sujet 19	15	174	60,2	8,6
Sujet 20	16	172	63,8	11,5
Sujet 21	15	182	64,5	8,1
Sujet 22	15	179	60,7	8,4
Moyenne Gr J+3	15,13	173,63	62,56	9,11
Max Gr bains froids J+3	16	182	67	11,5
Min Gr bains froids J+3	15	163	58,7	6,5
Ecart type Gr J+3	0,35	6,57	2,88	1,54

Tableau 1 : Caractéristiques de la population

Gr = groupe; Max = Maximum; Min = Minimum

Le groupe est âgé de 15,57 ans $\pm 0,51$, mesure en moyenne 175,81 cm $\pm 6,47$ pour une masse de 65,46 Kg $\pm 5,83$ et une masse grasse de 9,82% $\pm 1,76$.

Les joueurs ont été répartis en fonction de leur temps de jeu et de leurs performances sur le test my sprint.

5. Matériel, méthodes et protocoles

5.1 Protocole expérimental

5.1.1 Mise en place des protocoles d'immersion en eau froide

Avant cette expérience plusieurs paramètres qui pourraient rendre l'expérience néfaste à l'individu ont été pris en compte : il existe des contre-indications à l'exposition au froid en cas de problème cardiaque, de déficience de la circulation sanguine, de la présence de plaies (ce qui provoquerait un retard de guérison par la diminution de l'apport sanguin, de la dissociation de l'oxygène et de l'hémoglobine et du métabolisme), de la présence d'inflammations chroniques, de sensibilité cutanée et thermique (qui rend impossible la sensation de douleur qui permet en temps normal d'anticiper l'engelure voire la gelure responsable de la nécrose des tissus), de la présence de la maladie de Raynaud ou de pathologies provoquant une réaction vaso-spastique excessive empêchent tout traitement par le froid, même à distance, car la possible nécrose ischémique peut aller jusqu'à la gangrène nécessitant l'amputation. Nous nous sommes assurés qu'aucun des sujets n'était concerné par l'un de ces cas.

Ensuite les groupes ont été créés en fonction des différents profils force-vitesse des joueurs, de leurs postes, de leur masse grasse et de leurs charges d'entraînement moyenne de première partie de saison (en unité arbitraire calculée à partir de la méthode RPE) afin de s'assurer de la répartition homogène des joueurs dans les 3 groupes. Les groupes n'ont pas été créés aléatoirement pour éviter la création de groupes hétérogènes sur ces différents critères.

Le protocole d'immersion en eau froide dure 5 semaines. Chaque semaine les groupes concernés vont être exposés au froid à J+1 ou à J+3 (journée à dominante neuromusculaire. Exemple semaine type annexes N°6). Les conditions resteront les mêmes avec 10 minutes passées dans une eau à 10°C avec une exposition uniquement sur les membres inférieurs jusqu'à la crête iliaque (Protocole utilisé par le groupe professionnel du Racing Club de Lens lorsque Laurent Bessière était le responsable de la performance). L'immersion se fait jusqu'à la crête iliaque pour englober l'ensemble des membres inférieurs. Les joueurs sont en position assise ou debout en fonction de leur taille (le bain dispose d'escaliers).

Pour les joueurs n'ayant pas ou peu joué le week-end, une compensation sera faite à la fin du match afin d'avoir une charge de travail similaire à ceux ayant joué. Cette méthode de compensation se base sur le livre "Une saison de préparation physique" de Dellal (2020) qui prend en compte les différences de distance totale et de distance à différentes intensités en fonction des postes (Annexes 3). Cet ouvrage se base sur les données de footballeur professionnel et non de jeunes joueurs de centre de formation. C'est pourquoi le travail de compensation a été adapté en prenant en compte les différences de distance totale et de distance à haute intensité entre un groupe professionnel et un groupe de U17 de centre de formation selon Sangnier, 2022. (Voir Annexes 4 et 5)

5.1.2 Mise en place des tests

Les tests “Récupération” : (L'ensemble des 3 groupes seront testés à J+1, à J+3, à J-2 et à JM).

- Questionnaire de Hooper (Hooper et al., 1995) (Figure 5)
- Questionnaire “The Perceived Recovery Status Scale” (PRS) (Laurent, 2011) (Figure 6)
- Les tests d'évaluation de la fatigue musculaire et neuromusculaire (CMJ bras libre sur Optojump)

Le questionnaire de Hooper :

C'est un questionnaire de bien-être qui prend en compte 4 paramètres : la qualité du sommeil, le niveau de courbatures, le niveau de stress et le niveau de fatigue de l'individu. Le joueur doit répondre au questionnaire en notant ces paramètres de 1 à 7. Ensuite, nous additionnons les 4 notes, plus la somme est élevée et plus l'on considère que le joueur à mal récupéré .

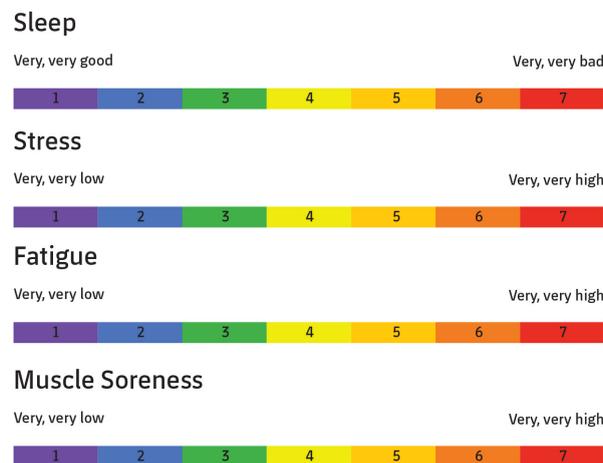


Figure 5 : Wellness questionnaire
(Extrait de Hooper & Mackinnon, 1995)

Questionnaire “The Perceived Recovery Status Scale” :

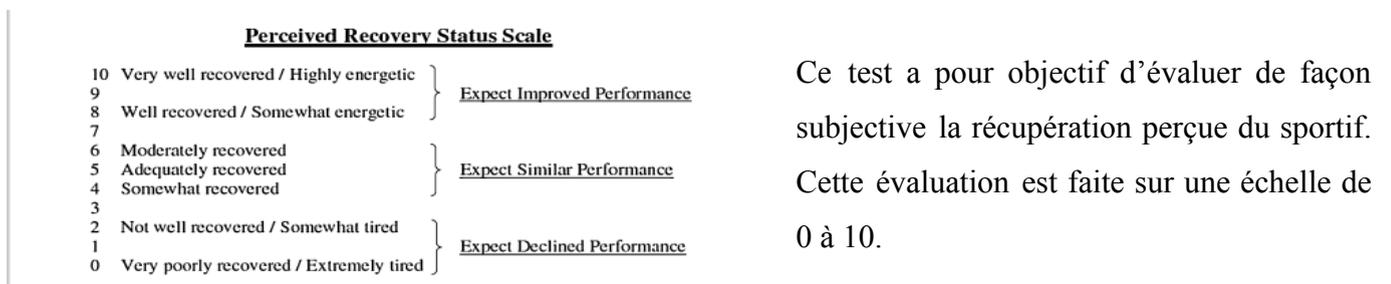


Figure 6 : Questionnaire “The Perceived Recovery Status Scale” (Laurent, 2011)

Les questionnaires ont été transmis, remplis et recueillis à l'aide d'un google forms.

Les joueurs ont été familiarisés avec ces tests durant la première partie de saison.

Les tests d'évaluation de la puissance musculaire :

Plusieurs études comme celle de Abaidia, (2016) ont démontré que si nous devions utiliser l'évaluation de la force ou de la douleur ou des paramètres sanguins nous devrions utiliser l'évaluation de la force. Ceci se justifie par le fait que la douleur peut ne pas être présente et par le fait que les marqueurs sanguins tels que la créatine kinase peuvent varier en fonction des individus. Étant donné le risque important de blessure lorsque l'on soulève des charges très lourdes, les préparateurs physiques utilisent des exercices de saut pour évaluer la récupération (car les sauts ont une grande composante "force").

“La réalisation de tests de sauts comme le CMJ ou le SJ ne devrait pas augmenter significativement la charge totale d'un match ou d'une séance d'entraînement et pourrait être un moyen rapide et tout à fait pertinent pour mesurer la fatigue musculaire/neuromusculaire d'un joueur.”

Il a été choisi ici de réaliser un CMJ car le counter movement jump est le saut qui se rapproche le plus de celui réalisé lors match par les joueurs.

Protocole du sauts de type flexion-extension libre : (Figure 7 et 8)

Avant la réalisation du test, les joueurs réalisent un échauffement pré défini :

- 5 minutes d'ergocycle à faible intensité
- 3 minutes de corde à sauté
- 2 minutes de répétitions de CMJ bras libre (échauffement spécifique sans feedback)

Départ debout, jambes tendues avec les mains libres le long du corps. Le sauteur est libre de plier ses jambes et de réagir en poussant.

Ce test sera réalisé à J+1, J+3 et J-2 afin de percevoir un intérêt ou non d'un des deux protocoles de bain froid.



Figure 7 : Counter Movement Jump bras libre

Un Optojump Next a été utilisé pour mesurer la hauteur de saut sur les CMJ bras libre.



Figure 8 : Optojump Next

Le test "Performance" : (Figure 9)

Le test en question est le test d'évaluation du profil force - vitesse de "my sprint" sur 30m.

Ce test est réalisé en pré test et post test afin de percevoir une relation ou non dans l'amélioration ou non de la performance des sportifs. L'échauffement "Fifa 11+" sera réalisé avant chaque test.

Pour ce test chaque joueur n'a droit qu'à une seule chance par souci de faisabilité au sein de la structure.

Pour le départ, les joueurs doivent mettre une main au sol. Le chronomètre est lancé au moment où la main quitte le sol. Le joueur démarre lorsqu'il le souhaite afin de ne pas avoir à tenir compte du temps de réaction du joueur.

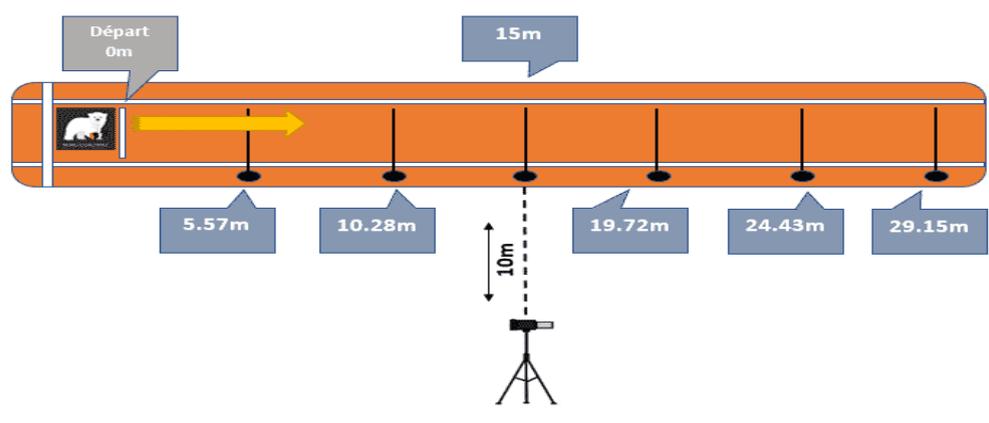


Figure 9 : Test force - vitesse my sprint



My sprint : Cet outil a été développé par Dr Samozino et le Pr. Morin (2017). Il est utilisé par un grand nombre de structures sportives dans le but d'évaluer le profil force - vitesse des athlètes. Il est disponible sur iPhone ou iPad à partir de l'application présente dans l'app store.

Pour que l'application soit utilisable l'appareil doit pouvoir enregistrer des vidéos à 240 fps (vitesse d'image / secondes qui permet une précision adéquate).

Les distances ont été mesurées à l'aide d'un décimètre. Un pré-test et un post-test sont effectués dans les mêmes conditions reproductibles (jour (mercredi), terrain (synthétique), heures (10h20)). Le test se déroule comme ceci :

- Échauffement standardisé (Fifa 11+)
- Test force-vitesse
- Séance terrain

L'échauffement standardisé est le Fifa 11+ présenté par la FFF (Fédération Française du Football) (voir annexes n°1). La dernière partie de cet échauffement est composée de bonds, de courses à hautes intensités et de changements de direction afin de préparer au mieux les joueurs à créer la meilleure performance possible.

5.2 Analyse statistiques

Pour analyser les résultats, il faudra comparer les valeurs enregistrées avant et après le protocole expérimental sur le test my sprint. Il sera important de voir l'évolution des performances du test afin de bien percevoir une amélioration ou non en fonction des différents groupes. Il sera également important de suivre le bien-être et la récupération du joueur, ce qui permettra peut-être d'expliquer les résultats obtenus. Par la suite, une éventuelle différence d'influence ou non du protocole d'immersion en eau froide sur la récupération et sur la performance sera observable.

Ce mémoire est basé sur la comparaison de la même population divisée en 3 groupes entre un pré-test et un post-test à la suite d'un protocole d'exposition au froid d'une durée de 4 semaines. C'est un mémoire quantitatif dans lequel les mêmes groupes sont testés sur les mêmes tests avant et après le protocole expérimental. Une fois que la normalité et l'homogénéité des variances seront vérifiées grâce au test Shapiro-Wilk (pour la normalité) et au test de Levene (pour l'homogénéité des variances); si ces deux conditions sont respectées, nous pourrons utiliser un test paramétrique : le test Anova pour échantillon indépendant. Dans le cas où la normalité et/ou l'homogénéité des variances ne seraient pas celles attendues, nous utiliserons un test non paramétrique : le test Kruskal-wallis pour échantillons indépendants.

Si $P < 0,05$, cela signifie que l'hypothèse H1 ou H2 (en fonction du groupe concerné) est juste et donc que l'exposition au froid participe à une optimisation de la performance. En revanche si $P > 0,05$ cela signifie que c'est l'hypothèse H0 qui est juste et donc l'exposition au froid ne participe pas à une optimisation de la performance. Afin de rendre tout cela plus lisible et plus facilement compréhensible il sera intéressant de mettre tout cela sous forme de graphiques.

Dans le cas où les hypothèses H1 et H3 seraient validées, il sera intéressant d'étudier les résultats afin d'identifier s'il est plus intéressant d'utiliser l'immersion en eau froide à J+1 ou à J+3.

La taille de l'effet pour chaque test sera calculée grâce au test d de Cohen, la progression entre les valeurs pré-test et post-tests sera interprétée de la manière suivante : 0,0 - 0,2 "trivial", 0,2 - 0,5 "faible", 0,5 - 0,8 "moyen", 0,8 - 1,2 "élevé", 1,2 - 2,0 "très élevé" et enfin $> 2,0$ "immense".

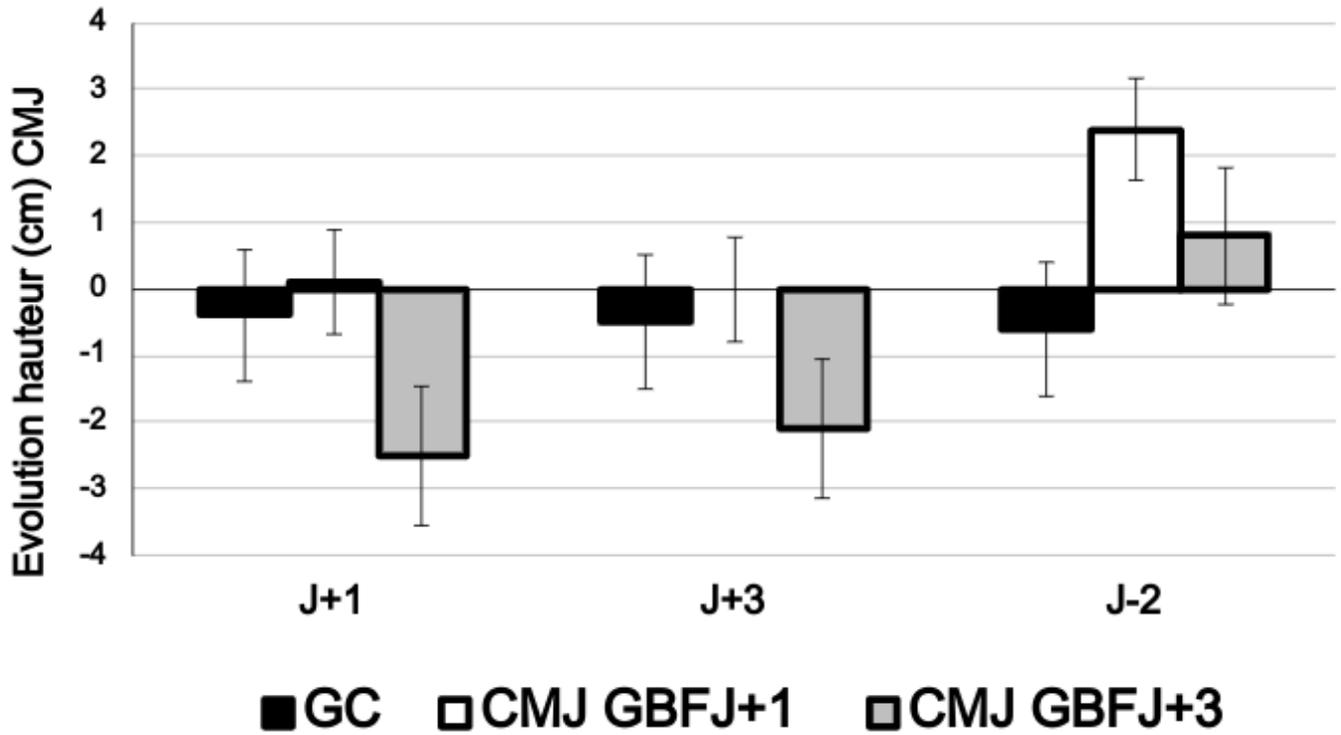
$$ES = \sqrt{\frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{SD_{Control}}}$$

Figure 10 : Formule pour calculer la taille de l'effet

6. Résultats

Tableau des résultats des tests Counter Movement Jump en annexes (N°19)

Ces graphiques sont également présents en annexes pour répondre à la contrainte de 30 pages maximum et pour plus de lisibilité (Annexes N°27).

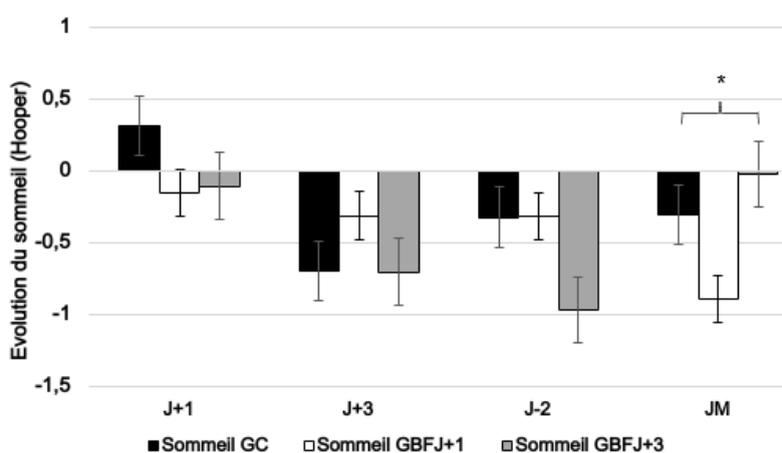
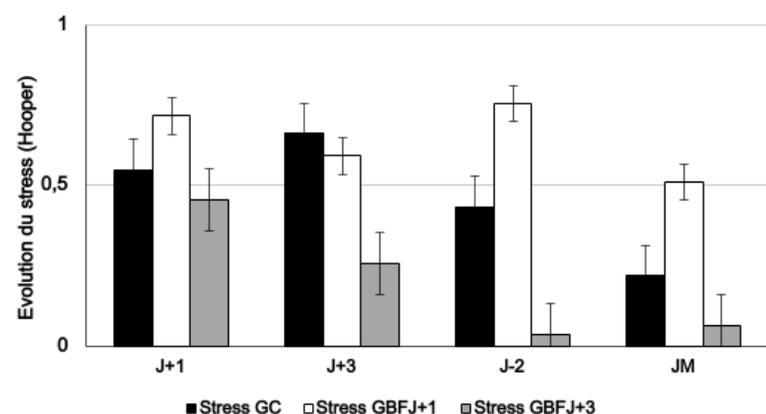
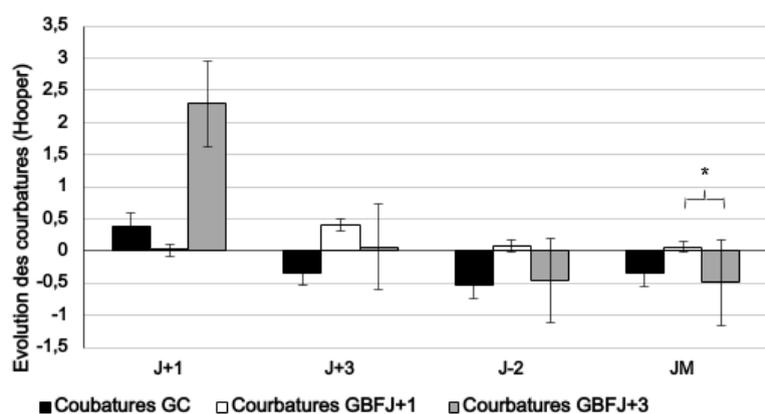
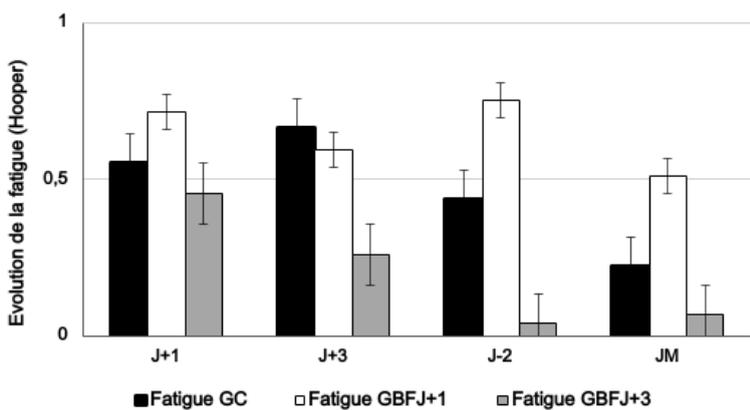


PT = Pré Test; GC = Groupe Contrôle; CMJ = Counter Movement Jump; GBF = Groupe Bains froids;

** = Significatif; ** = Très significatifs*

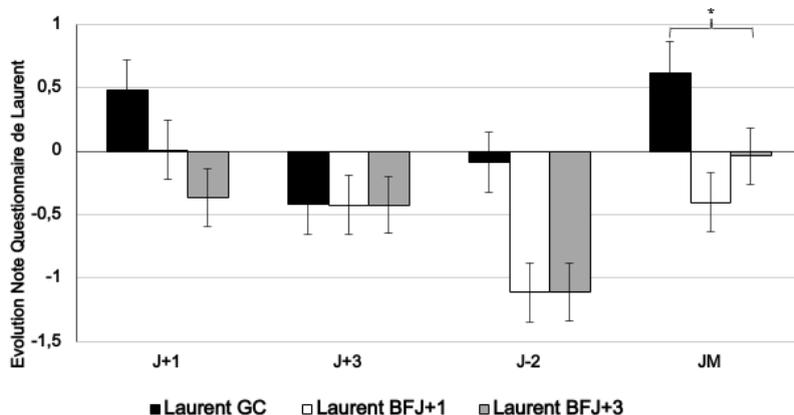
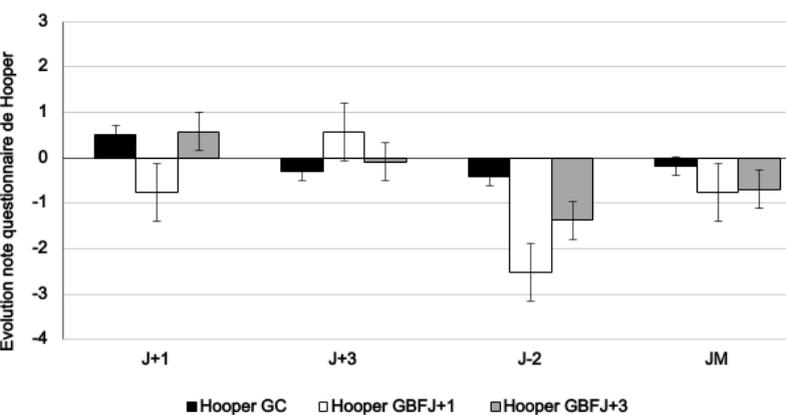
Graphique 1 : Evolution des performances CMJ bras libre des différents groupes

Tableau des résultats des réponses aux questionnaires de Hooper en annexes (N°21 à N°25) et résultats des réponses aux questionnaire de Laurent en annexes (N°26)



GC = Groupe Contrôle; GBF = Groupe Bains Froids; * = Significatif

Graphiques 2 (en haut à gauche) - 3 (en haut à droite) - 4 (en bas à gauche) : Notes des paramètres du questionnaire de Hooper en fonction des groupes



Gr = Groupe; BF = Bains Froids; GBF = Groupe Bains Froids

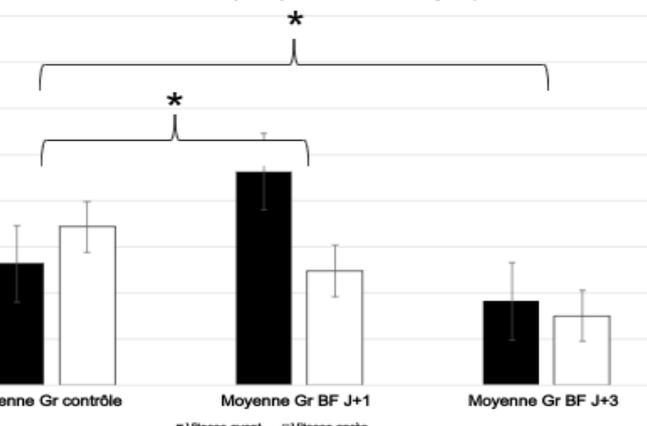
Graphique 5 (à gauche) : Notes questionnaire de Hooper en fonction des groupes sur la semaine

Graphique 6 (à droite) : Notes questionnaire de Laurent en fonction des groupes sur la semaine

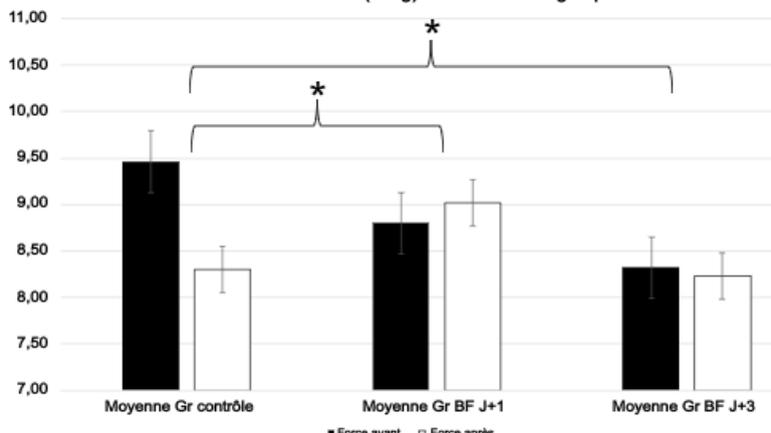
Tableau des résultats des tests my sprint en annexes (N°20)

Ces graphiques sont également présents en annexes pour répondre à la contrainte de 30 pages maximum et pour plus de lisibilité. (Annexes N°29)

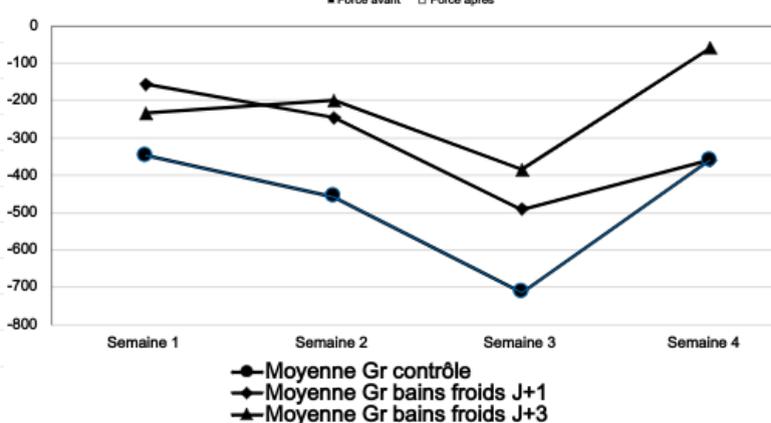
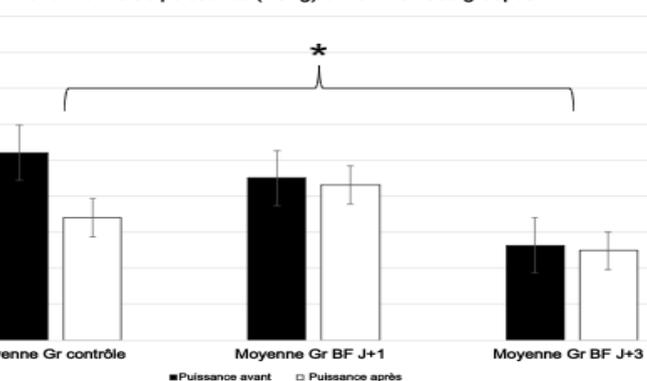
Performance de vitesse (km/h) en fonction des groupes



Performance de force (N/Kg) en fonction des groupes



Performance de puissance (W/Kg) en fonction des groupes



Gr = Groupe; Gr BF = Groupe Bains Froids; * = Significatif

Graphiques 7 (en haut à gauche) - 8 (en haut à droite) - 9 (en bas à gauche) : Evolution des performances sur le test my sprint

Graphique 10 (en bas à droite) : Evolution des charges d'entraînement en fonction des groupes sur les 4 semaines de protocole

Analyses statistiques des résultats

Comme dit précédemment, la normalité a été vérifiée avec le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances avec le test de Levene. Lorsque les tests de normalité et d'homogénéité des variances ont été validés, nous avons réalisé le test Anova pour échantillons indépendants.

Lorsque les tests de normalité et d'homogénéité des variances n'ont pas été validés, nous avons réalisé le test de Kruskal et Wallis.

Si $p < 0,05$ les résultats sont significatifs.

Si $p < 0,01$ les résultats sont très significatifs.

Si $p > 0,05$ les résultats ne sont pas significatifs.

La taille de l'effet a été calculée à l'aide du d de Cohen.

7. Discussion

7.1 Rappel des hypothèses

Pour rappel, les hypothèses formulées étaient les suivantes :

- H0 : L'immersion en eau froide à J+1 ou J+3 n'a aucun impact sur la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H1 : L'immersion en eau froide à J+1 est significativement plus efficace que de ne pas prendre de bains froids pour la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H2 : L'immersion en eau froide à J+1 est significativement plus efficace que l'immersion en eau froide à J+3 pour la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H3 : L'immersion en eau froide à J+3 est significativement plus efficace que de ne pas prendre de bains froids pour la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H4 : L'immersion en eau froide à J+3 est significativement plus efficace que l'immersion en eau froide à J+1 pour la récupération et/ou la performance du jeune footballeur de haut niveau.
- H5 : Ne pas utiliser les bains froids est significativement plus efficace que l'immersion en eau froide

L'hypothèse H1 est validée pour :

- CMJ Semaine 3 J+3
- CMJ Semaine 4 J-2
- Note Hooper Semaine 1 Jour de match
- Note Laurent Semaine 2 J-2
- L'amélioration de F0 (N/kg)
- Fatigue Semaine 2 J+1
- Courbatures Semaine 4 J+1
- Sommeil Semaine 1 J+1
- Moyenne Sommeil Jour de match

L'hypothèse H4 est validée pour :

- Note Hooper Semaine 2 J-2
- Note Laurent Semaine 3 J-2
- Note Laurent les Jours de match
- Courbatures Semaine 1 Jour de match
- Courbatures semaine 2 Jour de match
- Moyenne courbatures Jour de match

L'hypothèse H2 est validée pour :

- Moyenne courbatures J+1

L'hypothèse H5 est validée pour :

- L'amélioration de la vitesse max (km/h)
- Courbatures semaine 2 Jour de match
- Courbatures Semaine 3 Jour de match
- Moyenne courbatures Jour de match
- Stress Semaine 1 J+1
- Stress Semaine 3 J+1
- Moyenne stress J+1
- Stress Semaine 3 J-2

L'hypothèse H3 est validée pour :

- Note Laurent Semaine 2 J+1
- L'amélioration de F0 (N/kg)
- L'amélioration de la puissance (W/kg)

L'hypothèse H0 est validée pour l'ensemble des autres tests

7.2 Discussion des résultats

7.2.1 CMJ Bras libre

Les tests CMJ ont eu pour objectif d'évaluer de façon objective la récupération des qualités de puissance. Chaque joueur a eu 2 essais par tests, la meilleure performance a été gardée. Les joueurs devaient réaliser un échauffement standardisé (détaillé dans le protocole des tests).

Nous devons tenir compte de l'étude d'Ispirlidis et al., (2008), qui indique que le coefficient de variation intra individuel de la détente lors d'un saut en contre-mouvement est de 7,8% au repos et il passe à 16,7% 48h après le match. De leur côté, Harper et al., (2016) ont analysé la variabilité de la réponse immédiatement après un exercice simulant un match de football. Les résultats de cette étude ont montré un coefficient de variation intra-individuel de 3,5% pour la détente lors d'un saut en contre mouvement. Cette différence intra individuelle a certainement impacté l'interprétation des résultats.

Nous pouvons remarquer 2 résultats significatifs en faveur du groupe qui utilisait l'immersion en eau froide à J+1 par rapport à celui qui ne l'utilisait pas : lors de la semaine 3 avec le test à J+3 et lors de la semaine 4 avec le test à J-2. L'ensemble des autres tests n'ont pas montré de résultat significatif. Étant donné le faible nombre de résultats significatifs (lié en partie au faible nombre de sujet par groupe) et le manque de répétition de ces résultats sur les 4 semaines de protocole, il ne semble pas que l'immersion en eau froide à J+1 ou à J+3 améliore de manière significative la vitesse et/ou la cinétique de récupération des qualités de puissance musculaire des jeunes joueurs de centre de formation.

Le graphique montrant l'évolution des performances aux CMJ nous montre que les performances du groupe contrôle diminuent durant la semaine, les courbes de tendance nous indiquent que cette diminution s'amplifie au cours de la semaine. On peut supposer que ceci est dû à la fatigue que les joueurs accumulent durant les semaines de développement.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+1 voit ses performances au CMJ augmenter à J+1 et J-2, et diminuer à J+3. Nous pouvons penser que l'immersion en eau froide à J+1 permet aux joueurs de mieux appréhender les matchs et de mieux récupérer après le match. L'effet du bain froid serait remarquable au moins 48h-72h après l'immersion en eau froide puisque nous observons une baisse de performance au CMJ à J+3.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+3 voit ses performances au CMJ diminuer à J+1 et J+3, et augmenter à J-2. Nous pouvons penser que l'immersion en eau froide à J+3 permet aux joueurs de mieux appréhender les matchs les week-ends. En revanche, ce groupe est celui qui subit la plus importante baisse de performance le lendemain de match au CMJ. C'est donc le groupe qui récupère le moins bien sa puissance musculaire après un match.

Dans une optique de développement et de performance, il semble plus intéressant d'utiliser l'immersion en eau froide à J+1, ce qui engendre une amélioration plus importante de la récupération des

qualités de puissance. En revanche, il semble que l'immersion en eau froide à J+1 soit légèrement plus efficace que l'immersion à J+3 mais pas de manière significative. D'après la méta-analyse de Moore et al (2022), on observe une amélioration de la récupération des qualités de puissance musculaire à 24h et 48h après un exercice intense. En fonction des études, la taille de l'effet pouvait être "triviale" ou "grand effet". Cependant, il faut tenir compte du fait que ces résultats peuvent être biaisés par le fait que les groupes ont été composés de peu de sujets. Une méta-analyse de Calleja-Gonzalez et al (2021) sur les méthodes de récupération chez le jeune footballeur a démontré que l'utilisation des bains froids permettent une diminution des réponses inflammatoires et une réduction de l'œdème musculaire chez les jeunes joueurs d'élite.

7.2.2 La fatigue

L'évaluation de la fatigue s'est faite au travers du questionnaire de Hooper, avec une notation allant de 1 (très très peu fatigué) à 7 (très très fatigué). Cette donnée est subjective et peut dépendre de l'athlète et de la connaissance de son corps. Cela peut également dépendre du message que peut vouloir faire passer l'athlète. En effet le joueur sera tenté de répondre "très très peu fatigué" lors des jours de match afin de maximiser ses chances de temps de jeu.

Nous pouvons remarquer un résultat significatif en faveur du groupe qui utilisait l'immersion en eau froide à J+1 par rapport à celui qui ne les utilisait pas : lors de la semaine 2 avec le test à J+1. L'ensemble des autres tests n'ont pas montré de résultat significatif. Étant donné le faible nombre de résultats significatifs (lié en partie au faible nombre de sujet par groupe) et le manque de répétitions de ces résultats sur les 4 semaines de protocole, il ne semble pas que l'immersion en eau froide à J+1 ou à J+3 améliore le ressenti subjectif de la fatigue des jeunes joueurs de centre de formation.

Le graphique montrant l'évolution des notes subjectives de la fatigue nous montre que la fatigue du groupe contrôle augmente chaque jour avec un pic d'augmentation à J+3. Ceci peut être dû au fait que le développement du joueur en centre de formation est basé sur la création de fatigue puis de compensation dans le but de créer des adaptations. En fin de semaine, la fatigue augmente toujours mais de manière moindre, ce qui peut être le résultat de la préparation du match du week-end.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+1 voit la perception de sa fatigue augmenter chaque jour avec des pics d'augmentation à J+1 et J-2. Ceci peut être dû au fait que le développement du joueur en centre de formation est basé sur la création de fatigue puis de compensation dans le but de créer des adaptations. En fin de semaine, la fatigue augmente toujours et de manière plus importante que pour les 2 autres groupes. Cela pourrait être dû au fait que l'immersion en eau froide ait un impact négatif sur la récupération de la fatigue ou au fait que ces jeunes joueurs ne connaissent pas encore parfaitement le fonctionnement de leur corps.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+3 voit la perception de sa fatigue augmenter chaque jour avec un pic d'augmentation à J+1. Ceci peut être dû au fait que le développement du joueur en centre de formation est basé sur la création de fatigue puis de compensation dans le but de créer des adaptations. En fin de semaine, la fatigue augmente toujours mais de manière moindre, ce qui peut être le résultat de la préparation du match le week-end avec une diminution de la charge de travail.

Dans une optique de développement et de performance, il semble plus intéressant d'utiliser l'immersion en eau froide à J+3, car on observe une augmentation de la fatigue moins importante que pour les autres groupes pour chaque jour de la semaine. Ceci permet au joueur de maximiser l'intensité de son travail et de prévenir les blessures. Mais pas de manière significative. Attention toutefois au fait que le joueur peut ne pas être totalement objectif sur sa notation du fait qu'il souhaite maximiser ses chances de jouer les matchs.

7.2.3 Les courbatures

Nous pouvons remarquer 1 résultat significatif en faveur du groupe qui utilisait l'immersion en eau froide à J+1 : lors de la semaine 4 avec le test à J+1; 1 résultat significatif en faveur du groupe qui utilisait l'immersion en eau froide à J+1 par rapport à celui qui l'utilisait à J+3 : la moyenne des courbatures à J+1; 2 résultats significatifs en faveur du groupe qui utilisait l'immersion en eau froide à J+3 par rapport à celui qui les utilisait à J+1 : lors les semaines 1 et 2 pour le jour de match; 3 résultats significatifs en faveur du groupe contrôle par rapport aux groupes qui prenaient des bains froids : pour les semaines 2 et 3 des jours de matchs ainsi que pour la moyenne des jours de matchs. L'ensemble des autres tests n'ont pas montré de résultat significatif. On peut donc déterminer que l'immersion en eau froide à J+1 serait plus efficace que l'immersion en eau froide à J+3 pour diminuer les courbatures 24h après le match, et que ne pas prendre de bains froids permettrait d'aborder les matchs avec moins de courbatures liées au travail de la semaine. Etant donné le faible nombre de résultats significatifs (lié en partie au faible nombre de sujet par groupe) et le manque de répétition de ces résultats sur les 4 semaines de protocole, il ne semble pas que l'immersion en eau froide à J+1 ou à J+3 améliore la perception subjective des courbatures des jeunes joueurs de centre de formation.

Le graphique montrant l'évolution des notes subjectives des courbatures nous montre que la sensation des courbatures du groupe contrôle augmente à J+1 et diminue à J+3, J-2 et JM. Ceci peut être dû au fait que le travail le plus intense de la semaine est le match et ce dernier peut créer de gros dommages musculaires de par le nombre de sprint, accélération, décélération, saut etc... qui demande beaucoup de contractions excentriques. On observe une diminution des courbatures de J+3 au jour de match, probablement en raison d'une charge plus légère (sur les muscles susceptibles d'être courbaturés : ischios jambiers, fessiers, adducteurs, quadriceps...) que lors de la période de pré test.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+1 voit la perception de ses courbatures augmenter tout au long de la semaine. Ceci peut être dû au fait que les joueurs travaillent chaque jour, ce qui peut créer de gros dommages musculaires de par le nombre de sprint, accélération, décélération, saut etc... qui demande beaucoup de contractions excentriques. L'immersion en eau froide à J+1 ne semble pas avoir d'effets positifs sur la perception des courbatures.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+3 voit la perception de ses courbatures augmenter à J+1 et J+3 et diminuer à J-2 et JM. Ceci peut être dû au fait que le travail le plus intense de la semaine est le match et ce dernier peut créer de gros dommages musculaires de par le nombre de sprint, accélération, décélération, saut etc... qui demande beaucoup de contractions excentriques. En fin de semaine, l'évolution des courbatures diminue. Cela pourrait être dû au fait que l'immersion en eau froide à J+3 a un impact sur la diminution des courbatures à J-2 et à JM, ou en raison d'une charge plus légère (sur les muscles susceptibles d'être courbaturés : ischios jambiers, fessiers, adducteurs, quadriceps...) que lors de la période de pré test, ou encore, au fait que les joueurs veulent maximiser leur temps de jeu en match et donc faussent leurs résultats.

Ces résultats vont à l'encontre de la littérature scientifique pour l'immersion à J+1. En effet, d'après la méta-analyse de Moore et al (2022), on observe une diminution des courbatures 24h et 48h après l'effort avec une immersion en eau froide. Certaines études montrent même une différence de diminution des courbatures jusqu'à 72h. En fonction des études, on pouvait observer une taille de l'effet allant de "triviale" à "effet modéré". Toutefois, l'immersion à J+3 renforce les propos de cette méta-analyse. Ceci pourrait être dû au fait que les joueurs ne connaissent pas encore parfaitement leur corps ou au fait que certains peuvent cacher la vérité sur leurs ressentis.

Nous pouvons penser que l'immersion en eau froide à J+3 permet aux joueurs de moins ressentir les courbatures avant les matchs de manière significative. Il semblerait également que ne pas prendre de bain froid soit plus efficace que d'utiliser l'immersion en eau froide à J+1 si l'on souhaite limiter les courbatures avant un match mais pas de manière significative. Une étude de Irwin et al (2017) a démontré un lien entre la qualité du sommeil et l'intensité des courbatures. Attention toutefois au fait que le joueur peut ne pas être totalement objectif sur sa notation du fait qu'il souhaite maximiser ses chances de jouer les matchs et qu'il peut également ne pas connaître parfaitement son corps. Une méta-analyse de Calleja-Gonzalez et al (2021) sur les méthodes de récupération chez le jeune footballeur a démontré que l'utilisation des bains froids permettent une diminution des réponses inflammatoires, une réduction de l'œdème musculaire et une réduction des courbatures chez les jeunes joueurs d'élite.

7.2.4 Le stress

La partie stress a été mise en annexes en raison du manque de lien direct et indirect entre le stress perçu et l'immersion en eau froide. Ceci permet de répondre à la contrainte de 30 pages maximum.

7.2.5 Le sommeil

Tout comme la fatigue, les courbatures et le stress, cette donnée peut être biaisée par sa subjectivité. De plus, ce paramètre peut être lié aux paramètres de courbatures et de stress. En effet, les troubles du sommeil peuvent être associés à une augmentation des marqueurs de l'inflammation (M.R Irwin et al; 2017) Le stress lui, peut également limiter la quantité et qualités du sommeil. (A.Gordon et al; 2017) Rappelons que dans la notation du questionnaire de Hooper, plus la note de sommeil est basse et mieux le sportif à dormis : 1 (très très bon), 7 (très très mauvais).

Nous pouvons remarquer 1 résultat significatif en faveur du groupe qui utilisait l'immersion en eau froide à J+1 : concernant la moyenne des jours de match. L'ensemble des autres tests n'ont pas montré de résultat significatif. Il semble que l'immersion en eau froide à J+1 améliore le ressenti subjectif du sommeil des jeunes joueurs de centre de formation lors des jours de match.

Le graphique montrant l'évolution des notes subjectives du sommeil nous montre que la qualité perçue du sommeil à J+1 et diminue à J+3, J-2 et JM. On peut supposer que cela est dû au fait que la charge d'entraînement augmente durant la semaine et que le corps doit par conséquent plus et mieux dormir pour récupérer. On peut également émettre l'idée que le match à un impact sur la qualité et quantité de sommeil de part le stress créé, ce qui conforte l'étude de Gardon et al (2017).

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+1 voit la perception de la qualité de son sommeil diminuer tout au long de la semaine. Nous pouvons penser que l'immersion en eau froide à J+1 ne favorise pas un sommeil plus réparateur que lors des pré tests ce qui pourrait porter préjudice aux performances et augmenter le risque de blessure. En effet, étant donné le lien étroit entre un sommeil insuffisant et les symptômes d'anxiété et de dépression (Lee et al 2019), on peut supposer qu'un sommeil insuffisant peut indirectement conduire à une blessure.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+3 voit sa perception de la qualité de son sommeil diminuer tout au long de la semaine. Nous pouvons penser que l'immersion en eau froide à J+3 ne permet pas aux joueurs de mieux appréhender les matchs les week-ends par rapport aux pré tests.

Dans une optique de développement, il semble plus intéressant d'utiliser l'immersion en eau froide à J+3, ce qui favorise une meilleure qualité de sommeil que les autres groupes pour J+3 et J-2. Dans une optique de performance, il semble que l'immersion en eau froide à J+1 permette une meilleure qualité de sommeil le jour de match. Attention toutefois au fait que je joueurs peut ne pas être totalement objectif sur sa notation du fait qu'il veut maximiser ses chances de jouer les matchs.

7.2.6 Notes questionnaire de Hooper

Cette donnée reprend les 4 éléments précédents, elle est donc elle aussi subjective. Elle correspond à la somme des 4 paramètres précédents, plus cette note est basse et meilleure est le bien être du sportif.

Nous pouvons remarquer 1 résultat significatif en faveur du groupe qui utilisait l'immersion en eau froide à J+1 : lors de la semaine 1 avec le test au jour de match; 2 résultats significatifs en faveur du groupe qui utilisait l'immersion en eau froide à J+3 par rapport à celui qui l'utilisait à J+1 : lors des semaines 2 et 3 à J-2. L'ensemble des autres tests n'ont pas montré de résultat significatif. Il semble que l'immersion en eau froide à J+3 par rapport à J+1 améliore le ressenti subjectif du bien-être général des jeunes joueurs de centre de formation lors des jours de match.

Le graphique montrant l'évolution des notes subjectives du bien-être nous montre que le groupe contrôle améliore son bien être à J+1 et le diminue lors des autres jours mesurés.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+1 voit la perception de la qualité de son bien s'améliorer à J+3, et diminuer lors des autres jours mesurés. Nous pouvons penser que l'immersion en eau froide à J+1 permettrait aux joueurs de mieux appréhender les séances d'entraînement très sollicitantes (J+3 et J+4).

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+3 voit la perception de la qualité de son bien s'améliorer) J+1 et diminuer lors des autres jours mesurés. Nous pouvons penser que l'immersion en eau froide à J+3 permet aux joueurs de se sentir mieux les lendemains de matchs. On peut supposer que cela est dû soit au fait que la charge d'entraînement augmente durant la semaine avant de diminuer à partir de J+4 jusqu'à la fin de semaine.

Dans une optique de développement, il semble plus intéressant d'utiliser l'immersion en eau froide à J+3, ce qui favorise une amélioration du bien-être à J+3, J-2 et JM. En revanche, il semble que l'immersion en eau froide à J+1 soit légèrement plus efficace que l'immersion à J+3. Attention toutefois au fait que je joueurs peut ne pas être totalement objectif sur sa notation du fait qu'il veut maximiser ses chances de jouer les matchs. Une méta-analyse de Calleja-Gonzalez et al (2021) sur les méthodes de récupération chez le jeune footballeur a démontré que l'utilisation des bains froids permettent une diminution du bien-être général chez les jeunes joueurs d'élite.

7.2.7 Notes questionnaire de Laurent

Cette donnée est une note allant de 1 (j'ai très mal récupéré) à 10 (j'ai parfaitement récupéré) qui permet de se rendre compte de la récupération de l'athlète après un match ou une séance. Cette note est donc subjective et peut dépendre de l'athlète et de la connaissance de son corps. Cela peut également dépendre du message que peut vouloir faire passer l'athlète. En effet le joueur sera tenté de répondre "parfaitement récupéré" lors des jours de match afin de maximiser ses chances de temps de jeu.

Le graphique montrant l'évolution des notes subjectives de la récupération nous montre que le groupe contrôle améliore la qualité de sa récupération à J+1 et au jour de match, et le diminue lors des autres jours mesurés.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+1 voit la perception de sa récupération s'améliorer à J+1 (+0,01), et diminuer lors des autres jours mesurés. Nous pouvons penser que l'immersion en eau froide à J+1 ne permettrait pas aux joueurs de mieux appréhender les séances d'entraînement très sollicitantes ni le match et de récupérer de manière subjective. Ceci va à l'encontre des tests de CMJ qui se sont améliorés en moyenne de 2,4 centimètres pour le groupe qui utilise les bains froids à J+1. Cependant, le test CMJ ne tient compte que du paramètre de puissance et non pas des autres qualités physiques.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+3 voit la perception de sa récupération diminuer lors de chaque jour mesurés. Nous pouvons penser que l'immersion en eau froide à J+3 ne permet pas aux joueurs de récupérer de manière subjective. Ceci va à l'encontre des tests de CMJ qui se sont améliorés en moyenne de 0,8 centimètres pour le groupe qui utilise les bains froids à J+3. Cependant, le test CMJ ne tient compte que du paramètre de puissance et non pas des autres qualités physiques.

Dans une optique de développement et de performance, il semble plus intéressant d'utiliser l'immersion en eau froide à J+3, ce qui favorise une amélioration de la récupération à J+1, J+3, J-2 et JM. Il semble également que l'immersion à J+1 soit plus intéressante que de ne pas prendre de bains froids pour la récupération. Attention toutefois au fait que le joueur peut ne pas être totalement objectif sur sa notation du fait qu'il veut maximiser ses chances de jouer les matchs.

7.2.8 Test my sprint

Comme expliqué dans le protocole, nous avons mesuré les performances de vitesse, de force et de puissance en utilisant le test my sprint sur 30m. Par soucis de faisabilité, les joueurs n'ont pu réaliser leur sprint de 30m qu'une seule fois pour leur pré test et pour leur post test, ce qui peut avoir un impact sur les résultats et leur interprétation.

Vitesse

On observe une amélioration de la vitesse significativement plus importante pour le groupe contrôle que pour les groupes ayant utilisé les bains froids. Il semble que l'immersion en eau froide freinerait la progression des joueurs sur leur qualité de vitesse. L'étude de Bouchiba (2022) montre que l'immersion en eau froide serait une méthode intéressante pour retrouver plus rapidement ses qualités de vitesse. Ceci permettrait aux joueurs de travailler leurs qualités de vitesse à une fréquence plus élevée et donc potentiellement cela pourrait augmenter le développement de la vitesse. Nous n'avons trouvé aucune étude portant sur un effet néfaste de l'immersion en eau froide sur le développement de la vitesse. Nous devons toutefois faire attention à l'interprétation de ces résultats en prenant en compte le fait que les

joueurs n'ont eu qu'un seul essai pour leur passage du test et qu'ils n'ont peut-être pas pu réaliser la meilleure performance possible.

Force

On observe une amélioration de la force significativement plus importante pour les groupes ayant utilisé l'immersion en eau froide que pour le groupe contrôle. Il semble que l'immersion en eau froide favorise le développement de la qualité de force chez les joueurs. Ceci irait à l'encontre de Sanchez (2022) qui démontre que l'utilisation chronique du froid inhibe certaines adaptations à l'entraînement en force et hypertrophie et de Peterson (2021) qui conclut dans sa méta-analyse que l'immersion en eau froide a des effets nuls ou nuisibles sur les adaptations physiologiques à l'entraînement de la force maximale, ainsi que sur les réponses moléculaires qui sous-tendent l'adaptation à l'entraînement de résistance dans le muscle squelettique. Nous devons toutefois faire attention à l'interprétation de ces résultats en prenant en compte le fait que les joueurs n'ont eu qu'un seul essai pour leur passage du test et qu'ils n'ont peut-être pas pu réaliser la meilleure performance possible.

Puissance

On observe une amélioration de la puissance significativement plus importante pour le groupe ayant utilisé l'immersion en eau froide à J+3 que pour les autres groupes. Il semble que l'immersion en eau froide à J+3 favorise le développement de la qualité de puissance chez les joueurs. Une méta-analyse de Petersen (2021) conclut que l'immersion en eau froide a des effets nuls ou nuisibles sur les adaptations physiologiques à l'entraînement de la puissance, ainsi que sur les réponses moléculaires qui sous-tendent l'adaptation à l'entraînement de résistance dans le muscle squelettique. Nous devons toutefois faire attention à l'interprétation de ces résultats en prenant en compte le fait que les joueurs n'ont eu qu'un seul essai pour leur passage du test et qu'ils n'ont peut-être pas pu réaliser la meilleure performance possible.

7.2.9 Les charges de travail

Nous avons mesuré les charges d'entraînement avec une échelle RPE (Borg, 1970) (Niveau d'Effort Perçu) à laquelle les joueurs ont été familiarisés depuis le début de saison. Pour calculer la charge d'entraînement en unité arbitraire (U.A.), nous multiplions le volume (durée de la séance) par l'intensité (note RPE). Le graphique N°13 nous montre l'évolution de la charge d'entraînement en fonction des groupes sur les 4 semaines.

Pour chaque groupe, on observe une diminution de la charge d'entraînement, ceci peut être dû au fait que les joueurs ont mieux encaissé le travail sur cette période. En effet, le pré test a été réalisé lors de la semaine de reprise après les vacances de Noël. Les échanges avec les athlètes nous ont indiqués des difficultés à "se remettre dedans" après la période de fête, ce qui pourrait expliquer une charge d'entraînement plus élevée lors des pré tests. La diminution plus importante à la 3^e semaine est due au fait que nous étions dans une semaine de régénération avec un moindre volume lors des séances.

On remarque que le groupe contrôle voit sa charge d'entraînement diminuer de manière plus importante que les groupes ayant utilisé l'immersion en eau froide. Il faut tenir compte du fait que malgré la familiarisation depuis le début de saison, les joueurs ne connaissent pas encore parfaitement leur corps ce qui peut fausser les résultats.

7.3 Les limites de l'étude et problèmes rencontrés

La majorité des limites sont dues à la faisabilité :

- Pour aller plus loin, nous pourrions individualiser la température de l'eau par rapport au pourcentage de masse grasse. En effet, une masse grasse plus importante augmente le temps avant le refroidissement des tissus musculaires.
- Les charges de travail, le bien-être et la récupération ont été mesurées à l'aide d'une méthode subjective, (la subjectivité peut être une limite et une force). Mais le public étudié est jeune et certains ont possiblement une mauvaise connaissance de soi. L'utilisation de mesures objectives avec un outil tel que les GPS, l'utilisation de la VFC ou l'évaluation des marqueurs sanguins aurait été pertinente pour aller plus loin. La mesure des marqueurs de CPK (créatine phospho kinase) qui auraient pu être corrélés avec l'évaluation des dommages musculaires par des sauts. La CPK évalue les dommages des cellules musculaires en évaluant la quantité de CPK présent dans le sang (initialement présent dans la cellules musculaire qui à subit des dégâts, ce qui laisse la CPK aller dans le sang) même si cela diffère entre les individus. Une méta-analyse de Calleja-Gonzalez et al (2021) sur les méthodes de récupération chez le jeune footballeur a démontré que l'utilisation des bains froids permettent une diminution de l'activité de la créatine kinase, de l'acide urique, des leucocytes, de l'hémoglobine et des réticulocytes sur une période de 48h. Ils permettent également une réduction de la perméabilité des cellules lymphatiques et capillaires par la vasoconstriction périphérique induite par les basses températures et/ou l'effet de la pression hydrostatique, atténuant l'efflux de CK des fibres musculaires endommagées. Ils éliminent les déchets et les cytokines inflammatoires chez les jeunes joueurs d'élite.
- Il est impossible de contrôler le sommeil et la nutrition des joueurs qui sont 2 piliers de la récupération et de la performance. Cela a pu impacter les résultats.
- La durée du protocole est très courte (lié au vacances scolaire des joueurs)
- Nombre de sujets trop petits, nous aurions peut-être pu remarquer quelque chose de significatif avec un plus grand nombre de sujets.
- L'utilisation d'un jeu de lumière pour évaluer la fatigue nerveuse et cognitive aurait été intéressante.
- Optojump non disponible lors d'un test CMJ à J+3 (emprunté par le groupe professionnel) j'ai donc réalisé une estimation à partir d'une courbe de tendance.

8. Conclusion

Rappelons la problématique de ce mémoire :

Quel est l'impact de l'immersion en eau froide à J+1 et à J+3 chez le jeune footballeur de haut niveau sur la récupération et sur le développement des performances des composantes force-vitesse ?

Sur le plan athlétique, l'objectif du joueur en centre de formation est l'optimisation du développement des qualités physiques. Les matchs créent la fatigue et les adaptations "idéales" pour le développement du footballeur de part sa spécificité. Cependant, la fatigue la plus importante se crée au cours des 5 à 7 entraînements par semaine. Cette accumulation de fatigue plus importante permettrait des adaptations plus importantes si la récupération et la surcompensation sont adéquates. La fatigue créée par les matchs ne permet pas un travail optimal des qualités à développer durant la semaine. L'objectif est de trouver un compromis entre la fatigue que l'on veut créer durant la semaine et la fatigue qui est créée durant les matchs afin d'optimiser le développement du joueur pour limiter le risque de blessure et optimiser le développement.

L'immersion en eau froide chez les jeunes joueurs en centre de formation semble avoir un impact significatif uniquement sur les paramètres de courbatures (avec immersion à J+3) et de sommeil (avec immersion à J+1) avant le match. Ceci pourrait permettre de limiter les blessures en match et d'assurer un travail à haute intensité durant les matchs ce qui favoriserait le développement du joueur.

L'immersion en eau froide chez les jeunes joueurs en centre de formation semble avoir un impact significatif uniquement sur le développement de la force (avec immersion à J+1 ou J+3) et de la puissance (avec immersion à J+3). En revanche, ne pas utiliser l'immersion en eau froide semble améliorer de manière significative le développement de la vitesse par rapport au fait d'utiliser l'immersion en eau froide à J+1 ou J+3.

Les résultats mettent en évidence que l'immersion en eau froide à J+3 permet d'optimiser un plus grand nombre de paramètres de récupération, de bien-être et de performances de manière significativement plus importante que l'immersion à J+1 chez le jeune joueur en centre de formation. (Un tableau récapitulatif des résultats est disponible en annexe (N°33)).

Par la suite, il pourrait être intéressant de tester d'autres protocoles d'immersion. La méta analyse de Moore et al (2022) suggère que les immersions plus courtes à des températures plus basses auraient des impacts plus intéressants. Utiliser la cryothérapie semble inadéquate de par le fait que cette méthode freine le développement des qualités physiques (Le développement athlétique étant au cœur des centres de formation).

9. Bibliographie

- Abaidia, A. (2016). Récupération et exercice inducteur de dommages musculaires. Thèse de doctorat. *Médecine humaine et pathologie*. Université du Droit et de la Santé - Lille II.
- Bigland Ritchie, B. (1983). Contractile speed and EMG changes during fatigue of sustained maximal voluntary. *Journal Of Neurophysiology*, **50**, 313-324.
- Brini, S., Ahmaidi, S., Bouassida, A. (2020). Effects of passive versus active recovery at different intensities on repeated sprint performance and testosterone/cortisol ratio in male senior basketball players. *In Science and Sports*, **35**, e142-e147.
- Broatch J. R., Petersen A., Bishop D. J. (2018). The Influence of post-exercise cold-water immersion on adaptive responses to exercise: a review of the literature. *Sports Med.* **48**, 1369–1387.
- Bouchiba M, Bragazzi NL, Zarzissi S, Turki M, Zghal F, Grati MA, Daab W, Ayadi F, Rebai H, Ibn Hadj Amor H, Hureau TJ, Bouzid MA. (2022) : Cold Water Immersion Improves the Recovery of Both Central and Peripheral Fatigue Following Simulated Soccer Match-Play. *Front Physiol.* **15**, 13.
- Bussièrès, J. et Brual, J. (2001). Agents Physiques en réadaptation théorie et pratique. *Science Et Sport*, **37**, 149.
- Calleja-González J, Mielgo-Ayuso J, Miguel-Ortega Á, Marqués-Jiménez D, Del Valle M, Ostojic SM, Sampaio J, Terrados N, Refoyo I. (2021) : Post-exercise Recovery Methods Focus on Young Soccer Players: A Systematic Review. *Front Physiol.* **20**;12:505149. doi: 10.3389/fphys.2021.505149
- Cheng, A. J., Willis, S. J., Zinner, C., Chaillou, T., Ivarsson, N., Ørtenblad, N., Lanner, J. T., Holmberg, H. C. et Westerblad, H. (2017). Postexercise recovery of contractile function and endurance in humans and mice is accelerated by heating and slowed by cooling skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, **595**, 7413-7426.
- Christian, J. R., Christopher, P. H., Wade, L. K. et Racinais, S. (2007). Coping with heat stress during match-play tennis : Does an individualized hydration regimen enhance performance and recovery. *British Journal Of Sport Medicine*, **48**, 354-357.
- Christiansen, D., Bishop, D. J., Broatch, J. R., Bangsbo, J., McKenna, M. J. et Murphy, R. M. (2018). Cold-water immersion after training sessions: Effects on fiber type-specific adaptations in muscle K⁺ transport proteins to sprint-interval training in men. *Journal of Applied Physiology*, **125**, 429-444.
- Claustrat, B. (2009). Mélatonine et troubles du rythme veille-sommeil. *Médecine du sommeil*, **6**, 12-24.
- Datta, Avijit, et Michael Tipton. (2006). Respiratory responses to cold water immersion: neural pathways, interactions, and clinical consequences awake and asleep. *Journal of Applied Physiology*, **100**, 2057–2064.
- Dellal, A. (2020). Une saison de préparation physique. 3^e édition. 7-11-26.

- Djaoui, L. (2018). Analyse des performances physiques, des incidences physiologiques d'un match de football de haut niveau et des facteurs d'influence : mention spéciale au contexte d'enchaînement des matchs. *Laboratoire Interuniversitaire de Biologie et de la Motricité*, Université de Lyon.
- Douzi, W. (2018). Utilisation du froid dans le contexte de l'exercice physique et de la récupération. Thèse de doctorat. Sciences du sport. Poitiers.
- Duforez, F., Crochet, J. (2021). L'impact du sommeil sur la performance des joueurs. *Podcast : Prolongation - Entretiens avec les acteurs du foot*.
- Dupuy, O., Douzi, W., Theurot, D., Bosquet, L. et Dugué, B. (2018). An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis. *National Center for Biotechnology Information*, **9**, 403.
- Dupont, G. (2010). Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *The American Journal Of Sport Medicine*, **38**, 1752-1758.
- Edward, R. (1983). Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. *Clinical Science*, **64**, 55-62.
- El Kadri, M. (2020). Modèle thermo-neurophysiologique du corps humain pour l'étude du confort thermique en conditions climatiques hétérogènes et instationnaires. Physiologie. Université de La Rochelle, 2020. Français.
- Field, A., Harper, D.L., Christmas, C.R.B., Fowler, M.P., McCall, A., Chamari, K., et Taylor, L. (2021) : The use of recovery strategies in professional soccer : A worldwide survey. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, **16**, 1804-1815.
- Gandevia, S.C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, **81**, 1393-1826.
- Gordon, A.M., Flores, A., Mendes, W.B., Prather, A.A. (2017) : Counting black sheep: the effects of race-based social stress on sleep and nocturnal autonomic functioning. *Manuscript in preparation*. **26**, 5.
- Hausswirth, C. (2010) : *Récupération et performance en sport*. Paris. INSEP.
- Hemming, B., Smith, M., Graydon, J. et Dyson, R. (2000) : Effects of massage on physical restoration, perceived recovery, and repeated sport performance. *British Journal Of Sport Medicine*, **34**, 115.
- Hooper, S. L., Mackinnon, L. T., Howard, A., Gordon, R. D., & Bachmann, A. W. (1995) : Markers for monitoring overtraining and recovery. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **27**, 106-112.
- Sanchez, J, M, A. (2022) : La récupération par immersion en bains chauds ou froids : état des lieux en 2022. *Réflexion Sport Scientifique et Technique*, **29**, 2265-5441.
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, J.A., Duffield, R., Erlacher, D., Halson, L. S., Hecksteden, A., Heidari, J., Kallus, W. K., Meesen, R., Mujika, I., Robazza, C., Skorski, S., Venter,

- R. et Beckman, J. (2018) : Recovery and performance in sport : consensus statement. *Human Kinetics Journal*, **34**, 240-245.
- Knight, D., Trinh, H., McDonough, M., Scallon, B., Moore, A. M. et Ghrayeb, J. (1993) : Construction and initial characterisation of a mouse-human chimeric anti-TNF antibody. *Molecular Immunology*, **30**, 1443-1453.
 - Kraemer, W., Ratamess, A. N. et Nindl, C. B. (2017) : Recovery responses of testostéron, growth hormones, and IGF-1 after resistance exercise. *Journal Of Applied Physiology*, **122**, 549-558.
 - Kwiecien., S. Y., Malachy, P., McHugh et Howatson, G. (2018) : The efficacy of cooling with phase change material for the treatment of exercise-induced muscle damage : pilot study. *Journal of Sport Science*, **36**, 407-413.
 - Irwin, M, R., Olmstead, R., Carroll, E, J. (2017) : Sleep Disturbance, Sleep Duration, and Inflammation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies and Experimental Sleep Deprivation. *Biol Psychiatry*, **80**, 40-52.
 - Jaili, M. (2014) : Comparaison des techniques d’immersion en eau froide et de cryothérapie du corps entier dans la récupération chez le sportif de haut niveau : Synthèse de revue de littérature. Université de Loire.
 - Laurent, M.C., Green, M. J., Bishop, A. P., Sjøkvist, J., Schumacker, E. R., Richardson, M. T. et Curtner-Smith, M. (2011) : A Practical Approach to Monitoring Recovery: Development of a Perceived Recovery Status Scale. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, **25**, 620-628.
 - Lee, S., Buxton, M, O., Andel, R., Almeida, M, D. (2019) : Bidirectional associations of sleep with cognitive interference in employees' work days. *National Center for Biotechnology Information*, **5**, 298-308.
 - López-Valenciano A, Ruiz-Pérez I, Garcia-Gómez A, Vera-Garcia FJ, De Ste Croix M, Myer GD, Ayala F. (2020) : Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, **54**, 711-718.
 - Martini, D. (2018) : Hydratation, at the heart of a sports person's nutritional strategy. *International Journal of Food SCIences and Nutrition*, **69**, 389-409.
 - McEniery, C., Jenkins, D. G. et Barnett.C. (2007) : The relationship between plasma potassium concentration and muscle torque during recovery following intense exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, **75**, 462-466.
 - Méline, T., Watier, T. et Sanchez, A.M. (2021) : Cold water immersion after exercise : Recent data and perspectives on “kaumatherapy.” *The Journal of Physiology*, **595**, 2783-2784.
 - Ménétrier, A., Pinot, J., Grappe, F., Moulot, L. et Tordi,N. (2012) : Comparaison des effets de 3 techniques de récupération sur un effort maximal de cinq minutes en cyclisme. *Centre d’Investigation Clinique*. Université de Franche-Comté.

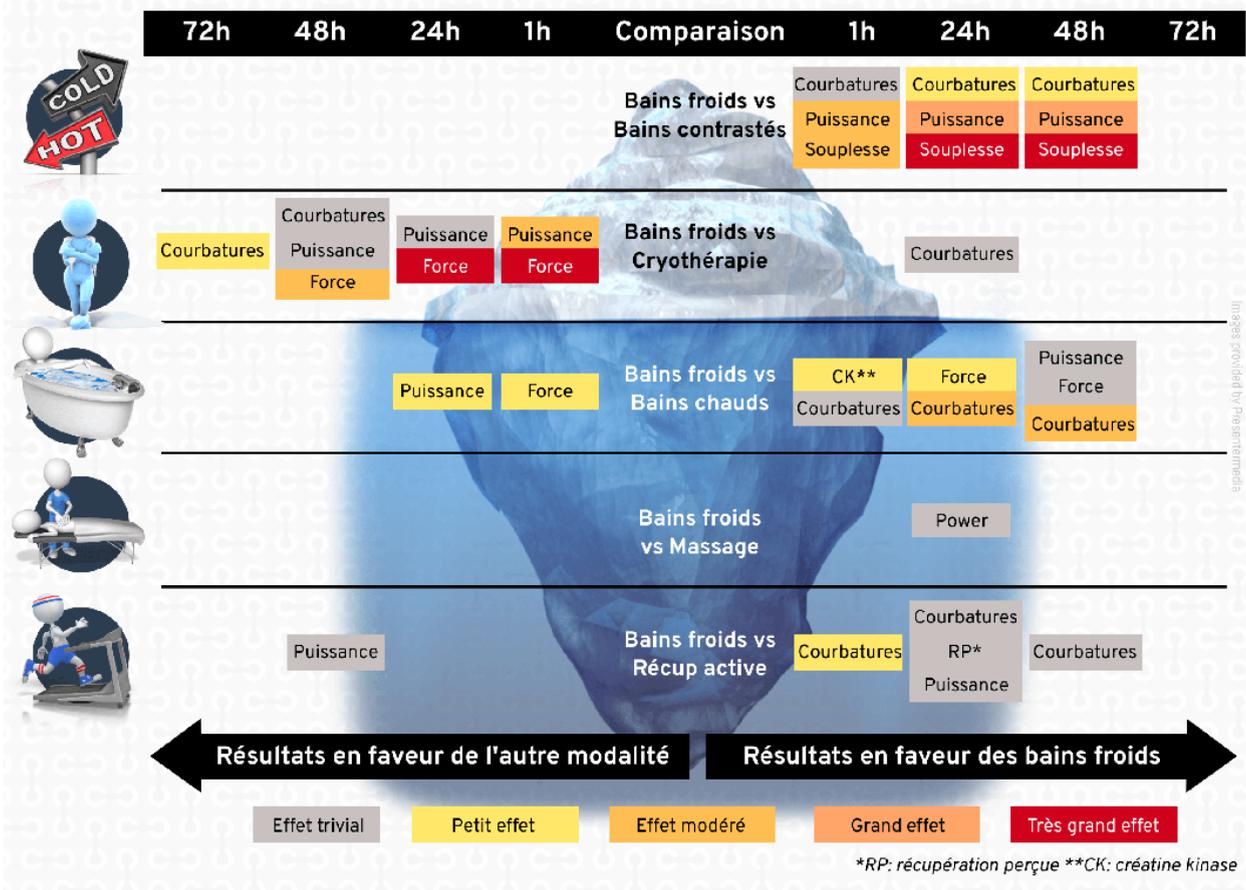
- Merrick, M. (1993) : The Effects Of Ice And Compression Wraps On Intramuscular Temperatures At Various Depths. *Journal Of Athletic Training. Journal Of Athletic Training*, **28**, 236-245.
- Moore, E., Fuller, J. T., Buckley, J. D., Saunders, S., Halson, S. L., Broatch, J. R. et Bellenger, C. R. (2022) : Impact of cold-water immersion compared with passive recovery following a single bout of strenuous exercise on athletic performance in physically active participants A systematic review with meta-analysis and metaregression. *Sports Medicine*, **52**, 1667-1688.
- Montgomery, P. G., Pyne, B. D., Hopkins, G. W., Dorman, C. J., Cook, K. et Clare, L. M. (2008) : The effect of recovery on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *Journal of sport & sciences* , **26**, 1135-1145.
- Murray, A. et Cardinale, M. (2015) : Cold applications for recovery in adolescents athletes : a systématique review and meta analysis. *National Center for Biotechnology Information*, **4**, 17.
- Peake J. M., Neubauer O., Gatta P. A. D., Nosaka K. (2017) : Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *J. Appl. Physiol.* **122**, 559–570.
- Peake, J. M., Roberts, A. L., Figueiredo, C. V., Egner, I., Krog, S., Aas, N. S., Suzuki, K., Markworth, J., Coombes, J. et Raastad, T. (2011) : The effects of cold water immersion and active recovery on inflammation and cell stress responses in human skeletal muscle after resistance exercise. *The Physiological Society*, **595**, 695-711.
- Peiffer, J. J., Abbiss, R. C., Watson, G., Nosaka, K. et Laursen, P. B. (2010) : Effect of a 5-min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat. *British Journal Of Sport Medicine*, **44**, 461-465.
- Petersen AC, Fyfe JJ. (2021) : Post-exercise Cold Water Immersion Effects on Physiological Adaptations to Resistance Training and the Underlying Mechanisms in Skeletal Muscle: A Narrative Review. *Front Sports Act Living*. **8**, 3.
- Sangnier, S. (2022) : Diaporama sur la préparation physique à Saint Etienne. Séminaire pour le Brevet d'Entraîneur Formateur de Football (BEFF), 33-34.
- Savard, C. (2002) : Processus d'adaptation à la charge d'entraînement : particularités et complications. *Cahier de l'INSEP*, **33**, 137-145.
- Stamford, B. A., Rowland. R. et Moffatt, R. J. (1978) : Effect of severe prior exercise on assessment of maximal oxygen uptake. *Journal of applied physiology*, **44**, 559-563.
- Tong, K. C., Lo, K. S. et Cheing, G. L. (2007) : Alternating frequencies of transcutaneous electric nerve stimulation : does it produce greater analgesic effects on mechanical and thermal pain thresholds? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **88**, 1344-1349.
- Vigne, G. (2011) : Détermination et variation du profil du footballeur de très haut niveau : référence spéciale aux performances athlétiques selon les différents postes de jeu orientant sur la validation d'un test d'agilité. Université Claude Bernard - Lyon.

- Walrand, S. (2014) : Journées d'Etudes de l'AFDN, Symposium CERIN, Centre de Recherche et d'Information Nutritionnelles (CERIN). *Protéines et sport*, **52**, Université de Marseille.
- Walsh NP, Halson SL, Sargent C, *et al* Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus recommendations *British Journal of Sports Medicine* 2021; **55**, 356-368.
- Wilcock, I. M., Cronin.B. et Hing, W. A. (2006) : Physiological response to water immersion : a method for sport recovery. *Sport Medicine*, **36**, 747-765.
- Wiśniowski, P., Cieśliński, M., Jarocka, M., Kasiak, S.P., Makaruk, B., Pawliczek, W. et Wiecha, S. (2022) : The Effect of Pressotherapy on Performance and Recovery in the Management of Delayed Onset Muscle Soreness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *National Center for Biotechnology Information*, **11**, 2077.

Privilégier le bain froid ou autre chose pour mieux récupérer?

Référence: Moore et al Sports Medicine 2023

Designed by @YLMsportScience

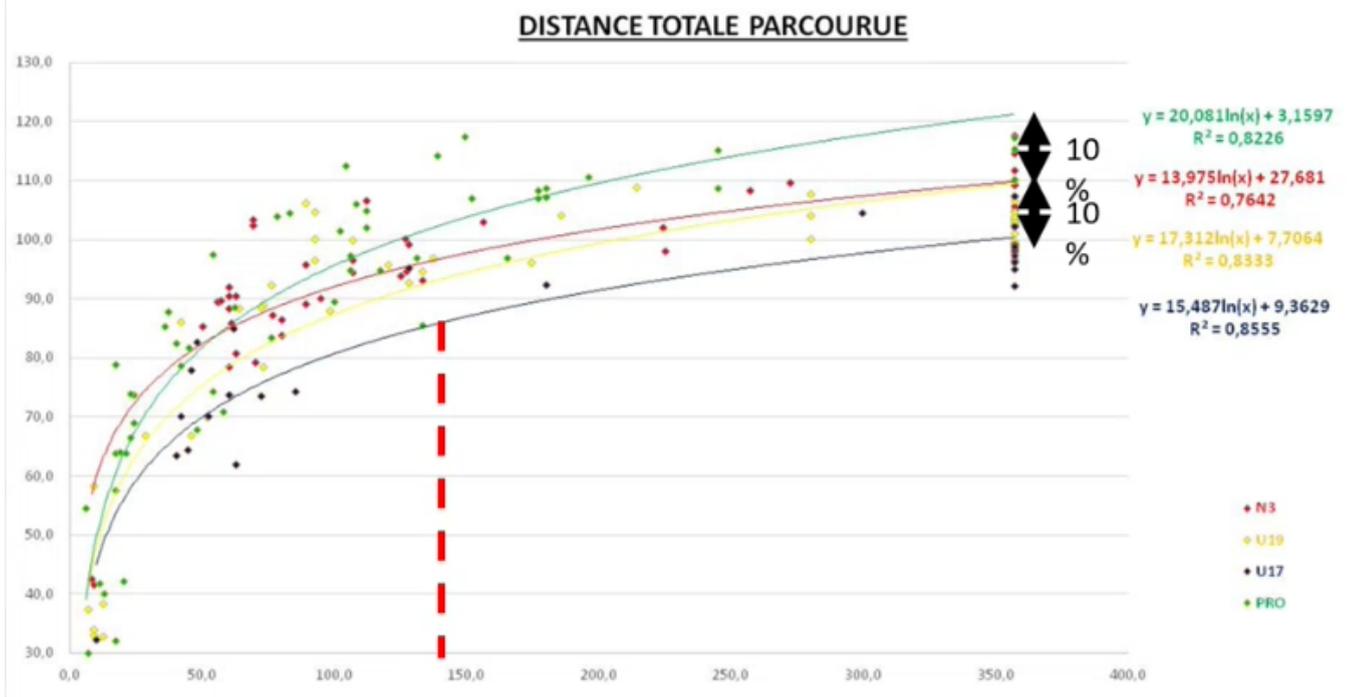


Annexes 2 : Effets de l'immersion en eau froide par rapport à d'autres modalités de récupération sur la performance athlétique après un exercice intense et aigu chez des participants physiquement actifs : Une revue systématique, une méta-analyse et une méta-régression. (Moore et al., 2022)

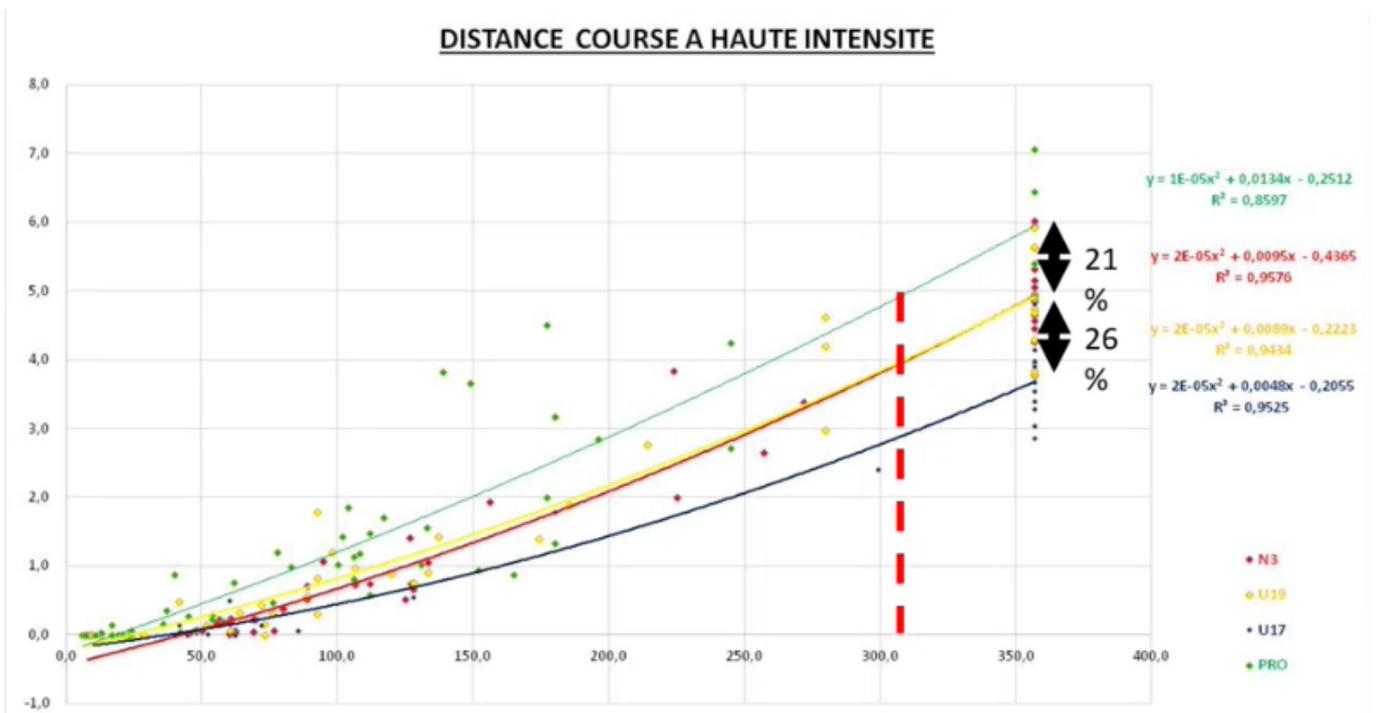
Illustré par YLMsportScience.

Poste des joueurs	DISTANCES TOTALES PARCOURUES (DTP en mètres)			
	→ 25 km/h	20-25 km/h	Global en mètres	Global en m/min
Arrière latéral 1	208	620	10 421	124
Arrière latéral 2	380	730	11 058	117
Arrière latéral 3	629	945	12 200	128
Arrière latéral 4	528	953	11 223	119
Défenseur central 2	480	704	10 882	143
Défenseur central 3	227	441	10 264	124
Défenseur central 4	209	455	10 046	106
Milieu axial 1	239	926	13 162	210
Milieu axial 2	207	712	12 581	134
Milieu axial 3	247	772	13 201	151
Milieu axial 4	254	920	12 436	134
Milieu axial 5	298	828	11 712	135
Milieu axial 6	187	676	12 183	149
Milieu excentré 1	266	864	12 070	129
Milieu excentré 2	376	368	10 912	192
Attaquant axial 1	373	810	10 828	118
Attaquant axial 2	230	483	9273	108
Attaquant axial 3	298	587	10 934	155

Annexes n°3 : Relevé des distances totales parcourues à différentes intensités et selon les différents postes occupés sur le terrain, durant tous les matchs officiels d'une équipe du championnat français (ligue 1) au cours de la saison 2017-2018 (Dellal, 2020).

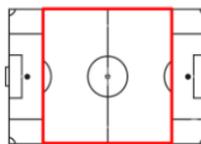
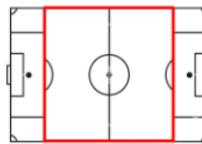
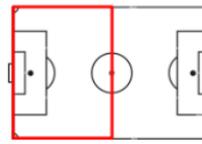


Annexes n° 4 : Différence de distance totale parcourue en match selon les catégories en club professionnel (Sangnier, 2022).



Annexes 5 : Différence de distance de course à haute intensité parcourue en match selon les catégories en club professionnel (Sangnier, 2022).

Programme de la semaine 3

	17h30-18h30	10h15-11h45 / 16h30-18h30	10h30-12h30	10h15-12h15	10h15-11h45	10h15-11h45	10h15-11h45	Jour de match
	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
	16/01/2023	17/01/2023	18/01/2023	19/01/2023	20/01/2023	21/01/2023	22/01/2023	
Matin	Repos	10h10 : Echauffement Généralisé (PP) 6' Spécifique (coachs) 8' 10h24 : individualisation Technico-tactique 45' 11h20 : Individualisation Athlétique 20'	Test CMJ 10h45 : Echauffement 15' 11h : Travail Force - Vitesse 15' 11h15 : Projet de jeu 55' Dominante neuromusculaire vitesse 3 équipes ??? 15 séquences de 3' Récup par équipe 3' 275 à 350m ² / joueur 	10h45 : Echauffement 15' 11h : Intermittent 5-20 (2x4') 10' 11h10 : Projet de jeu 55' Dominante Puissance Aérobic 10 séquences de 4' Récup = 1' 200 à 275m ² / joueur 	Test CMJ 10h45 : Echauffement 15' 11h : Projet de jeu 50' Dominante Capacité Aérobic 5 séquences de 9' Récup = 1' 125 à 175m ² / joueur 	Test CMJ 10h30 : Activation 15' 10h45 : Echauffement 15' 11h : vivacité (60m max) atteinte de vitesse max + 5' 11h05 : Projet de jeu / CPA 35' Dominante neuromusculaire	Repos	
			RPE = 4 79	RPE = 5 85	RPE = 4 80	RPE = 3 65	RPE = 2 55	
Après midi	Test CMJ	16h30 : Echauffement 15' 16h45 : Projet de jeu 45' Dominante Capacité Aérobic 5 séquences de 8' Récup = 1' 125 à 175m ² / joueur 	Repos	Cours	Cours	Repos	Match U17 14h30	
	18h : Musculation haut du corps	18h30 : ETUDES RPE = 3 60	18h30 : ETUDES	18h30 : ETUDES			 Red Star FC vs  RC Lens Compensation des joueurs non retenus	
		0 139	85	80	65	55	6 séances Temps total 424	

Annexes 6 : Semaine type U16 - U17 au Centre Technique et Sportif de la Gaillette (RC Lens).

Annexes 7 : Brève revue de littérature sur les autres méthodes de récupération :

La nutrition et l'hydratation :

La nutrition et l'hydratation sont des méthodes de récupération que toute personne utilise, car elles font partie des besoins vitaux. L'organisme a besoin d'énergie et d'eau pour assurer les fonctions vitales, il doit donc absorber les nutriments essentiels à sa survie dans un premier temps. Une fois que l'organisme a suffisamment d'éléments pour assurer ses fonctions vitales (battement du cœur, respiration, digestion, fonctionnement du cerveau, etc.), le corps pourra distribuer le reste aux fonctions non vitales comme celle de la récupération par exemple.

⇒ Ces techniques sont utilisées juste après l'effort afin de bénéficier de la fenêtre métabolique. Comme vu précédemment l'effort physique crée des dommages au sein de l'organisme. La nutrition permet de resynthétiser les stocks de glycogène (en 24 à 72h). Ces stocks vont pouvoir être resynthétisés grâce à l'ingestion de macronutriments, notamment les glucides et les protéines. On recommande des glucides à index glycémique élevé dans l'heure qui suit le match et des protéines et acides aminés pour mieux assimiler les glucides. En ce qui concerne les quantités, il est recommandé 20 g de protéines et 9 g d'acides aminés pour la synthèse protéique dans les 2 h après le match pour réparer les muscles et diminuer les douleurs. Concernant les quantités de glucides, il faut manger entre 20 et 60 g par heure en fonction de la température ambiante. (Warland, 2020)

⇒ En ce qui concerne l'hydratation, il faut boire 150% de ce que l'on a perdu (500 à 800 ml par heure) afin de limiter les risques de déshydratation et rééquilibrer le pH sanguin. Il est préférable de boire de l'eau minéralisée, car lorsque l'on perd de l'eau par transpiration, nous éliminons des minéraux (250 à 350 mg par heure). (Sicard, 2018)

Le sommeil :

90 à 95% des joueurs professionnels disent mal dormir lorsqu'ils jouent le soir. En effet, lorsqu'ils jouent le soir, les joueurs vont généralement se coucher à 3h du matin. Ce décalage ne plaît pas à l'organisme, car il est réglé comme une horloge (rythme circadiens). De plus, 79% des joueurs avouent utiliser un écran avant d'aller dormir et l'on sait que la lumière bleue est néfaste sur la mélatonine (Claustrat, 2009). Certains joueurs prennent de la caféine avant les matchs (car la caféine est un stimulant), l'Organisation Mondiale de la Santé a démontré que la consommation de caféine après 16h diminue la production de mélatonine. Pour rappel, la mélatonine est une substance créée par la glande pinéale pour faciliter l'endormissement. Si l'on dort moins de 8 h, on augmente le risque de blessure, on baisse la qualité du système immunitaire, on ralentit la resynthèse du glycogène, on augmente la perception des douleurs, on diminue les fonctions cognitives et on augmente la réponse inflammatoire. Le sommeil est donc primordial car sa qualité va directement impacter la récupération du sportif. Il existe des

horaires favorables à l'endormissement : de 23h à 7h et aux alentours de 13h. Inversement entre 10h et 11h30 et entre 17h et 20h cela est moins favorable (Jaïli, 2014).

Les siestes peuvent être bénéfique pour les joueurs durant la journée : D'après François Duforez (2021) il existe 3 type de sieste : celle de moins de 10 minutes ("flash") qui permet d'améliorer l'attention et la réactivité, celle de 10 à 40 minutes (standard) qui aide à relaxer et à être plus productif pour la suite de la journée, et la sieste longue qui dure entre 1h15 et 1h45 (en fonction de la durée du cycle de sommeil de l'individu) qui régénère l'organisme dans sa globalité (physique, mental).

Les massages :

Les massages sont utilisés dans de nombreux clubs professionnels (92% des clubs *selon Field et al., 2021*). Cependant, la littérature est parfois contradictoire. Certaines études montrent des effets positifs sur la circulation sanguine, les tensions musculaires, la perception de la douleur et les contractures.

⇒ D'autres études montrent que les massages n'auraient pas de meilleurs effets physiologiques que le repos mais cela aurait un intérêt sur la récupération "perçue". Cette récupération "perçue" permet d'améliorer les ressentis du sportif et donc d'augmenter la capacité à supporter les efforts et le niveau d'engagement (Hemming et al., 2000). Une méta analyse de Dupuy (2018) confirme cela en disant que les massages semblent être les plus efficaces si l'on souhaite réduire la fatigue perçue.

La récupération active :

La récupération active correspond à des activités physiques à une intensité légère ayant pour objectif de favoriser la récupération. Cette méthode à deux formes d'utilisation :

- **Entre les séries d'un exercice :** Cette méthode permet d'augmenter l'élimination des déchets issus de la contraction musculaire. Il a par exemple été prouvé qu'un exercice de 4 minutes sur ergocycle à 40% de la VO^2_{max} réalisé suite à un sprint de 30 secondes permet de développer une plus grande puissance lors d'un second effort. La notion d'intensité ne doit pas être négligée. L'effort physique lors de la récupération active doit rester modéré ($\leq 40\%$ de la VO^2_{max}) pour ne pas causer une fatigue supplémentaire (Jaïli, 2014).
- **Après une activité physique :** Les résultats obtenus dans le cadre de la récupération active après l'exercice sont moins unanimes. Certaines études montrent que cette technique permet un

recouvrement plus rapide de la force musculaire grâce à une récupération active à 30% de la VO²max mais d'autres études contredisent cela et montrent qu'aucun effet significatif n'est mis en évidence (Jaïli, 2014).

Une étude plus récente de Brini et al., (2020) démontre qu'une récupération active à 20% de VMA est nettement supérieure à une récupération active de 35 à 50% de VMA concernant la répétition de sprints.

La pressothérapie :

Cette méthode montre des effets bénéfiques sur la récupération post exercice. Cela consiste par exemple à porter un bas dit de compression pendant 24 h après l'effort. Cet outil comprime fortement le membre visé, ce qui contribue à une meilleure circulation du sang dans les veines (Ménétrier et al., 2012) Les études actuelles sur le sujet cherchent à déterminer la pression idéale car celle-ci n'est pas encore connue.

Une méta-analyse réalisée par Wisniowski (2022) conclut que cette méthode réduit significativement les douleurs musculaires, n'a pas d'effet sur la hauteur de saut et n'affecte pas significativement le niveau de créatine kinase 24 à 96h après l'effort.

Les étirements :

En sport, les étirements font partie des méthodes de récupération les plus utilisées, cependant l'efficacité de cette méthode relève davantage des croyances que de leur efficacité réelle. En effet, les récentes études sur le sujet montrent l'inefficacité des étirements sur des critères liés à la récupération. Cela pourrait même aggraver les dommages créés par l'exercice, car l'étirement musculaire engendre des inflammations supplémentaires. Cependant ils contribuent à l'amélioration de l'aisance technique (Montgomery et al., 2008). Dans une méta-analyse de Alfonso (2021) il a été conclu qu'il n'y avait pas suffisamment de preuves statistiques pour rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle les étirements et la récupération passive ont une influence équivalente sur la récupération. Les données sont rares, hétérogènes et la confiance dans les preuves cumulatives est très faible.”

L'électrostimulation :

Cette méthode a pour objectif de modifier le flux sanguin et améliorer le retour veineux de la zone grâce à des contractions musculaires rythmées. Cette technique montre, elle aussi, des effets controversés tant sur la perception de la douleur que sur l'élimination des déchets métaboliques. Certaines

études montrent des effets similaires à la récupération active après une activité physique (Tong et al., 2007).

L'utilisation du chaud :

Il existe différentes formes d'expositions à la chaleur dans l'objectif de récupération :

- Le hammam : La température élevée permet de relâcher les tensions musculaires et les courbatures. De plus, grâce à la vapeur d'eau les glandes sudoripares sécrètent et éliminent les déchets. Le hammam procure également une sensation de détente et de bien-être. Cependant, les pertes hydriques sont importantes (Hauswirth, 2010).
- Le sauna : Il diminue les douleurs musculaires et les courbatures par sécrétion de bêtas endorphines. Le phénomène augmente l'extensibilité articulaire et protège des infections en agissant sur la sphère oto-rhino-laryngologique (ORL) Son utilisation diminue les stress et la fatigue musculaire et psychique par augmentation de la sérotonine (Wilcock et al., 2006).
- L'immersion en eau chaude (>40°C) : Elle permet une augmentation du débit sanguin cutané et de la fréquence cardiaque. Elle est pratiquée afin de traiter les douleurs rachidiennes avec contractures et les contractures musculaires vraies. Cependant, ce processus intensifie l'augmentation de la réponse inflammatoire, la dénaturation des protéines et provoque ainsi l'augmentation du volume d'un œdème. De plus, des observations ont montré que l'utilisation trop prolongée de l'immersion en eau chaude tendait à diminuer la performance des sujets (Peiffer et al., 2010).

De plus en plus d'études portent sur l'utilité des bains chauds dans un but de récupération : Cheng et al., (2017) ont découvert que la chaleur permettrait d'accélérer la synthèse des réserves glyco-géniques musculaires et de limiter la diminution de la puissance moyenne développée lors de l'exercice. Méline et al., (2021) ont démontré que les bains chauds permettaient de favoriser les gains de force maximale et isométriques.

Annexes 8 : Tests de Shapiro-Wilk (pré tests CMJ)

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour $3 \leq N \leq 500$)

Index (i)	Data	Sorted	mi	ai
1	41	35,9	-1,9096	-0,4598
2	44,4	37,5	-1,4536	-0,3174
3	38	38	-1,1852	-0,2557
4	37,5	38,6	-0,9825	-0,2120
5	44,1	38,7	-0,8139	-0,1756
6	49,1	39,4	-0,6657	-0,1436
7	52,9	40,4	-0,5309	-0,1145
8	38,7	41	-0,4051	-0,0874
9	44,7	41,7	-0,2855	-0,0616
10	52,3	42,1	-0,1698	-0,0366
11	46,1	44,1	-0,0564	-0,0122
12	46,1	44,4	0,0564	0,0122
13	38,6	44,7	0,1698	0,0366
14	47	45,2	0,2855	0,0616
15	55	46,1	0,4051	0,0874
16	45,2	46,1	0,5309	0,1145
17	42,1	47	0,6657	0,1436
18	39,4	49,1	0,8139	0,1756
19	35,9	52,1	0,9825	0,2120
20	41,7	52,3	1,1852	0,2557
21	40,4	52,9	1,4536	0,3174
22	52,1	55	1,9096	0,4598

Index (i)	Data	Sorted	mi	ai
1	41	36	-1,9096	-0,4598
2	42	37,2	-1,4536	-0,3174
3	45	38,3	-1,1852	-0,2557
4	45	38,6	-0,9825	-0,2120
5	45	39,5	-0,8139	-0,1756
6	45	39,8	-0,6657	-0,1436
7	52	39,8	-0,5309	-0,1145
8	40,8	40,8	-0,4051	-0,0874
9	38,6	41	-0,2855	-0,0616
10	50,2	41,7	-0,1698	-0,0366
11	47,7	41,7	-0,0564	-0,0122
12	39,8	42,1	0,0564	0,0122
13	38,3	45,03	0,1698	0,0366
14	46,8	45,03	0,2855	0,0616
15	51	45,03	0,4051	0,0874
16	41,7	45,03	0,5309	0,1145
17	37,2	46,7	0,6657	0,1436
18	41,7	46,8	0,8139	0,1756
19	36	47,7	0,9825	0,2120
20	39,5	50,2	1,1852	0,2557
21	39,8	51	1,4536	0,3174
22	46,7	52	1,9096	0,4598

Index (i)	Data	Sorted	mi	ai
1	41	35,9	-1,9096	-0,4598
2	44	37,5	-1,4536	-0,3174
3	40	38,4	-1,1852	-0,2557
4	37,5	39,4	-0,9825	-0,2120
5	44	40,1	-0,8139	-0,1756
6	46	41	-0,6657	-0,1436
7	55	41,4	-0,5309	-0,1145
8	48,2	42	-0,4051	-0,0874
9	43,4	42,1	-0,2855	-0,0616
10	52	43,4	-0,1698	-0,0366
11	46,1	44,1	-0,0564	-0,0122
12	46,5	44,4	0,0564	0,0122
13	38,4	45,2	0,1698	0,0366
14	48,7	45,9	0,2855	0,0616
15	54	46,1	0,4051	0,0874
16	45,2	46,5	0,5309	0,1145
17	42,1	48,2	0,6657	0,1436
18	39,4	48,7	0,8139	0,1756
19	35,9	52	0,9825	0,2120
20	42	52,1	1,1852	0,2557
21	41,4	54	1,4536	0,3174
22	52,1	55,4	1,9096	0,4598

Mohammad Ovais v3

Email me at: mohdovais75@yahoo.com

Statistiques descriptives	
Taille d'échantillon (N):	22
Mesures de tendance centrale	
Moyenne :	44,195
Médiane :	44,250
Mesures de dispersion	
Ecart type :	5,490
Plage :	19,100
Variance :	30,140
Q3 - Q1 :	7,125
Mesures de la forme de la distribution	
Asymétrie :	0,453
Aplatissement :	-0,741
Test de normalité de Shapiro-Wilk (Royston's Sign.)	
H0:	Les données sont normalement distribuées
HA:	Les données ne sont pas normit distribuées
W Statistics:	0,94990
p-value:	0,31446
Level of significance:	0,05000
Conclusion:	Accept
La distribution est normale	

Statistiques descriptives	
Taille d'échantillon (N):	22
Mesures de tendance centrale	
Moyenne :	43,228
Médiane :	41,900
Mesures de dispersion	
Ecart type :	4,537
Plage :	16,000
Variance :	20,583
Q3 - Q1 :	6,483
Mesures de la forme de la distribution	
Asymétrie :	0,394
Aplatissement :	-0,739
Test de normalité de Shapiro-Wilk (Royston's Sign.)	
H0:	Les données sont normalement distribuées
HA:	Les données ne sont pas normit distribuées
W Statistics:	0,95580
p-value:	0,40936
Level of significance:	0,05000
Conclusion:	Accept
La distribution est normale	

Statistiques descriptives	
Taille d'échantillon (N):	22
Mesures de tendance centrale	
Moyenne :	44,718
Médiane :	44,250
Mesures de dispersion	
Ecart type :	5,359
Plage :	19,500
Variance :	28,722
Q3 - Q1 :	6,675
Mesures de la forme de la distribution	
Asymétrie :	0,419
Aplatissement :	-0,510
Test de normalité de Shapiro-Wilk (Royston's Sign.)	
H0:	Les données sont normalement distribuées
HA:	Les données ne sont pas normit distribuées
W Statistics:	0,96841
p-value:	0,67432
Level of significance:	0,05000
Conclusion:	Accept
La distribution est normale	

Annexes 9 : Tests de Levene (pré tests CMJ)

Test de LEVENE utilisant les écarts à la MOYENNE

Cette option est n'est conseillée que si les distributions sont symétriques.
Dans le cas contraire, préférez la méthode de la feuille suivante, plus robuste.

Test de Levene sur les variances des groupes, utilisant les écarts à la moyenne							
Sources	ddl	SCE	CM	F	p	F limite 5%	F limite à 1%
Traitements	2	20,14804691	10,07402346	1,48	0,2519	3,52	5,93
Résiduelle	19	129,0120255	6,790106583				
Totale	21	149,160072					

Les variances ne sont pas significativement hétérogènes

Statistiques élémentaires

	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	Lot 5	Lot 6	Lot 7
Effectif	7	7	8				
Moyennes	45,03	43,17	41,70				
Médianes	45,03	40,80	40,75				
Ecart types	3,498	4,911	4,967				
Variances	12,234	24,116	24,669				
Min	41,00	38,30	36,00				
Max	52,00	50,20	51,00				
Asymétrie	1,3505422	0,4434505	0,98801177				

Test de LEVENE utilisant les écarts à la MOYENNE

Cette option est n'est conseillée que si les distributions sont symétriques.
Dans le cas contraire, préférez la méthode de la feuille suivante, plus robuste.

Test de Levene sur les variances des groupes, utilisant les écarts à la moyenne							
Sources	ddl	SCE	CM	F	p	F limite 5%	F limite à 1%
Traitements	2	11,76535634	5,882678168	0,50	0,6167	3,52	5,93
Résiduelle	19	225,3648721	11,86130909				
Totale	21	237,130229					

Les variances ne sont pas significativement hétérogènes

Statistiques élémentaires

	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	Lot 5	Lot 6	Lot 7
Effectif	7	7	8				
Moyennes	44,06	46,19	44,01				
Médianes	44,10	46,50	42,05				
Ecart types	5,776	4,333	6,190				
Variances	33,363	18,778	38,313				
Min	37,50	38,40	35,90				
Max	55,40	52,00	54,00				
Asymétrie	1,3236835	-0,7825689	0,69228314				

Test de LEVENE utilisant les écarts à la MOYENNE

Cette option n'est conseillée que si les distributions sont symétriques.

Dans le cas contraire, préférez la méthode de la feuille suivante, plus robuste.

Test de Levene sur les variances des groupes, utilisant les écarts à la moyenne							
Sources	ddl	SCE	CM	F	p	F limite 5%	F limite à 1%
Traitements	2	9,138171295	4,56908565	0,42	0,6604	3,52	5,93
Résiduelle	19	204,6750082	10,77236885				
Totale	21	213,8131795					

Les variances ne sont pas significativement hétérogènes

Statistiques élémentaires

	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	Lot 5	Lot 6	Lot 7	Lot 8
Effectif	7	7	8					
Moyennes	43,86	44,79	43,98					
Médianes	44,10	46,10	41,90					
Ecart types	5,664	4,833	6,510					
Variances	32,083	23,355	42,382					
Min	37,50	38,60	35,90					
Max	52,90	52,30	55,00					
Asymétrie	0,5169142	-0,0462826	0,8228644					

Annexes 10 : Tests de Shapiro-Wilk (pré tests My sprint paramètre "vitesse maximale")

Index (i)	Data	Sorted	mi	ai
1	28,65	28,296	-1,9096	-0,4598
2	29,02	28,33	-1,4536	-0,3174
3	29,81	28,65	-1,1852	-0,2557
4	29,81	29,02	-0,9825	-0,2120
5	30,2	29,304	-0,8139	-0,1756
6	31,896	29,304	-0,6657	-0,1436
7	29,304	29,34	-0,5309	-0,1145
8	30,35	29,41	-0,4051	-0,0874
9	30,81	29,41	-0,2855	-0,0616
10	32,04	29,41	-0,1698	-0,0366
11	30,81	29,808	-0,0564	-0,0122
12	28,33	29,81	0,0564	0,0122
13	30,81	29,81	0,1698	0,0366
14	32,54	30,2	0,2855	0,0616
15	29,808	30,28	0,4051	0,0874
16	29,41	30,35	0,5309	0,1145
17	29,304	30,81	0,6657	0,1436
18	29,41	30,81	0,8139	0,1756
19	28,296	30,81	0,9825	0,2120
20	29,34	31,896	1,1852	0,2557
21	29,41	32,04	1,4536	0,3174
22	30,28	32,54	1,9096	0,4598

Statistiques descriptives	
Taille d'échantillon (N):	22
Mesures de tendance centrale	
Moyenne :	29,984
Médiane :	29,809
Mesures de dispersion	
Ecart type :	1,143
Plage :	4,244
Variance :	1,307
Q3 - Q1 :	1,382
Mesures de la forme de la distribution	
Asymétrie :	0,705
Aplatissement :	0,080
Test de normalité de Shapiro-Wilk (Royston's Sign.)	
H0:	Les données sont normalement distribuées
HA:	Les données ne sont pas normalement distribuées
W Statistics:	0,93821
p-value:	0,18175
Level of significance:	0,05000
Conclusion:	Accept
La distribution est normale	

Annexes 11 : Tests de Shapiro-Wilk (pré tests My sprint paramètre "force")

Index (i)	Data	Sorted	mi	ai
1	9,075	6,537	-1,9096	-0,4598
2	9,638	7,397	-1,4536	-0,3174
3	9,46	7,595	-1,1852	-0,2557
4	9,46	8,32	-0,9825	-0,2120
5	8,557	8,32	-0,8139	-0,1756
6	8,956	8,32	-0,6657	-0,1436
7	11,083	8,557	-0,5309	-0,1145
8	8,976	8,579	-0,4051	-0,0874
9	8,653	8,653	-0,2855	-0,0616
10	8,811	8,658	-0,1698	-0,0366
11	8,9	8,8	-0,0564	-0,0122
12	8,579	8,811	0,0564	0,0122
13	8,8	8,9	0,1698	0,0366
14	8,957	8,956	0,2855	0,0616
15	11,43	8,957	0,4051	0,0874
16	8,32	8,976	0,5309	0,1145
17	7,595	9,075	0,6657	0,1436
18	8,32	9,46	0,8139	0,1756
19	8,658	9,46	0,9825	0,2120
20	7,397	9,638	1,1852	0,2557
21	8,32	11,083	1,4536	0,3174
22	6,537	11,43	1,9096	0,4598

Statistiques descriptives	
Taille d'échantillon (N):	22
Mesures de tendance centrale	
Moyenne :	8,840
Médiane :	8,806
Mesures de dispersion	
Ecart type :	1,051
Variance :	1,105
Plage :	4,893
Q3 - Q1 :	0,671
Mesures de la forme de la distribution	
Asymétrie :	0,542
Aplatissement :	2,024
Test de normalité de Shapiro-Wilk (Royston's Sign.)	
H0:	Les données sont normalement distribuées
HA:	Les données ne sont pas normit distribuées
W Statistics:	0,91193
p-value:	0,05184
Level of significance:	0,05000
Conclusion:	Accept
La distribution est normale	

Annexes 12 : Tests de Shapiro-Wilk (pré tests My sprint paramètre "puissance")

Index (i)	Data	Sorted	mi	ai
1	18,661	14,441	-1,9096	-0,4598
2	20,04	15,677	-1,4536	-0,3174
3	20,21	16,103	-1,1852	-0,2557
4	20,21	17,417	-0,9825	-0,2120
5	18,556	17,605	-0,8139	-0,1756
6	20,558	17,64	-0,6657	-0,1436
7	23,22	17,64	-0,5309	-0,1145
8	19,649	17,64	-0,4051	-0,0874
9	19,188	18,556	-0,2855	-0,0616
10	20,356	18,661	-0,1698	-0,0366
11	19,51	19,188	-0,0564	-0,0122
12	17,417	19,51	0,0564	0,0122
13	19,51	19,51	0,1698	0,0366
14	20,947	19,649	0,2855	0,0616
15	24,366	20,04	0,4051	0,0874
16	17,64	20,21	0,5309	0,1145
17	16,103	20,21	0,6657	0,1436
18	17,64	20,356	0,8139	0,1756
19	17,605	20,558	0,9825	0,2120
20	15,677	20,947	1,1852	0,2557
21	17,64	23,22	1,4536	0,3174
22	14,441	24,366	1,9096	0,4598

Statistiques descriptives	
Taille d'échantillon (N):	22
Mesures de tendance centrale	
Moyenne :	19,052
Médiane :	19,349
Mesures de dispersion	
Ecart type :	2,290
Variance :	5,244
Plage :	9,925
Q3 - Q1 :	2,570
Mesures de la forme de la distribution	
Asymétrie :	0,267
Aplatissement :	0,683
Test de normalité de Shapiro-Wilk (Royston's Sign.)	
H0:	Les données sont normalement distribuées
HA:	Les données ne sont pas normit distribuées
W Statistics:	0,96734
p-value:	0,64948
Level of significance:	0,05000
Conclusion:	Accept
La distribution est normale	

Annexes 13 : Tests de Levene (pré tests My sprint paramètre "vitesse maximale")

Test de LEVENE utilisant les écarts à la MOYENNE

Cette option n'est conseillée que si les distributions sont symétriques.

Dans le cas contraire, préférez la méthode de la feuille suivante, plus robuste.

Test de Levene sur les variances des groupes, utilisant les écarts à la moyenne							
Sources	ddl	SCE	CM	F	p	F limite 5%	F limite à 1%
Traitements	2	1,118566550	0,559283276	1,01	0,3814	3,52	5,93
Résiduelle	19	0,47349994	0,551236837				
Totale	21	1,5920664					

Les variances ne sont pas significativement hétérogènes

Statistiques élémentaires

	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	Lot 5	Lot 6	Lot 7
Effectif	7	7	8				
Moyennes	29,81	30,81	29,41				
Médianes	29,81	30,81	29,41				
Ecart types	1,059	1,346	0,557				
Variances	1,122	1,811	0,310				
Min	28,65	28,33	28,30				
Max	31,90	32,54	30,28				
Asymétrie	1,3545825	-0,8045017	-0,7101186				

Annexes 14 : Tests de Levene (pré tests My sprint paramètre "force")

Test de LEVENE utilisant les écarts à la MOYENNE

Cette option est n'est conseillée que si les distributions sont symétriques.
Dans le cas contraire, préférez la méthode de la feuille suivante, plus robuste.

Test de Levene sur les variances des groupes, utilisant les écarts à la moyenne							
Sources	ddl	SCE	CM	F	p	F limite 5%	F limite à 1%
Traitements	2	2,14384863	1,071924315	1,94	0,1712	3,52	5,93
Résiduelle	19	10,50008350	0,55263597				
Totale	21	12,64393219					

Les variances ne sont pas significativement hétérogènes

Statistiques élémentaires

	Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	Lot 5	Lot 6	Lot 7
Effectif	7	7	8				
Moyennes	9,46	8,80	8,32				
Médianes	9,46	8,80	8,32				
Ecart types	0,805	0,145	1,431				
Variances	0,647	0,021	2,049				
Min	8,56	8,58	6,54				
Max	11,08	8,98	11,43				
Asymétrie	1,4986532	-0,2565052	1,5061294				

Annexes 15 : Tests de Levene (pré tests My sprint paramètre "puissance")

Annexes 16 : Tests de Shapiro-Wilk (post tests My sprint paramètre "vitesse maximale")

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour $3 \leq N \leq 500$)

Index (i)	Data	Sorted	mi	ai
1	30,213	27,296	-1,9096	-0,4598
2	30,213	27,756	-1,4536	-0,3174
3	30,7	28,512	-1,1852	-0,2557
4	28,584	28,584	-0,9825	-0,2120
5	30,5	28,764	-0,8139	-0,1756
6	31,068	29,251	-0,6657	-0,1436
7	30,213	29,376	-0,5309	-0,1145
8	30,3	29,738	-0,4051	-0,0874
9	30,924	29,738	-0,2855	-0,0616
10	29,738	30,1	-0,1698	-0,0366
11	31,2	30,2	-0,0564	-0,0122
12	28,512	30,213	0,0564	0,0122
13	27,756	30,213	0,1698	0,0366
14	29,738	30,213	0,2855	0,0616
15	28,764	30,3	0,4051	0,0874
16	30,78	30,42	0,5309	0,1145
17	27,296	30,5	0,6657	0,1436
18	30,42	30,7	0,8139	0,1756
19	29,376	30,78	0,9825	0,2120
20	30,2	30,924	1,1852	0,2557
21	29,251	31,068	1,4536	0,3174
22	30,1	31,2	1,9096	0,4598

Mohammad Ovais

v3

Email me at: mohdovais75@yahoo.com

Statistiques descriptives	
Taille d'échantillon (N):	22
Mesures de tendance centrale	
Moyenne :	29,811
Médiane :	30,207
Mesures de dispersion	
Ecart type :	1,061
Plage :	3,904
Variance :	1,125
Q3 - Q1 :	1,198
Mesures de la forme de la distribution	
Asymétrie :	-0,941
Aplatissement :	0,228
Test de normalité de Shapiro-Wilk (Royston's Sign.)	
H0:	Les données sont normalement distribuées
HA:	Les données ne sont pas normalement distribuées
W Statistics:	0,91503
p-value:	0,06004
Level of significance:	0,05000
Conclusion:	Accept
La distribution est normale	

Annexes 17 : Tests de Shapiro-Wilk (post tests My sprint paramètre "force")

Test de normalité de Shapiro-Wilk (pour $3 \leq N \leq 500$)

Index (i)	Data	Sorted	mi	ai
1	8,304	6,246	-1,9096	-0,4598
2	8,304	7,276	-1,4536	-0,3174
3	6,246	7,877	-1,1852	-0,2557
4	8,28	7,981	-0,9825	-0,2120
5	8,492	8,233	-0,8139	-0,1756
6	10,197	8,244	-0,6657	-0,1436
7	8,304	8,28	-0,5309	-0,1145
8	9,374	8,304	-0,4051	-0,0874
9	8,773	8,304	-0,2855	-0,0616
10	9,014	8,304	-0,1698	-0,0366
11	9,792	8,304	-0,0564	-0,0122
12	8,829	8,454	0,0564	0,0122
13	8,304	8,492	0,1698	0,0366
14	9,014	8,773	0,2855	0,0616
15	11,519	8,829	0,4051	0,0874
16	7,981	9,014	0,5309	0,1145
17	9,566	9,014	0,6657	0,1436
18	8,454	9,374	0,8139	0,1756
19	8,244	9,566	0,9825	0,2120
20	7,276	9,792	1,1852	0,2557
21	8,233	10,197	1,4536	0,3174
22	7,877	11,519	1,9096	0,4598

Mohammad Ovais		v3
Email me at: mohdovais75@yahoo.com		
Statistiques descriptives		
Taille d'échantillon (N): 22		
Mesures de tendance centrale		
Moyenne :	8,654	Médiane : 8,379
Mesures de dispersion		
Ecart type :	1,054	Variance: 1,111
Plage :	5,273	Q3 - Q1 : 0,761
Mesures de la forme de la distribution		
Asymétrie :	0,546	Aplatissement: 2,357
Test de normalité de Shapiro-Wilk (Royston's Sign.)		
H0: Les données sont normalement distribuées HA: Les données ne sont pas normalement distribuées		
W Statistics: 0,92900 p-value: 0,11695 Level of significance: 0,05000 Conclusion: Accept La distribution est normale		

Annexes 18 : Tests CMJ bras libre

	Pré test CMJ	Moyenne CMJ	Evolution Moyenne	ES	Pré test CMJ	Moyenne CMJ	Evolution Moyenne	ES	Pré test CMJ	Moyenne CMJ	Evolution Moyenne	ES
	J+1				J+3				J-2			
Gr contrôle	43,86	43,48	-0,37	0,40	44,06	43,55	-0,51	0,28	45,03	44,46	-0,57	0,40
Max	52,90	50,57	2,03		55,40	52,37	3,51		52,00	48,61	3,58	
Min	37,50	37,90	-2,33		37,50	38,64	-4,13		41,00	41,85	-3,54	
Ecart type	5,56	4,37	1,59		5,35	4,38	2,36		3,24	2,68	2,92	
Gr BF J+1	44,79	46,15	-0,04	0,15	46,19	46,15	-0,04	0,45	43,17	45,57	2,40	0,62
Max	52,30	54,53	2,53		52,00	54,53	2,53		50,20	49,23	6,60	

Min	35,90	39,63	-3,60		38,40	39,63	-3,60		38,30	42,53	-1,73	
Ecart type	4,47	4,33	2,09		4,01	4,33	2,09		4,55	2,19	3,38	
Gr BF J+3	43,98	41,87	-2,14	0,50	43,98	41,87	-2,14	0,43	41,70	42,48	0,78	0,45
Max	55,00	53,97	3,47		55,00	53,97	3,47		51,00	56,18	5,77	
Min	35,90	37,43	-4,67		35,90	37,43	-4,67		36,00	37,75	0,55	
Ecart type	6,09	5,68	2,57		6,09	5,68	2,57		4,65	6,19	1,93	

*CMJ = Counter Movement Jump; Gr = groupe; BF= Bains Froids; ES = Effect Size; Max = Maximum; Min = Minimum; * significatif; ** très significatif*

Tableau 2 : Cinétique de récupération évaluée à partir de la hauteur atteinte lors des CMJ en fonction des groupes

Annexes 19 : Tests my sprint

	Vitesse (km/h)			Force (N/kg)			Puissance (W/kg)		
	Avant	Après	ES	Avant	Après	ES	Avant	Après	ES
Gr contrôle	29,81 ± 1,06	30,21 ± 0,79	0,61	9,46 ± 0,80	8,30 ± 1,14	1,20	20,21 ± 1,55	18,41 ± 2,52	1,08
Max	31,90	31,07		11,08	11,08		23,22	22,69	
Min	28,65	28,58		8,56	8,56		18,56	13,96	
Gr BF J+1	30,81 ± 1,35	29,74 ± 1,24	0,89	8,80 ± 0,14	9,01 ± 0,47	1,23	19,51 ± 1,10	19,32 ± 1,72	0,41
Max	32,54	31,20		8,98	9,79		20,95	22,00	
Min	28,33	27,76		8,58	8,30		17,42	16,59	
Gr BF J+3	29,41 ± 0,56	29,25 ± 1,40	0,53	8,32 ± 1,43	8,23 ± 0,70	0,25	17,64 ± 2,97	17,49 ± 1,01	0,22
Max	30,28	30,78		11,43	11,52		24,37	23,65	
Min	28,30	27,30		6,54	7,28		14,44	15,91	

*Gr = groupe; BF= Bains Froids; ES = Effect Size; Max = Maximum; Min = Minimum; * significatif; ** très significatif*

Tableau 3 : Evaluation de la performance de force-vitesse à partir du test my sprint

Annexes 20 : Notes fatigue (Questionnaire de Hooper)

Fatigue

	J+1			J+3			J-2			JM						
	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES
GR contrôle	2,33	2,98	0,64	1,29	2,14	2,97	0,82	1,09	2,17	2,71	0,55	1,16	2,10	2,38	0,28	0,72
Max	3,00	3,31	1,25		3,00	3,75	1,75		3,00	3,26	1,26		3,00	3,00	0,90	
Min	2,00	2,25	-0,08		1,00	2,25	-0,03		2,00	1,50	-0,67		2,00	2,08	-0,02	
Ecart type	1,00	0,37	0,50		0,64	0,52	0,59		0,35	0,60	0,73		1,00	0,29	0,29	
GR BF J+1	2,00	2,90	0,90	1,25	2,43	3,17	0,74	1,18	2,14	3,08	0,94	1,02	2,30	2,64	0,64	0,96
Max	3,00	3,75	1,75		3,00	4,00	1,41		3,00	4,00	2,29		3,00	3,38	1,38	
Min	1,00	2,25	-0,50		2,00	2,35	-0,04		1,00	2,58	-0,38		2,00	2,00	0,00	
Ecart type	0,53	0,55	0,75		0,49	0,53	0,43		0,83	0,46	0,99		1,09	0,52	0,52	
GR BF J+3	2,14	2,74	0,60	0,99	2,29	2,61	0,33	0,69	2,56	2,55	-0,02	0,23	2,34	2,42	0,08	0,08
Max	3,00	3,00	1,50		3,00	3,00	1,66		4,00	3,00	0,40		3,00	3,00	0,66	
Min	1,00	2,50	0,00		1,00	2,19	-0,61		2,00	2,00	-1,00		2,00	1,75	-0,59	
Ecart type	0,60	0,17	0,45		0,65	0,26	0,61		0,63	0,33	0,43		0,33	0,46	0,46	

*Gr = groupe; BF= Bains Froids; ES = Effect Size; Max = Maximum; Min = Minimum; * significatif; ** très significatif*

Tableau 4 : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective de la fatigue (Questionnaire de Hooper)

Annexes 21 : Notes courbatures (Questionnaire de Hooper)

	Courbatures															
	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES
	J+1				J+3				J-2				JM			
GR contrôle	2,00	2,49	0,49	1,15	3,00	2,97	-0,42	0,85	3,17	2,50	-0,67	0,76	2,87	2,45	-0,42	0,54
Max	2,00	2,75	0,75		4,00	3,75	0,33		5,00	3,25	0,80		2,00	3,00	0,13	
Min	2,00	2,13	0,13		2,00	2,25	-1,75		2,00	1,25	-1,92		3,00	2,15	-0,72	
Ecart type	0,00	0,25	0,25		0,53	0,52	0,64		0,99	0,65	0,89		0,99	0,29	0,29	
GR BF J+1	2,50	2,51	0,62	0,10	2,43	3,17	0,50	0,58	2,86	2,96	0,10	0,31	2,39	2,48	0,09	0,35
Max	4,00	3,31	0,81		5,00	4,00	2,50		4,00	3,50	1,50		3,00	3,17	0,78	
Min	1,00	1,25	-1,94		1,00	2,35	-1,50		1,00	2,17	-1,08		2,00	1,50	-0,89	
Ecart type	0,85	0,66	0,88		1,40	0,54	1,29		0,99	0,44	0,90		0,39	0,56	0,56	
GR BF J+3	2,29	2,58	0,29	0,72	2,57	2,65	0,08	0,41	3,06	2,60	-0,46	0,82	3,00	2,39	-0,62	0,96
Max	4,00	2,90	1,56		3,00	3,25	1,25		4,00	3,25	1,20		3,00	3,00	-0,01	
Min	1,00	2,25	-1,19		2,00	1,94	-1,06		2,00	1,75	-1,35		3,00	1,75	-1,26	
Ecart type	0,82	0,22	0,73		0,46	0,38	0,74		0,51	0,47	0,77		0,00	0,39	0,39	

*Gr = groupe; BF= Bains Froids; ES = Effect Size; Max = Maximum; Min = Minimum; * significatif; ** très significatif*

Tableau 5 : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective des courbatures (Questionnaire de Hooper)

Annexes 22 : Notes stress (Questionnaire de Hooper)

	Stress															
	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES
	J+1				J+3				J-2				JM			
GR contrôle	2,33	1,45	-0,88	1,63	1,57	1,65	0,08	0,38	1,67	1,69	0,02	0,20	2,07	2,23	0,16	0,62
Max	3,00	2,38	-0,50		2,00	2,00	1,00		2,00	2,44	0,75		3,00	3,50	1,43	
Min	2,00	1,00	-1,33		1,00	1,00	-1,00		1,00	1,44	-0,56		2,00	1,68	-0,40	
Ecart type	0,31	0,42	0,31		0,49	0,31	0,67		0,44	0,32	0,49		0,12	0,55	0,55	
GR BF J+1	1,25	1,87	0,62	1,32	2,14	1,98	-0,16	0,43	2,29	1,88	-0,40		2,30	1,73	-0,57	0,82
Max	2,00	2,69	1,44		3,00	3,00	0,75		3,00	3,00	0,55	0,65	3,00	2,65	0,35	
Min	1,00	1,44	-0,25		1,00	1,50	-1,44		1,00	1,25	-1,29		2,00	1,00	-1,30	
Ecart type	0,33	0,47	0,54		0,83	0,58	0,79		0,88	0,58	0,64		0,26	0,64	0,64	
GR BF J+3	2,14	2,06	-0,09	0,40	2,00	2,11	0,11	0,35	1,81	1,93	0,12	0,42	2,23	2,04	-0,19	0,44
Max	3,00	2,50	0,50		3,00	3,00	1,50		3,00	2,75	1,25		3,00	3,00	0,77	
Min	1,00	1,50	-1,20		1,00	1,31	-0,89		1,00	1,00	-0,25		2,00	1,25	-0,98	
Ecart type	0,60	0,31	0,52		0,87	0,50	0,81		0,59	0,46	0,44		0,33	0,55	0,55	

*Gr = groupe; BF= Bains Froids; ES = Effect Size; Max = Maximum; Min = Minimum; * significatif; ** très significatif*

Tableau 6 : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective du stress (Questionnaire de Hooper)

7.2.4 Le stress

Tout comme la fatigue et les courbatures, cette donnée peut être biaisée par sa subjectivité. De plus, cette donnée peut grandement être influencée par les relations sociales du joueur avec ses coéquipiers, amis, petite amie, coachs, parents etc... Elle peut également dépendre de la période de la saison, d'un match plus important pour le joueur, d'un événement scolaire (contrôle important) etc...

Nous pouvons remarquer 1 résultat significatif en faveur du groupe qui utilisait l'immersion en eau froide à J+1 : lors de la semaine 2 avec le test à J+1. L'ensemble des autres tests n'ont pas montré de résultat significatif. Étant donné le faible nombre de résultats significatifs (lié en partie au faible nombre de sujet par groupe) et le manque de répétitions de ces résultats sur les 4 semaines de protocole, il ne semble pas que l'immersion en eau froide à J+1 ou à J+3 améliore le ressenti subjectif du stress des jeunes joueurs de centre de formation.

Le graphique montrant l'évolution des notes subjectives du stress nous montre que la sensation de stress du groupe contrôle augmente à J+3, J-2 et JM et diminue à J+1. Ceci peut être dû au fait que les joueurs pensent déjà au prochain match à partir de J+3 et que les sportifs sont moins stressés à J+1. Ceci pourrait également résulter d'un moindre stress lors des pré tests.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+1 voit sa perception du stress augmenter à J+1 et diminuer à J+3, J-2 et JM. Ceci peut être dû au fait que les joueurs seraient encore stressés par leur performance du week-end avec une appréhension du retour vidéo du coach. En revanche, ce groupe voit son stress diminuer pour le reste de la semaine et semble mieux appréhender le match. L'immersion en eau froide à J+1 ne semble avoir un effet positif sur la perception du stress. Attention toutefois à cette interprétation car trop peu d'études démontrent un lien entre l'immersion en eau froide et la diminution du stress.

Le groupe utilisant l'immersion en eau froide à J+3 voit la perception du stress augmenter à J+3 et J-2 et diminuer à J+1 et JM. Ceci peut être dû au fait que les joueurs ne sont pas stressés par le match et ne sont pas stressés de leur après match (retour vidéo avec le coach). En revanche, ces joueurs apprendraient le travail de la semaine. Attention toutefois à cette interprétation car trop peu d'études démontrent un lien entre l'immersion en eau froide et la diminution du stress.

Dans une optique de développement et de performance, il semble plus intéressant d'utiliser l'immersion en eau froide à J+1, ce qui favorise une diminution du stress plus importante que pour les autres groupes pour J+3, J-2 et JM. En revanche, il semble que l'immersion en eau froide à J+1 engendre un stress plus important à J+1. Attention toutefois au fait que les joueurs peuvent ne pas être totalement objectifs sur sa notation du fait qu'il veut maximiser ses chances de jouer les matchs. Attention toutefois à cette interprétation qui peut être liée à une multitude d'autres paramètres incontrôlables.

Annexes 24 : Notes sommeil (Questionnaire de Hooper)

Sommeil

	J+1				J+3				J-2				JM			
	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES
GR contrôle	2,33	2,73	0,39	1,11	3,00	2,13	-0,87	1,23	2,50	2,10	-0,40	0,62	2,60	2,23	-0,38	0,48
Max	3,00	3,13	1,13		4,00	3,00	0,00		4,00	2,55	1,05		3,00	2,63	0,02	
Min	2,00	2,25	-0,25		2,00	1,25	-1,75		1,00	1,25	-1,45		2,00	2,00	-0,60	
Ecart type	0,31	0,31	0,47		0,53	0,48	0,65		0,89	0,40	0,87		0,33	0,23	0,23	
GR BF J+1	2,50	2,32	-0,18	0,45	2,86	2,48	-0,38	0,56	3,00	2,61	-0,39	0,69	3,19	2,08	-1,12	1,07
Max	4,00	3,31	0,81		5,00	3,00	0,50		4,00	3,25	0,82		4,00	2,75	-0,44	
Min	1,00	1,50	-1,84		2,00	2,03	-2,25		2,00	2,15	-1,67		2,00	1,58	-1,61	
Ecart type	0,85	0,54	0,92		1,12	0,32	0,98		0,76	0,40	0,74		0,82	0,44	0,44	
GR BF J+3	2,29	2,18	-0,11	0,42	3,14	2,27	-0,88	1,13	3,25	2,13	-1,13	1,49	2,10	1,97	-0,03	0,72
Max	3,00	2,56	1,06		4,00	3,00	0,27		4,00	2,75	-0,25		3,00	2,75	0,75	
Min	1,00	2,00	-0,84		2,00	1,63	-1,75		3,00	1,50	-1,95		2,00	1,00	-1,00	
Ecart type	0,65	0,18	0,55		0,60	0,36	0,66		0,32	0,33	0,47		1,00	0,44	0,44	

*Gr = groupe; BF= Bains Froids; ES = Effect Size; Max = Maximum; Min = Minimum; * significatif; ** très significatif*

Tableau 7 : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective du sommeil (Questionnaire de Hooper)

Annexes 25 : Notes Questionnaire de Hooper

Hooper

	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES
		J+1				J+3				J-2				JM		
GR contrôle	9,00	9,64	0,64	1,06	9,71	9,33	-0,38	0,46	9,50	9,00	-0,50	0,47	9,50	9,28	-0,23	0,43
Max	10,00	11,50	2,50		13,00	11,08	1,00		13,00	10,95	2,95		12,00	12,00	2,50	
Min	6,00	8,25	-0,75		8,00	6,75	-1,92		7,00	5,50	-4,00		9,00	8,18	-1,33	
Ecart type	0,56	1,02	1,02		1,67	1,41	1,11		1,91	1,77	2,30		1,66	1,21	1,21	
GR BF J+1	8,25	9,59	1,34	0,87	9,86	10,56	0,70	0,46	10,29	10,53	0,25	0,28	9,87	8,93	-0,94	0,56
Max	11,00	12,94	4,69		15,00	13,25	3,75		14,00	13,50	4,20		12,00	11,80	1,93	
Min	5,00	6,50	-2,41		6,00	8,25	-4,54		6,00	9,12	-3,21		7,00	6,25	-3,62	
Ecart type	1,64	1,90	2,04		3,04	1,68	2,69		2,96	1,42	2,41		1,98	1,75	1,75	
GR BF J+3	8,86	9,58	0,73	0,56	10,00	9,90	-0,10	0,27	10,69	9,11	-1,58	1,07	9,66	8,79	-0,87	0,71
Max	13,00	10,88	4,63		12,00	12,00	1,65		12,00	11,50	0,60		12,00	11,75	2,09	
Min	4,00	8,63	-2,13		8,00	8,31	-2,94		9,00	6,25	-2,75		9,00	5,75	-3,91	
Ecart type	2,57	0,65	2,01		1,41	0,99	1,33		1,08	1,37	1,02		1,45	1,58	1,58	

*Gr = groupe; BF= Bains Froids; ES = Effect Size; Max = Maximum; Min = Minimum; * significatif; ** très significatif*

Tableau 8 : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective du bien être (Questionnaire de Hooper)

Annexes 26 : Notes Questionnaire de Laurent

Laurent																
	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES	Pré test	Moyenne tests	Evolution	ES
	J+1				J+3				J-2				JM			
GR contrôle	7,00	7,60	0,60	0,92	7,29	6,98	-0,30	0,68	7,33	7,75	0,42	0,37	8,50	8,10	-0,40	0,96
Max	8,00	8,00	1,75		9,00	8,50	0,98		8,00	9,50	2,17		9,00	8,75	0,25	
Min	6,00	6,75	-1,25		6,00	6,08	-2,92		6,00	6,25	-1,75		7,00	7,25	-1,25	
Ecart type	0,53	0,41	0,86		1,03	0,76	1,35		0,69	0,98	1,44		1,05	0,44	0,44	
GR BF J+1	7,50	7,30	-0,20	0,14	7,14	6,89	-0,25	0,53	8,00	7,06	-0,94	0,54	8,58	7,49	-1,09	0,79
Max	8,00	8,63	1,50		8,00	7,60	1,23		10,00	7,60	1,08		9,00	8,25	-0,33	
Min	6,00	5,88	-1,63		6,00	5,00	-2,00		6,00	6,25	-2,40		6,00	5,95	-2,63	
Ecart type	0,65	0,86	1,03		0,83	0,82	1,13		1,20	0,41	1,10		1,34	0,69	0,66	
GR BF J+3	7,86	7,54	-0,32	0,68	7,43	7,47	0,04	1,06	8,25	7,44	-0,81	0,99	8,00	7,95	-0,05	0,00
Max	10,00	7,88	0,75		8,00	8,00	0,64		9,00	8,25	1,05		9,00	9,00	1,00	
Min	7,00	6,50	-2,13		7,00	6,95	-0,48		7,00	5,50	-3,50		6,00	6,25	-1,75	
Ecart type	0,93	0,41	0,82		0,46	0,33	0,42		0,66	0,86	1,28		1,44	0,74	0,74	

*Gr = groupe; BF= Bains Froids; ES = Effect Size; Max = Maximum; Min = Minimum; * significatif; ** très significatif*

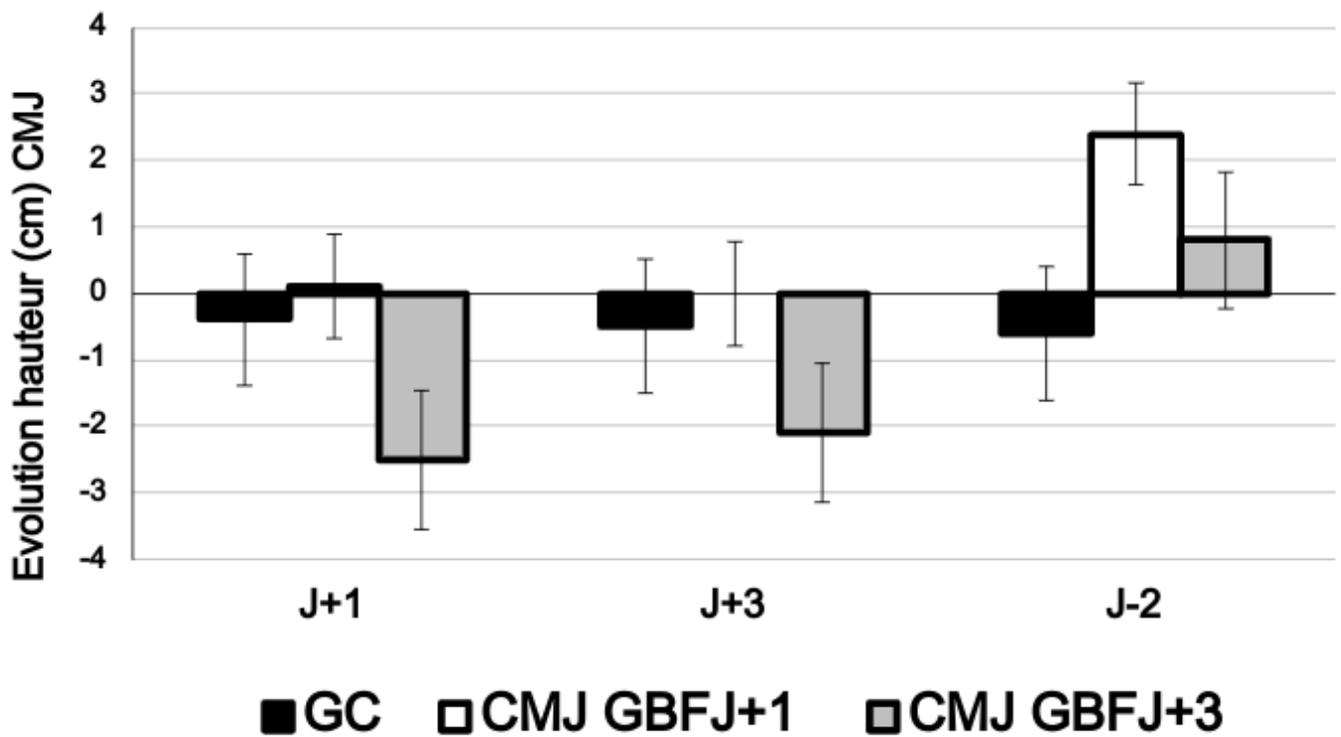
Tableau 9 : Cinétique de récupération évaluée à partir de la mesure subjective de la récupération (Questionnaire de Laurent)

Annexes 27 : Graphiques 1 à 4 résultats CMJ bras libre

Charges de travail sur les 4 semaines de protocole (unité arbitraire)				
Groupes	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4
Gr contrôle	1974 ± 185,23	1571,86 ± 489,99	1205 ± 216,57	1560 ± 386,41
Gr J+1	1893 ± 93,63	1704,01 ± 230,06	1368 ± 289,83	1500 ± 358,94
Gr J+3	1878 ± 191,99	1554,22 ± 376,88	1403,79 ± 289,98	1728,38 ± 488,88

Tableau 10 : Charges de travail durant les semaines d'expérimentation en fonction des groupes

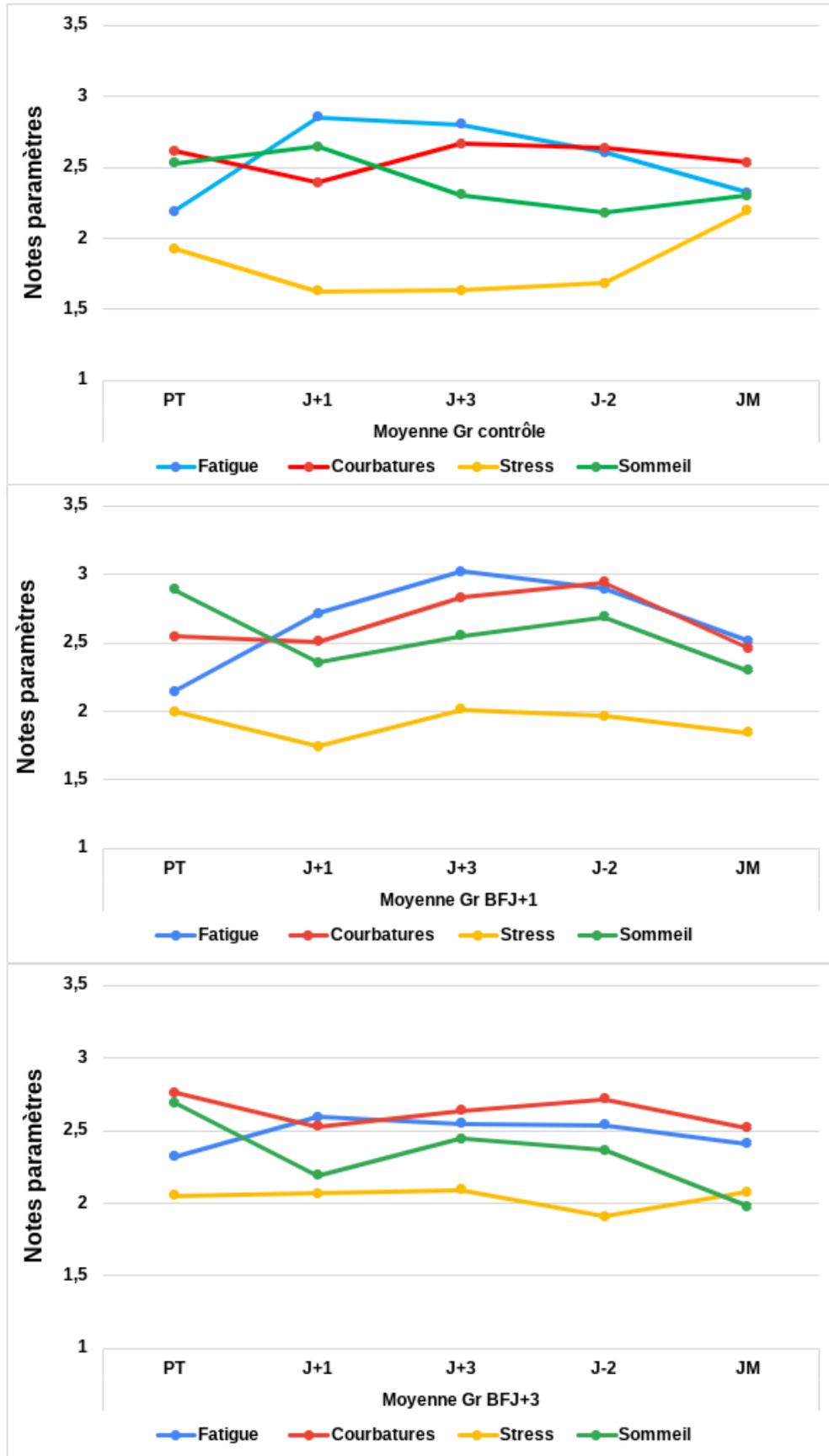
Annexes 28 : Graphiques évolution performances tests CMJ bras libre



PT = Pré Test; GC = Groupe Contrôle; CMJ = Counter Movement Jump

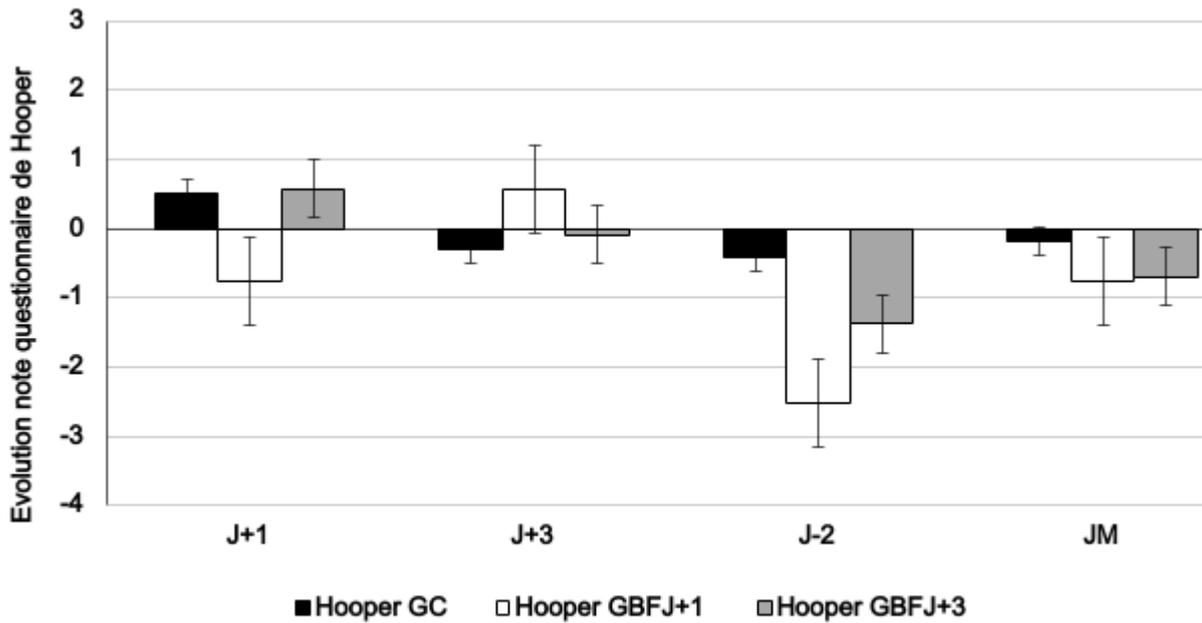
Graphique 1 : Evolution des performances tests CMJ bras libre Groupe contrôle

Annexes 29 : Graphiques 5 à 9 résultats : Questionnaire de Hooper et Laurent



Gr = Groupe; BF = Bains Froids

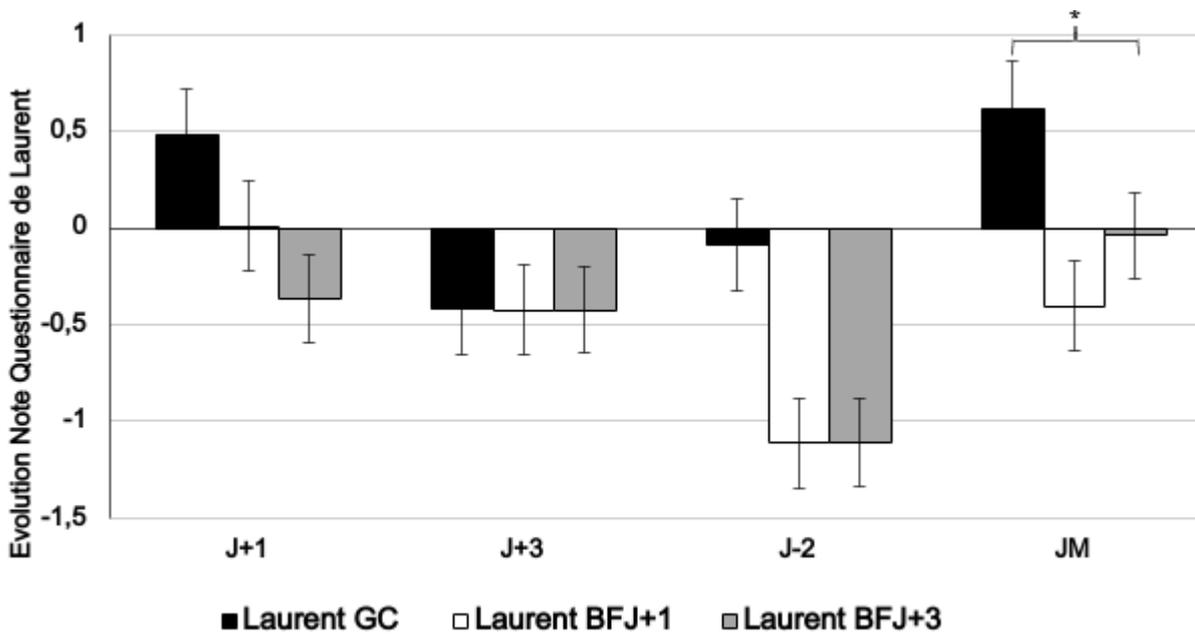
Graphiques 2-3-4 : Notes des paramètres du questionnaire de Hooper en fonction des groupes



GC = Groupe Contrôle; GBF = Groupe Bains Froids

Graphique 5 : Notes questionnaire de Hooper en fonction des groupes sur la semaine

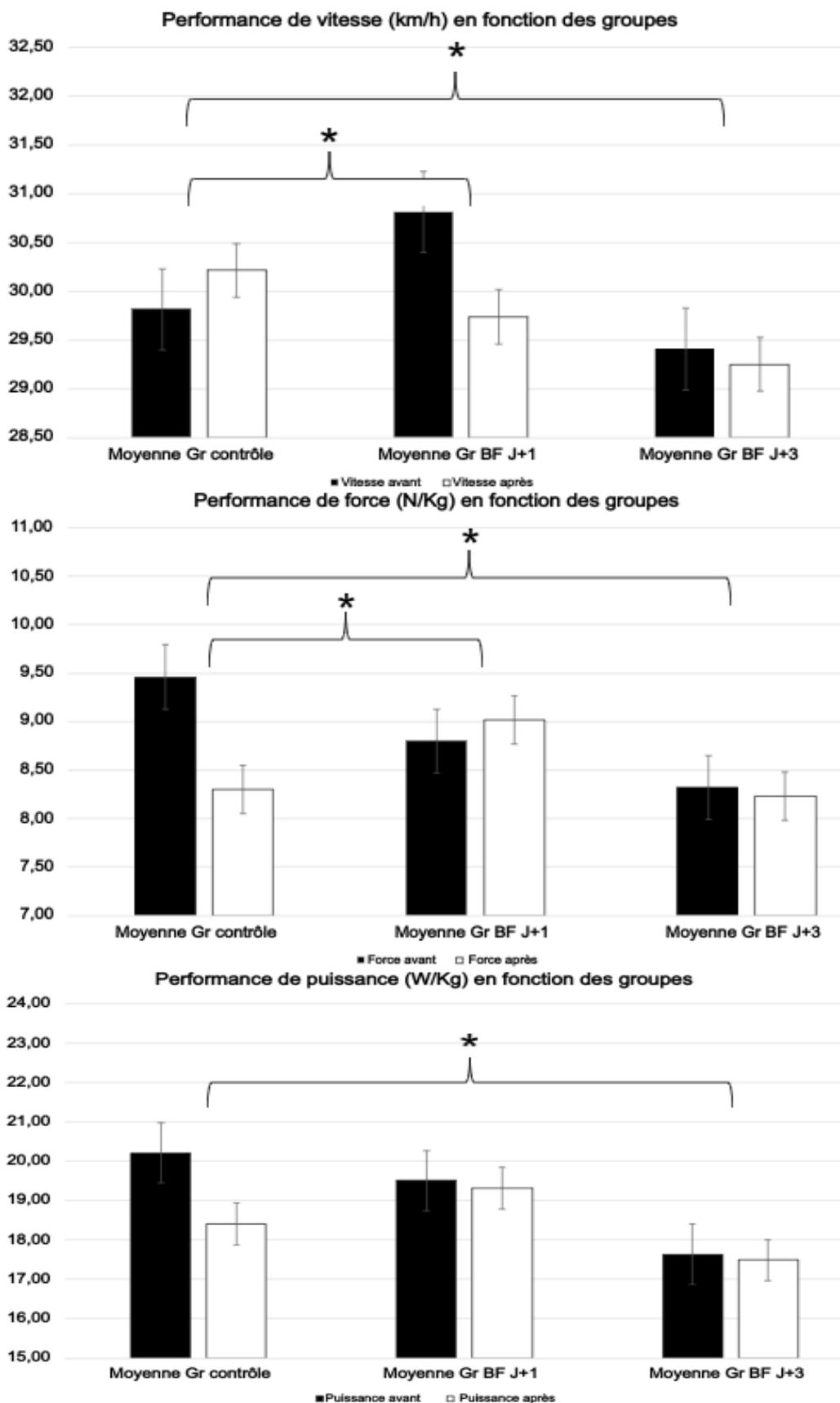
Tableau des résultats des réponses aux questionnaires de Laurent en annexes (N°26)



GC = Groupe Contrôle; GBF = Groupe Bains Froids

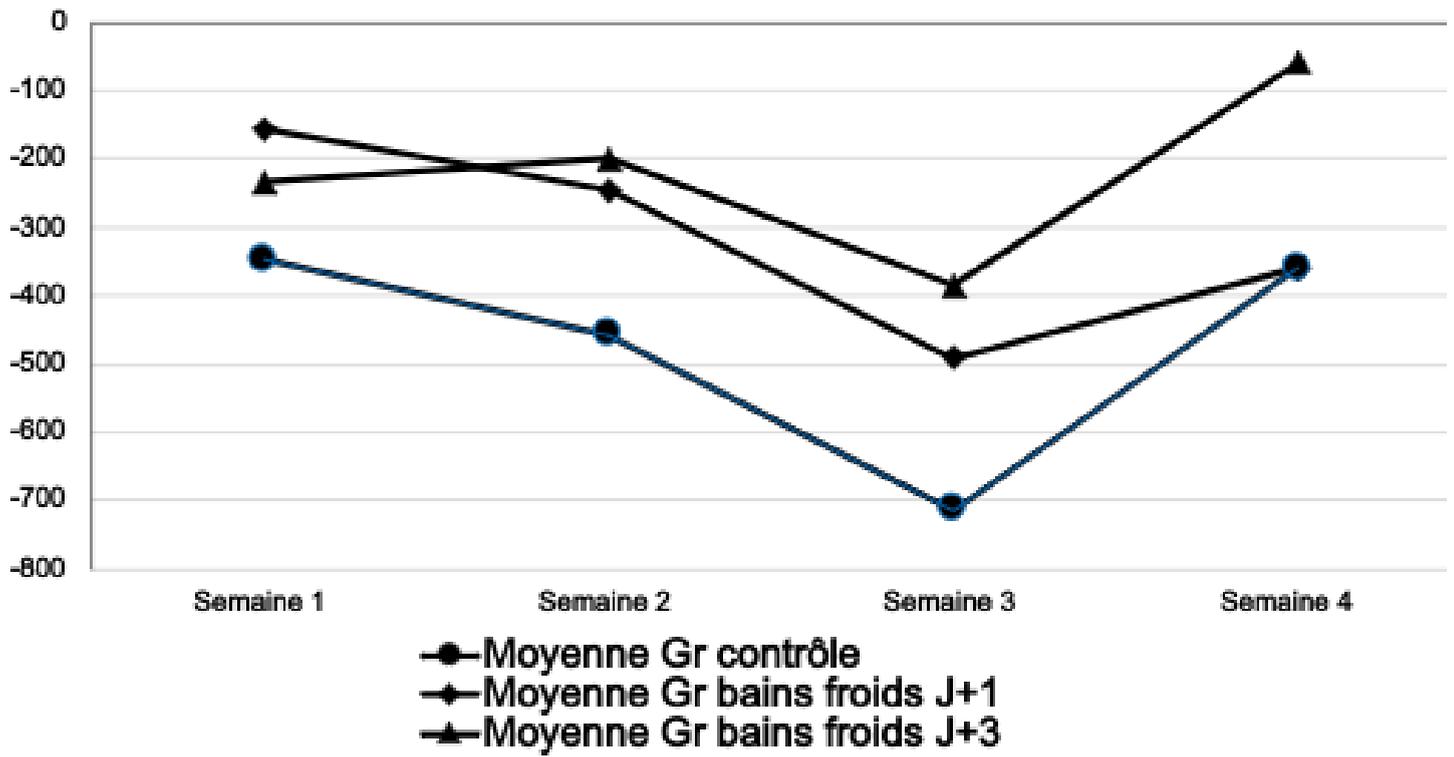
Graphique 6 : Notes questionnaire de Laurent en fonction des groupes sur la semaine

Annexes 30 : Graphiques 10 à 12 : résultats tests my sprint



Gr =Groupe; Gr BF = Groupe Bains Froids

Graphiques 7-8-9 : Evolution des performances sur le test mysprint



Gr = Groupe; Gr BF = Groupe Bains Froids

Graphique 10. *Variation moyenne sur 4 semaines des charges d'entraînement en fonction des groupes*

Annexes 32 : Tableau récapitulatif des résultats

Paramètres observés	Développement (Effet à J+1, J+3, J-2)	Performance (Effet à JM)
Puissance objective (CMJ)	Immersion à J+1	Immersion à J+1
Fatigue	Immersion à J+3	Immersion à J+3
Courbatures	Immersion à J+3	Immersion à J+3 *
Stress	Immersion à J+1	Immersion à J+1
Sommeil	Immersion à J+3	Immersion à J+1 *
Bien être (Hooper)	Immersion à J+3	Immersion à J+1
Récupération (Laurent)	Immersion à J+3	Immersion à J+3
Force (my sprint)	Immersion à J+1 et J+3 *	
Vitesse (my sprint)	Ne pas utiliser l'immersion en eau froide *	
Puissance (my sprint)	Immersion à J+3 *	
Charges de travail (RPE)	Ne pas utiliser l'immersion en eau froide	

* = Significatif

Etudes	Paramètre mesuré	Coefficient de variation					
		Pre	Post	24h	48h	72h	96h
Bailey et al. (2007)	FL ISO	13,3%		14,9%	6,5%		
	CK	37,2%	35,2%	19%	35,2%		
	Douleurs	150%	36,8%	37,5%	15,2%		
Leeder et al. (2014)	CMJ		6,1%	6,2%	5,5%	4,2%	
	EXT ISO		23,1%	6,5%	8,8%	4,5%	
	CK	76,7%		88,3%	100%	74,7%	
	Douleurs		81,2%	48,7%	40,6%	59,8%	
Magalhães et al. (2010)	Sprint 20 m	2,4%	2,3%	1,7%	2,3%	2,3%	
	CMJ libre	5,6%	5,4%	5,3%	6,1%	5,3%	
	FL CONC	4,4%	3,7%	4,2%	4,1%	8,5%	
	EXT CONC	5,5%	4,3%	5,3%	4,3%	6%	
	CK	159%	75,5%	17,5%	33,4%	52,5%	
	Douleurs		24%	15%	60%	80%	
Nédélec et al. (2013b)	SJ	9,9%	10,2%	8,4%	9,2%		
	CMJ	12,8%	10,2%	8,2%	9,4%		
	FL EXC	11,5%	13,5%	11,3%	9,7%		
	Douleurs	39,4%	20,9%	33,3%	28,2%		
Nédélec et al. (2013c)	CMJ	6,7%	8,3%	7%	8%	9,5%	
	CK	86,7%	67,5%	77,1%	76,4%	95%	
	Douleurs	20%	30%	20,8%	14,3%	36,7%	

ISO = force isométrique. CONC = force concentrique. EXC = force excentrique. EXT = muscles extenseurs du genou. FL = muscles fléchisseurs du genou. CMJ = détente lors d'un saut en contremouvement. CMJ libre = détente lors d'un saut en contremouvement avec les mains libres. CK = créatine kinase.

Tableau : Coefficient de variation interindividuel des marqueurs des dommages musculaires suite à une simulation de match

Etudes	Sujets	Exercice	Récupération	Effets du bain froid
Ascensão et al. (2011)	20 ♂ Haut niveau	Match de football	10 min à 10°C ou 10 min à 35°C	↑EXT ISO, ↓douleurs, ↓CK, ↓Mb, ↓CRP
Bailey et al. (2007)	10 ♂ entraînés	Simulation de match	10 min à 10°C ou récupération passive	↑FL ISO, ↓douleurs, ↓Mb
Delextrat et al. (2013)	8 ♂ + 8 ♀ entraînés	Match de basket-ball	5 x 2 min à 11°C ou massage ou passive	↑CMJ, ↓douleurs, ↓perception de la fatigue
Howatson et al. (2009)	16 ♂ entraînés	100 DJ 60 cm	12' à 15°C ou passive	Pas de différence significative pour EXT ISO, CK, douleurs
Ingram et al. (2009)	11 ♂ entraînés	Simulation de sport collectif	2 x 5 min à 10°C ou 3 x 2' à 10°C et 40°C en alterné ou passive	↑EXT ISO, ↑FL ISO, ↑RSA, ↓douleurs
King et Duffield (2009)	14 Fe entraînés	Exercice de répétition de sprints	15 min à 9°C ou active ou alterné 9°C et 39°C ou passive	↑CMJ, ↓douleurs
Pointon et Duffield (2012)	10 ♂ entraînés	Simulation match de rugby	20 min à 9°C ou passive	↑EXT ISO, VA, ↓douleurs
Pournot et al. (2011)	41 ♂ haut niveau	Exercice inducteur de dommages musculaires	15 min à 10°C ou alterné 10°C et 42°C ou passive	Pas de différence entre les groupes : EXT ISO, CMJ. ↓CK
Rupp et al. (2012)	13 ♂ + 9 Fe Haut niveau	Test Yo-Yo	15 min à 12°C ou passive	Pas de différence entre les groupes : CMJ, perception de la fatigue
Takeda et al. (2014)	20 ♂ entraînés	Simulation match de rugby	10 min à 15°C ou passive	Pas de différence entre les groupes : CMJ, vitesse. ↓Perception de la fatigue
Vaile et al. (2008)	38 ♂ entraînés	Exercice inducteur de dommages musculaires	Passive et 14 min à 15°C ou 14 min à 38°C ou 14 min alterné 15°C et 38°C	↑EXT ISO, ↑SJ, ↓CK
White et al. (2014)	8 ♂ entraînés	12 sprints de 120m	10' à 10°C ou 30' à 10°C ou 10' à 20°C ou 30' à 20°C ou passive	↑DJ, ↓IL-8. Pas de différence entre les groupes : SJ, IL-6

♂ = homme. ♀ = femme. ISO = force isométrique. CONC = force concentrique. EXC = force excentrique. EXT = muscles extenseurs du genou. FL = muscles fléchisseurs du genou. CMJ = détente lors d'un saut en contremouvement. DJ = drop jump, saut en contrebas. SJ = squat jump, saut avec départ en position squat. RSA = performance lors d'un test de répétition de sprints. CK = créatine kinase. Mb = myoglobine. CRP = protéine C-réactive. IL- = interleukine.

Résumé et mots-clés

Objectifs : L'objectif de ce mémoire est de mesurer l'impact de l'immersion en eau froide chez le jeune footballeur de haut niveau en centre de formation sur plusieurs paramètres objectifs et subjectifs de la récupération dans le but d'optimiser le développement du joueur.

Méthodes : Les tests CMJ ont été réalisés à J+1, J+3 et J-2 et les questionnaires de Hooper et Laurent à J+1, J+3, J-2 et JM sur un effectif de 22 joueurs évoluant dans un centre de formation, divisé en trois groupes de 6 à 7 joueurs. En fonction du groupe dans lequel ils étaient, les joueurs se sont immergés dans une eau à 10° durant 10 minutes à J+1 pour le groupe 1 et à J+3 pour le groupe 2. Le groupe contrôle n'a pas été immergé. Avant et après ce protocole de 4 semaines les joueurs ont réalisé un test my sprint afin de voir l'évolution des performances et donc déterminer si l'immersion en eau froide a un effet sur le développement du joueur en centre de formation sur les paramètres de force, vitesse et puissance.

Résultats : Les données récoltées n'ont pas toutes respectées la normalité et l'homogénéité des variances (test de Shapiro-Wilk et de Levene), nous avons donc réalisé le test Kruskal-wallis pour échantillons indépendants. Les résultats ont montré certains résultats significatifs mais qui ne se répétaient pas au fil des semaines, il faut le prendre en compte dans l'interprétation. Cependant les 2 protocoles d'immersion en eau froide présentent des résultats significatifs et utilisables sur les paramètres de récupération et de performances.

Conclusion : Les résultats mettent en évidence que l'immersion en eau froide à 10°C durant 10 minutes à J+1 ou J+3 permet d'optimiser certains paramètres de récupération, de bien-être et de performances de manière significative chez le jeune joueur en centre de formation. L'immersion à J+3 semble cependant légèrement plus intéressante.

Mots clés : football, centre de formation, immersion en eau froide, récupération, performance.

Abstract and keywords

Objectives : The objective of this thesis is to measure the impact of cold water immersion in young high level footballers in training centers on several objective and subjective parameters of recovery in order to optimize the development of the player.

Methods : The CMJ tests were carried out on D+1, D+3 and D-2 and the Hooper and Laurent questionnaires on D+1, D+3, D-2 and JM on a group of 22 players playing in a training center, divided into three groups of 6 to 7 players. Depending on which group they were in, the players immersed themselves in water at 10° for 10 minutes on D+1 for group 1 and on D+3 for group 2. The control group was not immersed. Before and after these 4 week protocol, the players carried out a my sprint test in order to see the evolution of their performance and thus determine whether immersion in cold water has an effect on the development of the players in the training center on the parameters of strength, speed and power.

Results : The data collected did not all respect normality and homogeneity of variances (Shapiro-Wilk and Levene test), so we performed the Kruskal-wallis test for independent samples. The results showed some significant results, but they were not repeated over the weeks, which must be considered in the interpretation. However, the 2 cold water immersion protocols show significant and usable results on recovery and performance parameters.

Conclusion : The results show that immersion in cold water at 10°C for 10 minutes on D+1 or D+3 significantly optimizes certain parameters of recovery, well-being and performance in young players in training centers. However, immersion on D+3 seems slightly more interesting.

Keywords : football, training center, cold water immersion, recovery, performance.

Compétences acquises entre le début du stage et la soutenance du mémoire :

Ce stage m'a permis de découvrir le monde de la préparation physique en centre de formation d'un club professionnel de football. J'ai grandement appris de par l'environnement et les personnes qui m'ont encadré et suivi dans ce stage et la structure. J'ai pu tester et expérimenter différentes méthodes d'entraînement, tester différents outils, j'ai appris à m'adapter de plus en plus rapidement sur le terrain...

J'ai appris à me confronter à un groupe d'adolescents footballeurs de haut niveau avec toute la complexité, les tensions et enjeux que cela comporte dans la/les relations entre les sportifs eux-même et entre les sportifs et le préparateur physique.

J'ai pu comprendre réellement les enjeux des centres de formation dans lesquels le développement passe avant la performance du joueur et de l'équipe.

Enfin, ce stage m'a permis de m'affirmer en tant que préparateur physique auprès du directeur, des entraîneurs, et des préparateurs physiques du club.

Ce mémoire m'a permis d'acquérir un début d'expertise dans le domaine de la récupération du footballeur, de l'optimisation du développement du jeune joueur en centre de formation.

Pour la suite, il me faudra consolider mes acquis dans le but de toujours continuer à progresser et à m'améliorer dans le métier de préparateur physique.

Pour finir, je tiens à dire que je suis très heureux de l'année que j'ai passée avec le club et ses membres et de la réalisation de ce document avec mon directeur de mémoire.