



# EFFETS DE LA CRYOTHÉRAPIE DU CORPS ENTIER SUR LE BIEN-ÊTRE MENTAL ET PHYSIQUE

Hausswirth C.<sup>1,2,3</sup>, Lepers R.<sup>2</sup>, Raimondi V.<sup>4,5,8</sup>, Coste A.<sup>1</sup>,  
Duforez F.<sup>6</sup>, Bieuzen F.<sup>7</sup>, Bausset O.<sup>8</sup> & Millour G.<sup>1,9</sup>

<sup>1</sup>Institut beScored, Sophia-Antipolis (France) ; <sup>2</sup>Université de Bourgogne, Dijon (France) ; ; <sup>3</sup>University of Technology, UTS, Sydney (Australie) ; <sup>4</sup>Bomba Sport, Cagnes-sur-Mer (France) ; <sup>5</sup>Infinite Health, Cagnes-sur-Mer (France) ; <sup>6</sup>European Sleep Center, Paris (France) ; <sup>7</sup>Institut national du sport du Québec, Montréal (Canada) ; <sup>8</sup>Cerballiance Provence-Azur, Cagnes-sur-Mer (France) ; <sup>9</sup>Université de Nantes, Nantes (France).



# 1. INTRODUCTION

L'Organisation mondiale de la santé définit la santé mentale comme un état de bien-être qui permet aux individus de faire face au stress de la vie, de réaliser leur potentiel, d'apprendre et de travailler efficacement, et de contribuer de manière significative à leur communauté. Malgré cet idéal, les troubles de la santé mentale sont de plus en plus fréquents dans le monde. Une étude récente portant sur 16 000 participants dans 16 pays (Ipsos & AXA, 2024) a révélé que 23 % de la population souffre de problèmes de santé mentale graves ou très graves. Parmi les personnes âgées de 18 à 24 ans, ce taux s'élève à 39 %, ce qui indique une tendance préoccupante. Ces défis sont particulièrement évidents sur le lieu de travail, où 76 % des employés signalent des symptômes tels que fatigue extrême, troubles du sommeil, stress, anxiété et perte de motivation, qui ont tous un impact significatif sur les performances et le bien-être général. La pandémie de COVID-19 a encore intensifié ces problèmes, entraînant une augmentation des problèmes de santé mentale (Wu et al., 2021).

Pour prévenir ou atténuer ces troubles, l'adoption d'un mode de vie sain - comprenant une activité physique régulière, une alimentation équilibrée et l'absence de tabagisme - est largement recommandée (Firth et al., 2020). Parallèlement, les interventions non pharmacologiques telles que les techniques de relaxation, la méditation et la thérapie par le froid suscitent un intérêt croissant (Linden & Moseley, 2006 ; Hausswirth et al., 2022 ; Doets et al., 2021). Parmi ces approches, la cryothérapie du corps entier (WBC) est largement reconnue pour ses propriétés anti-inflammatoires et son rôle dans l'amélioration de la récupération et de la préparation physique chez les athlètes (Patel et al., 2019 ; Partridge et al., 2019). Cependant, au-delà de ses avantages physiologiques, des recherches récentes suggèrent que le WBC peut également contribuer au bien-être mental, notamment en atténuant les symptômes de l'anxiété et de la dépression (Rymaszewska et al., 2020 ; Doets et al., 2021). Des données indiquent que le CBC peut améliorer la qualité de vie, avec des effets bénéfiques observés chez des individus en bonne santé (Arc-Chagnaud et al., 2024), chez ceux qui présentent des symptômes dépressifs (Szczepańska-Gieracha et al., 2014) et chez des patients atteints de sclérose en plaques (Zielińska-Nowak et al., 2025). Les mécanismes sous-jacents peuvent impliquer des réponses hormonales déclenchées par le WBC, comme une diminution des niveaux de cortisol, qui est associée à la régulation du stress (Wozniak et al., 2012). Cependant, la littérature présente des résultats contradictoires, certaines études faisant état d'une augmentation du cortisol après le WBC (Banfi et al., 2010 ; Barłowska-Trybulec et al., 2022). En outre, Barłowska-Trybulec et al. (2022) ont observé une légère augmentation de la noradrénaline et de la  $\beta$ -endorphine, toutes deux connues pour leurs propriétés analgésiques et leur rôle dans la régulation de l'humeur.

Un domaine de recherche particulièrement prometteur se concentre sur la relation entre le WBC et la qualité du sommeil. Le sommeil jouant un rôle central dans la santé mentale, Doets et al. (2021) suggèrent que son amélioration pourrait être essentielle pour réduire les troubles de la santé mentale. Une amélioration de la qualité du sommeil après la CMB a notamment été observée chez des personnes atteintes de sclérose en plaques (Zielińska-Nowak et al., 2025). De même, Arc-Chagnaud et al. (2024) ont démontré que la CMB affecte positivement l'architecture du sommeil, augmentant la durée du sommeil à ondes lentes chez des jeunes en bonne santé, en particulier chez les femmes. Ces résultats suggèrent que le WBC pourrait être un

Il s'agit d'un état caractérisé par la lassitude, le manque de motivation et des performances cognitives réduites (Mozuraityte et al., 2023). Bien que les effets spécifiques du WBC sur la fatigue mentale restent insuffisamment étudiés, les recherches existantes fournissent des indications prometteuses. Kujawski et al. (2022) ont rapporté une réduction de la fatigue mentale et physique, évaluée subjectivement, chez des patients atteints du syndrome de fatigue chronique, ainsi qu'une amélioration des performances cognitives après 10 séances de WBC. De même, Rymaszewska et al. (2021) ont constaté que 10 séances de WBC pouvaient améliorer la fonction cognitive chez des personnes souffrant de troubles cognitifs légers, ce qui suggère son potentiel pour soutenir les performances mentales et la récupération.

Un autre aspect important de la gestion de la santé mentale est le soulagement de la douleur, car la douleur chronique est étroitement liée à la détresse psychologique et peut avoir un impact significatif sur le bien-être général (Zielińska-Nowak et al., 2025). Le WBC a démontré son efficacité dans la réduction de la douleur et du handicap chez les patients atteints de fibromyalgie (Vitenet et al., 2018) et de lombalgie chronique (Barłowska-Trybulec et al., 2022), ce qui peut, à son tour, contribuer à l'amélioration de la santé mentale. Ces auteurs ont également rapporté des changements significatifs dans les marqueurs inflammatoires, avec des réductions des marqueurs pro-inflammatoires et des augmentations des marqueurs anti-inflammatoires. Cette diminution de la perception de la douleur peut encourager une plus grande activité physique, ce qui est essentiel pour maintenir un mode de vie sain et actif et promouvoir le bien-être mental (Firth et al., 2020 ; Herbert, 2022).

## **2. OBJECTIF ET HYPOTHÈSE**

Cette étude vise à évaluer les effets de dix séances de 3 minutes de WBC à -85°C en utilisant le système Mecotec® (Cryo-One+, MECOTEC GmbH, Bitterfeld-Wolfen, Allemagne) sur le stress, l'anxiété et les symptômes dépressifs, la qualité du sommeil, les fonctions cognitives, la fatigue mentale et la douleur corporelle. Nous émettons l'hypothèse que les séances de cryothérapie contribueront à améliorer le bien-être mental et physique, ce qui aura un impact positif sur la fatigue mentale et les performances cognitives des participants.

## **3. MATÉRIAUX ET MÉTHODES**

### **3.1. Les participants**

Un questionnaire en ligne a été partagé avec une base de données de plus de 400 participants potentiels (hommes et femmes). Après analyse des résultats, 35 participants (voir tableau 1) ont été sélectionnés sur la base des critères d'inclusion et d'exclusion détaillés ci-dessous.

Critères d'inclusion :

- Hommes ou femmes actifs et en bonne santé.
- Agés de 18 à 65 ans.
- Un score > 13 sur l'échelle de stress perçu (PSS), indiquant un niveau de stress anormalement élevé (Cohen et al., 1983).
- Un score > 7 au questionnaire de l'indice de gravité de l'insomnie (ISI), indiquant des troubles de l'insomnie (Bastien et al., 2001).

Critères d'exclusion :

- Les personnes vulnérables, telles que définies aux articles L. 1121-5 à L.1121-8 et L.1122-1- 2 du code de la santé publique français (ex : personnes privées de liberté, mineurs, majeurs protégés, etc.)
- Les personnes présentant une contre-indication médicale aux séances de cryothérapie Mecotec® . Les contre-indications étaient basées sur le manuel d'utilisation du fabricant, comme indiqué ci-dessous :

La cryothérapie du corps entier est contre-indiquée pour les personnes souffrant de certaines conditions et maladies. Les principales contre-indications sont les suivantes

- Les personnes ayant des antécédents d'accident vasculaire cérébral,
- Les personnes souffrant d'hypertension non contrôlée,
- Insuffisance respiratoire,
- Insuffisance circulatoire,
- Angine de poitrine,
- Les personnes porteuses d'un stimulateur cardiaque,
- Maladie artérielle périphérique (stade 3 ou 4),
- Thrombose veineuse profonde,
- Infections respiratoires aiguës,
- Colique néphrétique,
- Anémie sévère,
- Allergies au froid et syndrome de Raynaud,
- Cryoglobulinémie bactérienne ou virale aiguë,
- Infections profondes aiguës,
- Utilisation de médicaments anticoagulants.

Dans certains cas, les contre-indications sont relatives et nécessitent un entretien médical approfondi ou l'approbation d'un médecin. C'est le cas des conditions suivantes :

- Arythmies cardiaques,
- Insuffisances valvulaires,

- Cas de sténose valvulaire,
- Maladie artérielle périphérique (stade 1 et 2),
- Maladie cardiaque ischémique,
- Polyneuropathie,
- Cas de claustrophobie.

En outre, les personnes souffrant de troubles psychologiques nécessitant une médication (par exemple, des antidépresseurs) ou souffrant de déficiences cognitives incompatibles avec les tests effectués dans le cadre du protocole ont été exclues. Les participants ont été interrogés par un médecin lors de la visite de sélection précédant l'étude afin de confirmer l'absence de contre-indications. La pression artérielle a été mesurée en position couchée à l'aide d'un tensiomètre électronique (HBP 1120, Omron, Kyoto, Japon), lors de la séance de dépistage pour les deux groupes et avant chaque séance de WBC pour le G-exp. Tous les participants ont donné leur consentement éclairé pour participer à l'étude.

### 3.2. Plan d'expérience

Les participants ont été répartis au hasard dans l'un des deux groupes d'intervention : (1) un groupe expérimental (G-exp, N= 25), qui a effectué 10 séances de WBC de 3 minutes en utilisant le système Cryo-One+ Mecotec® (Figure 1) sur une période de 4 semaines, avec une fréquence de 2 à 3 séances par semaine ; (2) un groupe témoin (G-cont, N = 10), qui a reçu l'instruction de maintenir son mode de vie habituel pendant la même période. Pendant les séances de WBC, les participants ont été exposés à des températures extrêmement basses (-85°C) pendant 3 minutes au total. Tous les participants portaient des vêtements de protection minimale, notamment des sous-vêtements, des chaussettes, des sabots, des gants, un bandeau pour protéger leurs oreilles et un masque chirurgical pour éviter l'inhalation directe d'air froid. Tout au long de la séance, les participants pouvaient communiquer avec l'expérimentateur et arrêter la cryothérapie à tout moment en cas d'événements indésirables. Aucun incident particulier n'a été rapporté au cours des séances. Diverses mesures, décrites ci-dessous (Figure 2), ont été effectuées avant, pendant et après le protocole.



Figure 1. Illustration de l'appareil de cryothérapie Mecotec® .

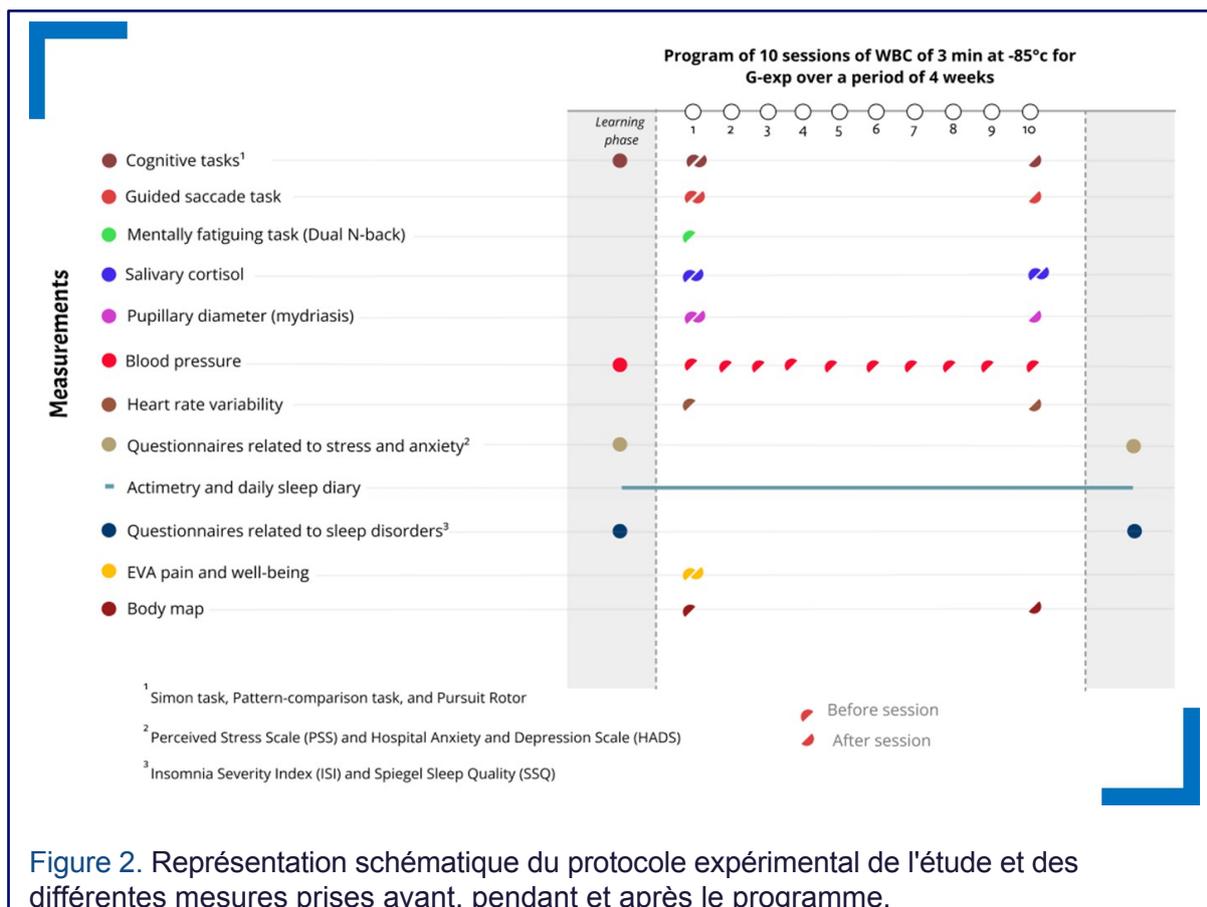


Figure 2. Représentation schématique du protocole expérimental de l'étude et des différentes mesures prises avant, pendant et après le programme.

### 3.3. Mesures

#### 3.3.1. Évaluation des performances cognitives et de la fatigue mentale

Une tâche de saccade guidée (mesurée par suivi oculaire) et trois tâches cognitives ont été mises en œuvre à l'aide de MATLAB/PsychToolbox (The MathWorks, Natick, Massachusetts, États-Unis) et exécutées séquentiellement sur un ordinateur. Elles ont été utilisées pour évaluer les effets d'une session unique et du programme sur la fatigue mentale et les performances cognitives des participants. Une séance de familiarisation a d'abord été organisée lors de la première visite. Lors de la deuxième visite, les participants ont effectué trois blocs de tests : (1) au début, (2) au milieu après une tâche fatigante (détaillée ci-dessous), et (3) après une séance de WBC pour le G-exp ou après 15 min de repos assis pour le G-cont. Un dernier bloc de test a été effectué à la fin du programme, après la dernière séance de WBC pour le G-exp ou une phase de repos assis de 15 minutes pour le G-cont.

#### Évaluation de la fatigue mentale

Tout d'abord, les participants ont rempli une échelle visuelle analogique mentale (M-VAS) (Vrijkotte et al., 2018) pour évaluer leur fatigue mentale perçue en déplaçant un curseur de 0 ("pas fatigué à

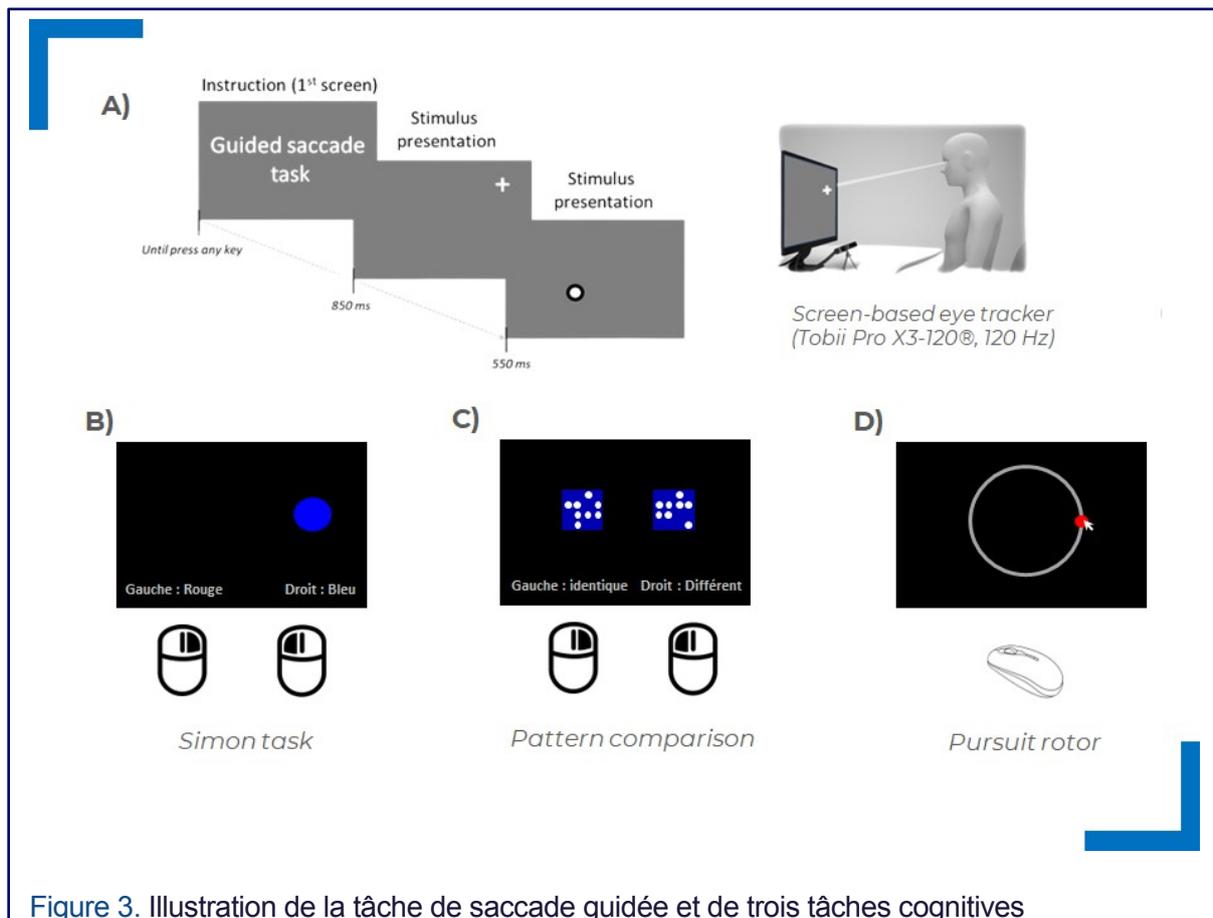
tous") à 100 ("complètement épuisé mentalement"). Une tâche de saccade guidée (Di Stasi et al., 2014) a ensuite été réalisée pour évaluer objectivement la fatigue mentale (figure 3A). Les participants devaient suivre des cibles qui apparaissaient de manière séquentielle sur un écran d'ordinateur. Chaque essai consistait en une croix de fixation (850 ms) suivie d'un cercle (550 ms). Les participants ont effectué deux blocs de 48 saccades guidées, séparés par 1 minute de repos. Les 48 saccades représentaient quatre positions de départ (chaque coin de l'écran) × quatre amplitudes de saccade (8°, 12°, 16° et 20° d'angle visuel) × trois directions (verticale, horizontale et diagonale). Les mouvements oculaires ont été enregistrés à l'aide d'un eye tracker (Tobii Pro X3-120® , Tobii Technology, Danderyd, Suède) à une fréquence de 120 Hz. L'appareil a été calibré avant chaque test conformément aux directives du fabricant afin d'en garantir la précision. Nous avons analysé la vitesse de saccade maximale et la vitesse de saccade moyenne pour des amplitudes comprises entre 15° et 20°. Enfin, nous avons établi la relation entre la vitesse et l'amplitude des saccades et ajusté une fonction de puissance pour calculer l'aire sous la courbe correspondant à des amplitudes de saccade allant de 5° à 20°.

### Simon Task

Après la tâche de saccade guidée, les participants ont effectué la tâche de Simon (Yamaguchi & Proctor, 2012) (Figure 3B). Dans ce test d'inhibition sélective, les participants devaient répondre le plus rapidement et le plus précisément possible à la couleur d'un stimulus (cercle rouge ou bleu), indépendamment de son emplacement sur le côté droit ou gauche d'un écran de 24 pouces (1920× 1080 résolution). Les participants ont utilisé deux souris d'ordinateur, l'une dans la main gauche et l'autre dans la main droite. Lorsqu'un cercle rouge apparaissait, ils cliquaient avec l'index gauche, et lorsqu'un cercle bleu apparaissait, ils cliquaient avec l'index droit. La tâche comprenait deux types d'essais : les essais congruents (CO), où l'emplacement du stimulus correspondait à la couleur (par exemple, un stimulus rouge à gauche ou un stimulus bleu à droite), et les essais incongrus (IN), où l'emplacement et la couleur ne correspondaient pas (par exemple, un stimulus rouge à droite ou un stimulus bleu à gauche). Lors des essais IN, les participants devaient ignorer la dimension non pertinente du stimulus pour fournir la bonne réponse, testant ainsi leur inhibition sélective de la réponse. Le temps de réaction (TR) était généralement plus long pour ces essais en raison de l'effet d'interférence. Chaque essai commençait par une croix de fixation au centre de l'écran. Après 400 ms, le stimulus apparaissait et les participants répondaient en fonction de la couleur d'un cercle de 40 pixels de diamètre affiché à droite ou à gauche de l'écran (à 300 pixels du centre). Le stimulus disparaissait dès que le participant répondait. Une phase d'apprentissage de la tâche a eu lieu plusieurs jours avant les tests, consistant en 5 blocs de 20 essais. La phase de test consistait en un bloc de 60 essais - moitié CO et moitié IN. Les principaux résultats étaient le temps de réaction moyen (en ms) et la précision de la réponse (pourcentage de réponses correctes) pour les essais CO et IN. Les essais dont le temps de réaction était inférieur à 100 ms (anticipation) ou supérieur à 1 000 ms (omission) ont été exclus de l'analyse.

### Tâche de comparaison de motifs visuels

Ensuite, les participants ont effectué une tâche de comparaison de motifs visuels (Perez et al. 1987) (figure 3C). Ce test évalue la vitesse de traitement de l'information psychomotrice et le temps de réaction. Les participants ont vu deux stimuli visuels (grilles) côte à côte et ont dû déterminer le plus rapidement possible s'ils étaient identiques ou différents en cliquant avec l'index gauche (identique) ou l'index droit (différent). La phase d'apprentissage de la tâche consistait en cinq blocs de 20 essais. Au cours des sessions d'évaluation, les participants ont effectué 50 essais, dont 50 % CO (stimuli identiques) et 50 % IN (stimuli différents). Comme pour la tâche de Simon, le temps de réaction moyen (en ms) et la précision de la réponse étaient les principaux résultats pour les essais CO et IN.



### Tâche visuomotrice (Pursuit Rotor Task, PRT)

Enfin, les participants ont effectué une tâche visuomotrice (Piper, 2011) dans laquelle ils ont suivi une cible mobile le long d'une trajectoire circulaire à l'aide de la souris de l'ordinateur (figure 3D). Les participants ont effectué 5 blocs de familiarisation de 22,5 secondes chacun. Les sessions d'évaluation consistaient en trois essais de 30 secondes (3× 4 rotations), avec une vitesse de rotation fixe d'un tour complet toutes les 7,5 secondes. Les variables dépendantes étaient le temps moyen

passé sur la cible et l'écart moyen entre le curseur et le centre de la cible (précision spatiale en pixels).

### Tâche fatigante

Au cours de la 1<sup>ère</sup> session de test, tous les participants ont effectué une tâche cognitivement exigeante (Time Load Dual Back [TLDB]) d'une durée de 16 minutes afin d'augmenter la fatigue mentale entre les 1<sup>er</sup> et 2<sup>es</sup> blocs de test (Jacquet et al., 2021). Cette tâche fatigante a été conçue pour épuiser les réserves cognitives avant la récupération passive ou la séance de WBC. Ainsi, le dernier bloc a permis de mesurer les effets du type de récupération sur la fatigue mentale. Le TLDB est une tâche cognitive qui combine une tâche classique de mise à jour de la mémoire de travail, le N-back, avec une seconde tâche d'interférence (c'est-à-dire une décision sur la parité des nombres). Lorsque les participants voyaient un nombre, ils devaient indiquer s'il était pair ou impair en appuyant sur la touche "2" ou "3" du clavier numérique avec leur main droite. Lorsqu'ils voyaient une lettre, ils devaient appuyer sur la barre d'espace avec leur main gauche si la lettre présentée était identique à celle présentée immédiatement avant (avec un chiffre apparaissant entre les deux lettres à comparer, puisque les chiffres et les lettres étaient alternés). Chaque stimulus était présenté pendant une durée individualisée pour chaque participant. Pour déterminer cette durée, un test a été réalisé pendant la session de familiarisation avec plusieurs blocs de 60 essais entrecoupés de pauses de 30 secondes, où la vitesse de présentation du stimulus augmentait progressivement jusqu'à ce que les participants ne soient plus en mesure d'obtenir au moins 85 % de réponses correctes. L'avantage de cette tâche cognitive est qu'elle permet d'ajuster individuellement la charge de travail en modifiant l'intervalle entre deux stimuli, ce qui peut augmenter ou diminuer la difficulté de la tâche.

### 3.3.2. Évaluation des niveaux de stress et d'anxiété

#### Taux de cortisol

Des échantillons salivaires ont été prélevés lors de la première et de la dernière session de test, au début de la session et 15 min après le WBC pour le G-exp ou la récupération passive pour le G-cont, afin de mesurer le taux de cortisol (exprimé en nmol/L). Cette hormone est utilisée comme biomarqueur du stress (Hellhammer et al., 2009). Les échantillons ont été directement congelés et analysés à la fin de l'étude par un laboratoire de biologie agréé (Cerballiance Provence Azur, Cagnes-sur-Mer, France).

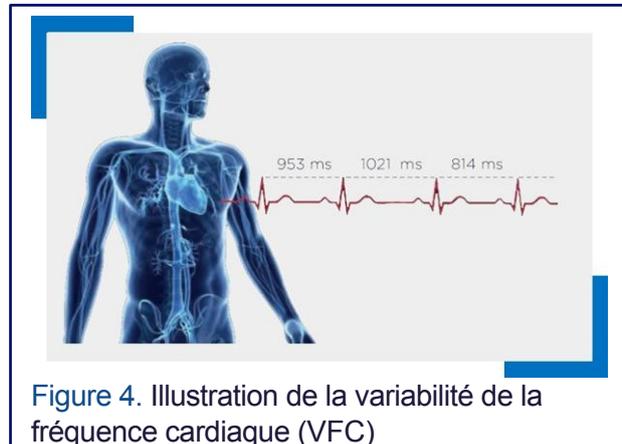
#### Mydriase

Nous avons également mesuré la dilatation des pupilles (mydriase), un indicateur de stress bien connu (Pedrotti et al. 2014). Le diamètre de la pupille, exprimé en millimètres (mm), a été mesuré avec le Tobii et les données ont été traitées et enregistrées simultanément à l'aide de MATLAB/PsychToolbox. Pendant les mesures de 30 s prises avant chaque tâche de saccade guidée, les participants ont reçu l'instruction de fixer une croix blanche affichée à l'écran.

au centre d'un écran d'ordinateur noir. Pour tenir compte des variations de la dilatation de la pupille dues aux changements d'éclairage (Bradley et al., 2008), les 5 premières secondes des données ont été exclues de l'analyse et toutes les mesures ont été effectuées dans des conditions d'éclairage constantes.

#### Variabilité de la fréquence cardiaque (VFC)

La variabilité de la fréquence cardiaque (VFC ; figure 4) a été mesurée au début et à la fin du programme pour les deux groupes. Les participants portaient un capteur de fréquence cardiaque thoracique (Polar H9, Kempele, Finlande), connecté par Bluetooth à l'application Elite HRV (<https://elitehrv.com/>). La mesure a été effectuée en position couchée pendant 5 minutes sur une table de massage dans une pièce calme. Aucune fréquence respiratoire spécifique n'a été imposée. Pour l'analyse des données, seuls les



Les intervalles RR entre 1 min 30 s et 4 min 30 s des enregistrements ont été utilisés pour calculer les indices VRC dans le domaine temporel, à savoir la racine carrée moyenne des différences successives entre les intervalles RR (RMSSD) et l'écart-type des intervalles RR (SDNN) (Pereira et al., 2017).

#### Échelle de stress perçu (PSS-10)

En plus des mesures objectives, les participants ont rempli la version française du questionnaire PSS-10, développé à l'origine par Cohen et al. (1983), afin d'évaluer l'impact du programme sur le stress perçu. Sur les dix questions qui composent le PSS-10, six évaluent les expériences négatives et quatre les expériences positives. Les réponses ont été données sur une échelle de Likert allant de 0 (jamais) à 4 (très souvent), avec une notation inversée pour les questions positives. Le score total va de 0 à 40, avec l'interprétation suivante : stress "faible" pour 0 à 13 points, stress "modéré" pour 14 à 26 points et stress "élevé" pour 27 à 40 points.

#### Échelle d'anxiété et de dépression hospitalière (HADS)

Les participants ont également rempli la version française du questionnaire HADS (Zigmond & Snaith, 1983). Cette échelle est composée de 14 items notés de 0 à 3 mesurant la sévérité des symptômes d'anxiété et de dépression. Le score varie de 0 à 21 pour chaque sous-échelle (anxiété et dépression). Un score compris entre 0 et 7 est considéré comme "normal", entre 8 et 10 comme "à la limite de l'anormalité" et entre 11 et 21 comme "anormal".

### 3.3.3. Évaluation de la qualité du sommeil

#### Actigraphie

Le sommeil des participants a été surveillé tout au long du programme à l'aide d'un actimètre (Motionwatch 8, Cambridge Neurotechnology Ltd., Cambridge, UK), porté uniquement la nuit sur le poignet non dominant (c'est-à-dire le gauche pour les droitiers et le droit pour les gauchers). Différents paramètres ont été extraits des données actigraphiques, échantillonnées à 50 Hz et traitées par intervalles de 30 secondes :

- Temps passé au lit : le temps total écoulé entre les heures de "coucher" et de "lever", marqué par la pression des participants sur le bouton de l'actimètre.
- Temps de sommeil effectif : temps total passé en "sommeil", calculé à partir de l'activité actigraphique.
- Efficacité du sommeil : rapport entre le temps de sommeil effectif et le temps passé au lit, exprimé en pourcentage.
- Latence du sommeil : le temps qui s'écoule entre le moment où l'on va se coucher et celui où l'on s'endort.
- Périodes d'éveil : Nombre de brèves périodes d'éveil.
- Temps passé immobile.
- Indice de fragmentation : fréquence des perturbations du sommeil.

La moyenne de ces indices actigraphiques a été calculée sur des périodes de 4 nuits :

- Base de référence : Moyenne des quatre premières nuits avant le programme.
- Début : Moyenne des quatre premières nuits du programme.
- Moyenne : Moyenne des quatre nuits au milieu du programme, entre les sessions cinq et six.
- Fin : Moyenne des quatre nuits suivant le programme.

#### Agenda du sommeil

Les participants ont également tenu un journal de leur sommeil en commençant quatre jours avant le programme et en terminant quatre jours après la dernière session. Chaque soir, ils ont noté leur état physique perçu au cours de la journée sur une échelle de 1 (très mauvais état) à 7 (très bon état). Chaque matin au réveil, ils ont évalué la qualité de leur sommeil sur une échelle similaire allant de 1 (très mauvaise qualité de sommeil) à 7 (très bonne qualité de sommeil). Comme pour les données actigraphiques, nous avons utilisé les quatre mêmes périodes (avant le programme, au début, au milieu et à la fin du programme) pour examiner l'effet du WBC sur la perception du sommeil.

En outre, les participants ont rempli deux questionnaires, avant et après le programme, concernant la qualité et les troubles du sommeil : l'indice de gravité de l'insomnie (ISI) et le questionnaire sur la qualité du sommeil de Spiegel (SSQ).

### Indice de gravité de l'insomnie (ISI)

Ce questionnaire d'auto-évaluation est composé de 7 items qui évaluent la nature, la sévérité et l'impact de l'insomnie (Bastien et al., 2001). Une échelle de Likert en 5 points est utilisée pour évaluer chaque item (de 0= pas de problème à 4= problème très sévère), avec un score total allant de 0 à 28. Ce score total peut être interprété comme suit : pas d'insomnie (score entre 0 et 7) ; insomnie sous-seuil (score entre 8 et 14) ; insomnie modérée (score entre 15 et 21) ; insomnie sévère (score entre 22 et 28).

### Qualité du sommeil Spiegel (SSQ)

Pour évaluer la qualité perçue du sommeil, les participants ont rempli la version française du questionnaire SSQ (Spiegel, 1981). Ce questionnaire est composé de six items évalués sur une échelle de 0 à 5. Le score maximum est de 30 points et les troubles du sommeil sont identifiés lorsque le score est strictement inférieur à 24 points. Un score strictement inférieur à 15 points indique typiquement un état pathologique du sommeil.

#### 3.3.4. Questionnaires subjectifs : Bien-être et douleur

Les participants ont répondu à des échelles visuelles analogiques (EVA) évaluant le bien-être perçu (Masa et al., 2011 ; figure 5a) et la douleur musculaire (Mattacola et al. 1997 ; figure 5b) avant et après la 1<sup>ère</sup> séance. Le recto de l'échelle affichait la question, telle que "Comment évaluez-vous votre bien-être en ce moment ?", ainsi qu'une échelle linéaire avec deux points finaux : "très très bas" en bas et "très, très haut" en haut. Les participants ont évalué leur bien-être en faisant glisser un indicateur le long de l'échelle. Au verso, une échelle numérique allant de 0 (correspondant à "très faible") à 10 ("très, très élevé") a été utilisée pour enregistrer le score de bien-être perçu, qui n'était visible que par l'enquêteur. En outre, l'intensité globale de la douleur a été évaluée dans le G-exp et le G-cont au début et à la fin du programme à l'aide d'une carte corporelle numérique (figure 5 ; Rigoard et al., 2021). Les participants ont utilisé une souris pour faire glisser des cercles de couleur sur les zones douloureuses directement sur la silhouette du corps. Trois tailles de cercles (petit, moyen et grand) étaient disponibles, correspondant à l'étendue de la zone douloureuse. Les participants pouvaient choisir l'avant ou l'arrière du corps et avaient la possibilité d'effacer et de refaire si nécessaire. Un code couleur a été utilisé pour représenter l'intensité de la douleur : rouge pour une douleur intense, rose foncé pour une douleur modérée et rose clair pour une douleur légère. L'intensité de la douleur a été associée à des coefficients : 1 pour une douleur légère, 2 pour une douleur modérée et 3 pour une douleur sévère. De même, la taille du cercle est associée à des coefficients : 1 pour une petite zone, 2 pour une zone moyenne et 3 pour une grande zone. Le score de douleur pour chaque zone a ensuite été calculé en multipliant la surface par l'intensité :

$$\text{Score de douleur pour chaque zone} = \text{Surface} \times \text{Intensity}$$

Le score global de la douleur a été obtenu en additionnant les scores de toutes les zones douloureuses :

$$\text{Score global de la douleur} = \sum_{i=1}^n ( \text{Surface}_i \times \text{Intensity}_i )$$

où n représente le nombre total de zones douloureuses signalées par le participant.

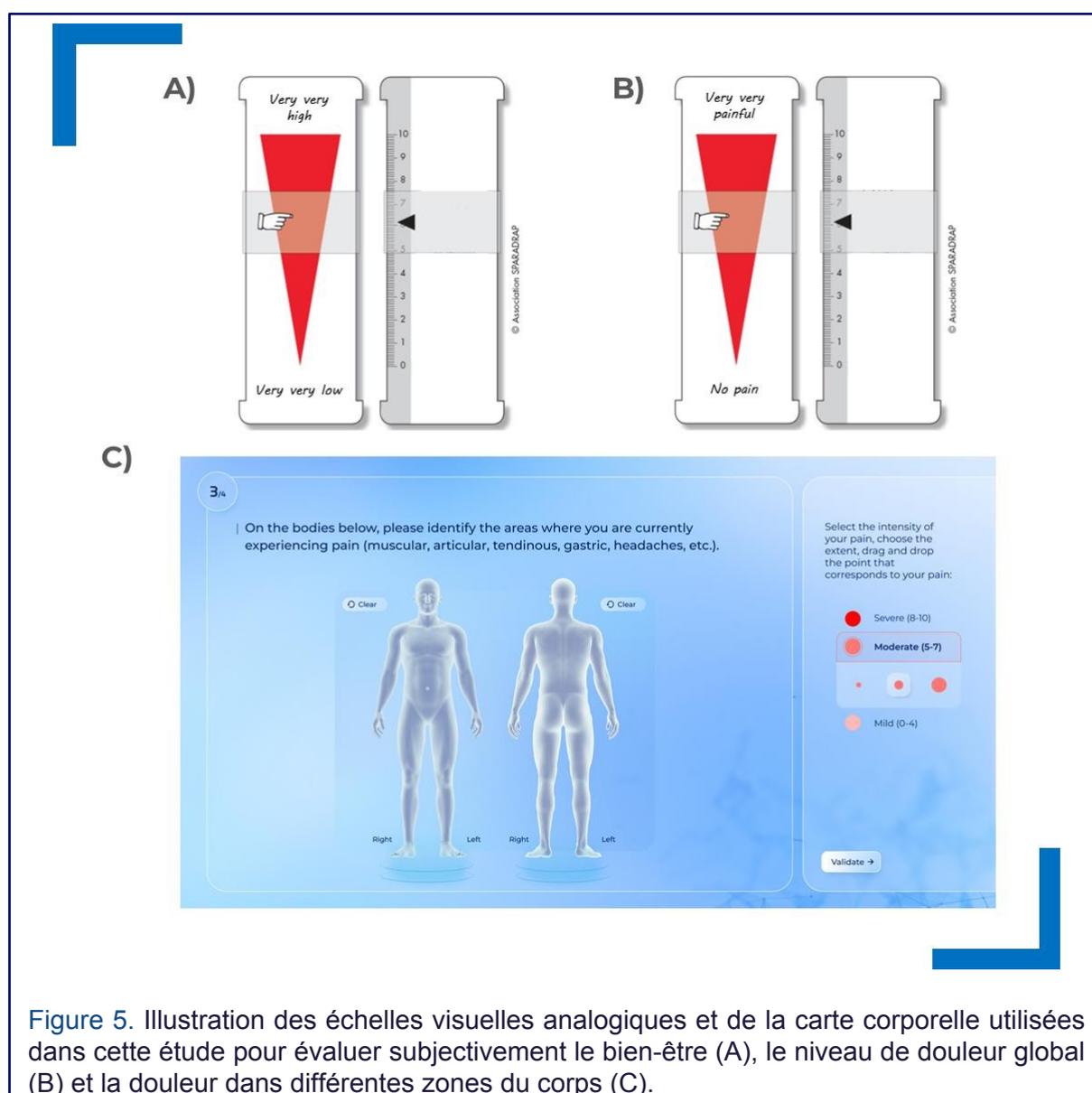


Figure 5. Illustration des échelles visuelles analogiques et de la carte corporelle utilisées dans cette étude pour évaluer subjectivement le bien-être (A), le niveau de douleur global (B) et la douleur dans différentes zones du corps (C).

### 3.3.5. Questionnaire de satisfaction

À la fin du programme, les participants ont été invités à remplir un questionnaire de satisfaction (Client Satisfaction Questionnaire, CSQ-8 ; Attkisson & Zwick, 1982). Le CSQ-8 est un questionnaire en 8 points conçu pour évaluer la satisfaction des utilisateurs à l'égard de divers produits ou services. Chaque item du CSQ-8 est noté de 1 à 4. Le score total du CSQ-8, qui correspond à la somme de toutes les réponses aux items, est compris entre 8 et 32. Sur la base de ce score total et de la méthodologie du "Net Promoter Score" (NPS), les participants ont été classés en trois catégories :

- Détracteurs (score  $\leq 22$ )
- Passives ( $22 < \text{score} \leq 27$ )
- Promoteurs ( $27 < \text{score} \leq 32$ )

Le NPS correspond à la différence entre la proportion de promoteurs et la proportion de détracteurs, avec une fourchette possible de -100 à +100.

## 3.4. Analyse statistique

Toutes les données ont été consignées dans un cahier d'observation, puis prétraitées et analysées à l'aide d'Excel (Microsoft, Redmond, Washington, USA), de MATLAB et du logiciel d'analyse statistique JAMOVI (version 2.3.28, Sydney, Australie). Une ANOVA à mesures répétées à deux voies (Groupe  $\times$  Période) a été réalisée pour évaluer l'effet du WBC par rapport à la condition de contrôle (G-exp vs. G-cont, effet Groupe) sur les mesures à différents moments (avant vs. après le programme ou avant vs. intra- vs. post-session, effet Période), tout en identifiant les effets d'interaction potentiels entre les facteurs. La normalité de la distribution, l'homogénéité des variances et l'hypothèse de sphéricité ont été testées à l'aide des tests de Shapiro-Wilk, de Levene et de Mauchly, respectivement. Lorsque l'hypothèse de sphéricité n'était pas respectée, la correction de Greenhouse-Geisser a été appliquée. En cas d'interaction significative entre le groupe de récupération et la période  $\times$  dans l'ANOVA, des comparaisons multiples ont été effectuées à l'aide des tests post-hoc HSD de Tukey afin de déterminer les différences significatives entre les paires. Le niveau de signification a été fixé à  $p < 0,05$ .

## 4. RÉSULTATS

### 4.1. Caractéristiques générales des participants

Les caractéristiques des participants avant le début de l'étude sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Caractéristiques des participants des deux groupes avant le début de l'étude. Les valeurs sont présentées sous forme de moyenne  $\pm$  écart-type.

Caractéristiques	G-exp	G-cont	Valeur p
Nombre	25	10	
Sexe (% de femmes)	68%	60%	
Âge moyen (années)	46 $\pm$ 13	41 $\pm$ 10	0.33
Masse corporelle (kg)	72 $\pm$ 16	63 $\pm$ 12	0.13
Hauteur (m)	1,68 $\pm$ 0,08	1,72 $\pm$ 0,09	0.19
ISI	20 $\pm$ 3	19 $\pm$ 3	0.20
PSS	24 $\pm$ 4	25 $\pm$ 6	0.60
Pression artérielle systolique (mmHg)	123 $\pm$ 15	115 $\pm$ 11	0.16
Pression artérielle diastolique (mmHg)	78 $\pm$ 11	76 $\pm$ 9	0.51

Notes :

ISI : Indice de gravité de l'insomnie ; PSS : Échelle de stress perçu

### 4.2. Évaluation des performances cognitives et de la fatigue mentale

Les résultats des tests de fatigue cognitive et mentale sont présentés dans les tableaux 2 et 3. Dans le tableau 2, nous avons comparé les valeurs au début, au milieu (après la tâche fatigante) et à la fin de la deuxième visite pour le G-cont et le G-exp. Une interaction significative a été trouvée pour le temps de réaction dans les essais CO et IN, ainsi que pour la précision dans les essais IN de la tâche de Simon. Les tests par paires ont révélé une diminution de 7 % du temps de réaction à la fin de la session par rapport aux valeurs avant la session pour le G-exp ( $p= 0,036$  pour les essais CO et  $p= 0,020$  pour les essais IN), tandis qu'une augmentation non significative a été observée pour le G-cont. En outre, des différences significatives de précision pour les essais IN entre les groupes ont été trouvées pour les résultats intra-session ( $p < 0.001$ ) et post-session ( $p= 0.002$ ). Aucune interaction significative entre le groupe et la période n'a été observée lors de la tâche de comparaison des formes visuelles, de la tâche visuomotrice ou de la tâche de saccade guidée. Cependant, l'effet de la session sur la fatigue mentale a été mis en évidence par le M-VAS, avec une interaction significative détectée ( $p < 0.001$ ). Les tests post-hoc ont montré des différences entre pré vs intra-session (+27%,  $p < 0.001$ ), pré vs post-session (- 34%,  $p = 0.002$ ), et intra vs post-session (-48%,  $p < 0.001$ ) pour le G-exp, alors qu'une différence entre pré vs intra-session (+38%,  $p = 0.031$ ) n'a été trouvée que pour le G- cont.

Tableau 2. Moyenne  $\pm$  écart-type des résultats des tests de fatigue cognitive et mentale au début, au milieu et à la fin de la deuxième visite pour les deux groupes. La signification statistique du facteur groupe, du facteur période et de l'effet d'interaction est rapportée.

Variables		Groupes	Pré	Intra	Poste	Groupe	Période	Interaction
Tâche de Simon	Précision CO (%)	G-exp	96.1 $\pm$ 5.8	97.1 $\pm$ 4.3	95.6 $\pm$ 4.9	0.940	0.066	0.705
		G-cont	96.0 $\pm$ 3.4	98.0 $\pm$ 2.3	95.3 $\pm$ 3.9			
	Temps de réaction CO (ms)	G-exp	420 $\pm$ 49	406 $\pm$ 55	391 $\pm$ 51*	0.528	0.934	<0.001
		G-cont	400 $\pm$ 46	414 $\pm$ 32	434 $\pm$ 59			
	Précision IN (%)	G-exp	97.2 $\pm$ 4.3	98.5 $\pm$ 1.9	97.9 $\pm$ 2.7	<0.001	0.383	0.014
		G-cont	95.3 $\pm$ 3.9	91.7 $\pm$ 6.7	93.0 $\pm$ 3.7			
	Temps de réaction IN (ms)	G-exp	469 $\pm$ 68	441 $\pm$ 55	436 $\pm$ 44*	0.567	0.205	0.043
		G-cont	435 $\pm$ 40	437 $\pm$ 51	442 $\pm$ 57			
Tâche de comparaison de motifs visuels	Précision CO (%)	G-exp	95.0 $\pm$ 5.7	96.5 $\pm$ 5.1	96,6 $\pm$ 3,6	0.770	0.893	0.357
		G-cont	97.1 $\pm$ 3.9	95.8 $\pm$ 4.8	96,5 $\pm$ 3,6			
	Temps de réaction CO (ms)	G-exp	1004 $\pm$ 166	999 $\pm$ 252	940 $\pm$ 164	0.330	0.138	0.469
		G-cont	936 $\pm$ 95	912 $\pm$ 120	909 $\pm$ 150			
	Précision IN (%)	G-exp	93.6 $\pm$ 7.0	95.7 $\pm$ 5.8	94.9 $\pm$ 4.8	0.900	0.598	0.265
		G-cont	95.1 $\pm$ 5.9	93.4 $\pm$ 8.9	96,2 $\pm$ 2,3			
	Temps de réaction IN (ms)	G-exp	1003 $\pm$ 154	976 $\pm$ 187	940 $\pm$ 133	0.641	0.016	0.705
		G-cont	967 $\pm$ 108	946 $\pm$ 110	931 $\pm$ 174			
Tâche visuomotrice	Temps passé sur l'objectif (%)	G-exp	86.7 $\pm$ 9.2	90.1 $\pm$ 6.5	90.8 $\pm$ 7.5	0.001	0.009	0.402
		G-cont	77.1 $\pm$ 13.6	77.6 $\pm$ 9.3	79.7 $\pm$ 10.7			
	Moyenne écart (pixels)	G-exp	15.9 $\pm$ 3.7	14,1 $\pm$ 2,5	14,0 $\pm$ 3,4	0.004	0.025	0.155
		G-cont	18.3 $\pm$ 4.1	18.3 $\pm$ 3.1	17.7 $\pm$ 3.1			
Tâche de saccade guidée	AUC ( $^{\circ}$ /s)	G-exp	5329 $\pm$ 322	5268 $\pm$ 355	5208 $\pm$ 329	0.375	0.004	0.652
		G-cont	5406 $\pm$ 262	5332 $\pm$ 274	5268 $\pm$ 332			
	Vitesse de saccade maximale ( $^{\circ}$ /s)	G-exp	670 $\pm$ 54	689 $\pm$ 55	684 $\pm$ 60	0.087	0.621	0.088
		G-cont	724 $\pm$ 30	711 $\pm$ 59	698 $\pm$ 54			
	Moyenne des saccades vitesse ( $^{\circ}$ /s)	G-exp	448 $\pm$ 39	445 $\pm$ 38	440 $\pm$ 43	0.492	0.002	0.185
		G-cont	465 $\pm$ 27	451 $\pm$ 32	445 $\pm$ 34			
M-VAS	-	G-exp	58 $\pm$ 22	73 $\pm$ 17***	38 $\pm$ 20****	0.499	<0.001	<0.001
		G-cont	42 $\pm$ 17	58 $\pm$ 23*	55 $\pm$ 22			

Notes :

CO : Essais congruents ; IN : Essais incongrus ; AUC : aire sous la courbe ; M-VAS : échelle visuelle analogique mentale ; \* : différent de la mesure prise avant la séance ( $p < 0,05$ ) ; \*\*\* : différent de la mesure prise avant la séance ( $p < 0,001$ ) ; + : différent de la mesure prise pendant la séance ( $p < 0,001$ ).

Dans le tableau 3, nous avons comparé les valeurs au début et à la fin du programme pour le G-cont et le G-exp. Une interaction significative a été trouvée pour le temps de réaction pendant les essais CO et IN dans la tâche de comparaison. Les tests post-hoc ont révélé une diminution de 6 % du temps de réaction pour le G-exp pendant les essais CO à la fin du programme ( $p=0,029$ ), tandis que le G-cont a montré une augmentation de 10 % du temps de réaction pendant les essais IN ( $p=0,020$ ). Aucune interaction significative n'a été observée dans la tâche de Simon, la tâche visuomotrice ou la tâche de saccade guidée. Cependant, une interaction significative a été trouvée pour le M-VAS, avec une diminution de 57% de la fatigue mentale pour le G-exp ( $p<0,001$ ), alors qu'elle a augmenté de 4% pour le G-cont (non significatif).

**Tableau 3.** Moyenne  $\pm$  écart-type des résultats des tests de fatigue cognitive et mentale au début et à la fin du programme pour les deux groupes. La signification statistique du facteur groupe, du facteur période et de l'effet d'interaction est rapportée.

Variables		Groupes	Pré S1	Poste S10	Groupe	Période	Interaction
Tâche de Simon	Précision CO (%)	G-exp	96.1 $\pm$ 5.8	96.3 $\pm$ 4.7	0.872	0.646	0.671
		G-cont	96.0 $\pm$ 3.4	97.0 $\pm$ 3.7			
	Temps de réaction CO (ms)	G-exp	420 $\pm$ 49	418 $\pm$ 63	0.990	0.162	0.114
		G-cont	400 $\pm$ 46	438 $\pm$ 76			
Précision IN (%)	G-exp	97.2 $\pm$ 4.3	98.5 $\pm$ 2.6	0.129	0.082	0.748	
	G-cont	95.3 $\pm$ 3.9	97.3 $\pm$ 3.8				
Temps de réaction IN (ms)	G-exp	469 $\pm$ 68	464 $\pm$ 90	0.401	0.567	0.396	
	G-cont	435 $\pm$ 40	457 $\pm$ 86				
Tâche de comparaison de motifs visuels	Précision CO (%)	G-exp	95.0 $\pm$ 5.7	96,6 $\pm$ 5,1	0.751	0.915	0.115
		G-cont	97.1 $\pm$ 3.9	95,6 $\pm$ 5,9			
	Temps de réaction CO (ms)	G-exp	1004 $\pm$ 166	945 $\pm$ 179*	0.835	0.855	0.006
		G-cont	936 $\pm$ 95	988 $\pm$ 182			
Précision IN (%)	G-exp	93.6 $\pm$ 7.0	95.8 $\pm$ 5.0	0.888	0.501	0.379	
	G-cont	95.1 $\pm$ 5.9	94.7 $\pm$ 3.6				
Temps de réaction IN (ms)	G-exp	1003 $\pm$ 154	982 $\pm$ 184	0.724	0.053	0.003	
	G-cont	967 $\pm$ 108	1059 $\pm$ 168*				
Tâche visuomotrice	Temps passé sur l'objectif (%)	G-exp	86.7 $\pm$ 9.2	90.2 $\pm$ 6.5	0.008	0.003	0.899
		G-cont	77.1 $\pm$ 13.6	80.9 $\pm$ 11.4			
Écart moyen (pixels)	G-exp	15.9 $\pm$ 3.7	14,0 $\pm$ 2,5	0.021	0.002	0.278	
	G-cont	18.3 $\pm$ 4.1	17.3 $\pm$ 3.8				
Tâche de saccade guidée	AUC ( $^{\circ}$ /s)	G-exp	5329 $\pm$ 322	5197 $\pm$ 363	0.167	0.034	0.215
		G-cont	5406 $\pm$ 262	5377 $\pm$ 254			
	Vitesse de saccade maximale ( $^{\circ}$ /s)	G-exp	670 $\pm$ 54	675 $\pm$ 67	0.094	0.142	0.060
G-cont		724 $\pm$ 30	686 $\pm$ 69				
Vitesse moyenne des saccades ( $^{\circ}$ /s)	G-exp	448 $\pm$ 39	441 $\pm$ 40	0.150	0.222	0.582	
	G-cont	465 $\pm$ 27	462 $\pm$ 26				
M-VAS	-	G-exp	58 $\pm$ 22	25 $\pm$ 23***	0.810	< 0.001	< 0.001
		G-cont	42 $\pm$ 17	44 $\pm$ 25			

Notes :

CO : Essais congruents ; IN : Essais incongrus ; AUC : Surface sous la courbe ; M-VAS : Mental Visual Analog Scale ; \* : différent de la mesure avant le programme ( $p<0,05$ ) ; \*\*\* différent de la mesure avant le programme ( $p<0,001$ )

Le TLDB a été utilisé pour induire une fatigue mentale chez les participants entre le 1<sup>er</sup> (pré) et le 2<sup>ème</sup> (intra) bloc de test. La précision des réponses pendant le test de 16 minutes était de  $80 \pm 7$  % pour le G-exp et de  $80 \pm 6$  % pour le G-cont. Un test t de Student non apparié n'a révélé aucune différence significative entre les groupes ( $p = 0,73$ ), ce qui indique un effort mental similaire pour les participants des deux groupes.

### 4.3. Évaluation des niveaux de stress et d'anxiété

Les différentes variables liées au stress et à l'anxiété sont présentées dans la figure

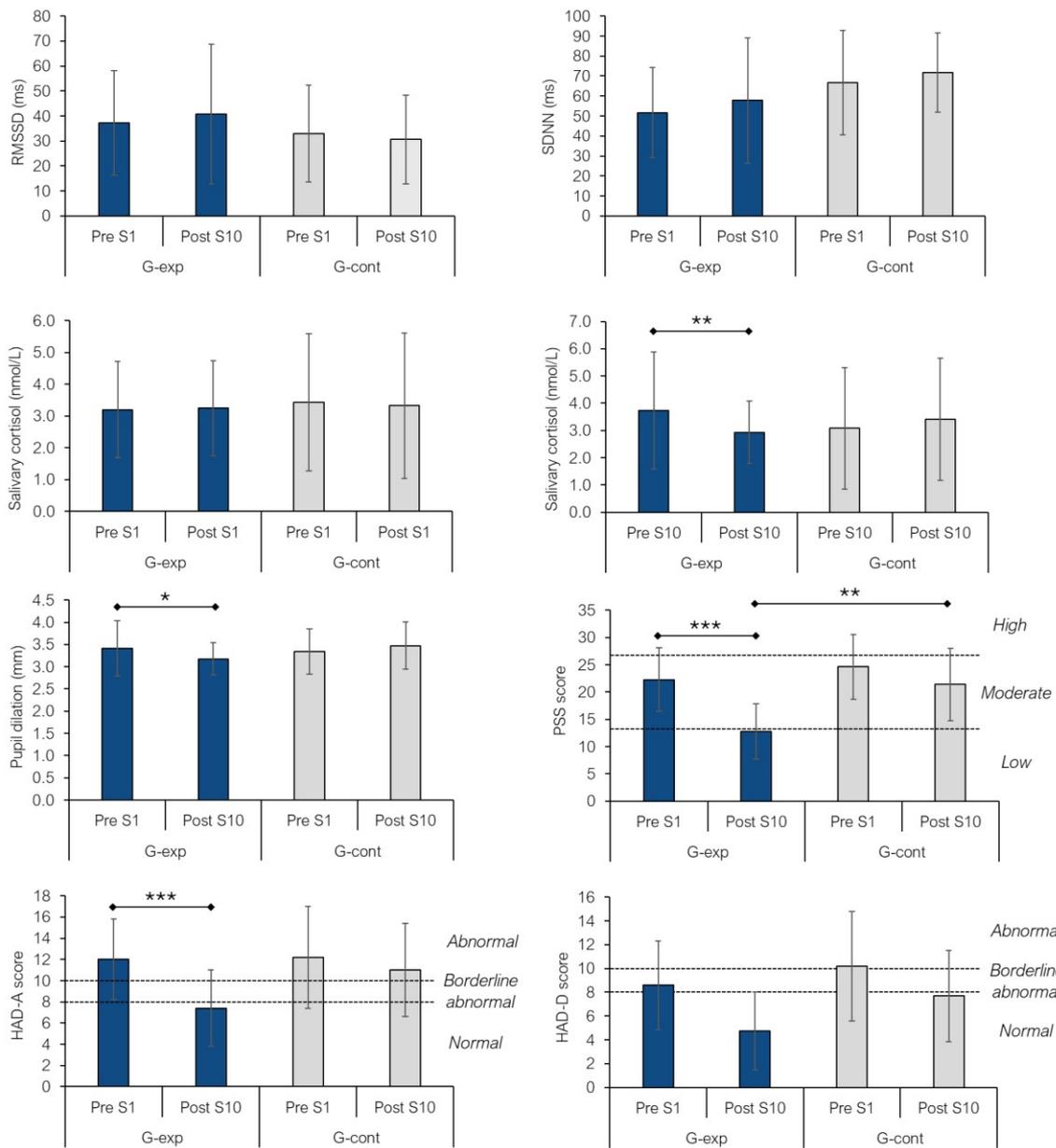
6. La variabilité de la fréquence cardiaque a été évaluée par les mesures RMSSD et

SDNN.

Bien que le RMSSD ait augmenté de 9 % et le SDNN de 12 % pour le G-exp, aucune différence significative n'a été observée. De même, les niveaux de cortisol salivaire sont restés inchangés avant et après la première session pour les deux groupes. Cependant, une interaction significative ( $p = 0,021$ ) a été trouvée pour le cortisol salivaire au cours de la dernière session, avec une diminution de 21% après la session pour le G-exp ( $p = 0,017$ ), tandis que le G-cont a montré une augmentation non significative.

En outre, la dilatation de la pupille a également été affectée par le programme WBC, montrant une interaction significative en comparant les valeurs avant et après le programme ( $p = 0,026$ ). Plus précisément, la dilatation de la pupille a diminué de 7 % pour le G-exp ( $p = 0,037$ ), tandis qu'elle a augmenté de 4 % pour le G-cont (non significatif). En outre, aucune interaction significative n'a été trouvée en comparant les valeurs de dilatation de la pupille avant, pendant et après la première session de test.

Deux questionnaires ont également été administrés pour évaluer les niveaux de stress, d'anxiété et de symptômes dépressifs des participants. Le questionnaire PSS a révélé un effet d'interaction ( $p = 0,009$ ), avec une diminution significative des niveaux de stress pour le G-exp entre le début et la fin du programme (-43%,  $p < 0,001$ ) et une différence significative entre les valeurs du G-exp et du G-cont après le programme ( $p = 0,001$ ). Notamment, les niveaux de stress pour le G-exp étaient modérés (près de la limite supérieure) avant le programme et ont diminué jusqu'à devenir faibles à la fin, alors qu'ils sont restés modérés pour le G-cont pendant toute la durée du programme. Les niveaux d'anxiété ont également eu un impact significatif, avec un effet d'interaction ( $p = 0,024$ ). Les tests post-hoc ont révélé une diminution significative de l'anxiété pour le G-exp (-38%,  $p < 0,001$ ), passant d'un niveau anormal à un niveau normal, alors que l'anxiété est restée anormale pour le G-cont. Aucun effet d'interaction n'a été observé pour les niveaux de dépression, bien qu'une réduction de 45 % et de 25 % ait été notée pour le G-exp et le G-cont, respectivement, passant d'un état limite anormal à un état normal.



**Figure 6.** Moyenne  $\pm$  écart-type des paramètres de variabilité du rythme cardiaque (RMSSD et SDNN), des niveaux de cortisol salivaire, du stress perçu (PSS) et des niveaux d'anxiété et de dépression (HAD A pour l'anxiété et HAD D pour la dépression) au cours des différentes phases du programme pour le G-exp et le G-cont. La diminution des scores PSS, HAD-A et HAD-D indique une réduction des niveaux de stress, d'anxiété et de dépression. \* :  $p < 0.05$  ; \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$ .

#### 4.4. Évaluation de la qualité du sommeil

L'analyse du sommeil a été réalisée en divisant le programme en quatre phases : Base (moyenne des quatre premières nuits avant le programme), Début (moyenne des quatre premières nuits du programme), Milieu (moyenne des quatre nuits entre la cinquième et la sixième session), et Fin (moyenne des quatre dernières nuits du programme). Les participants ont tenu un journal du sommeil tout au long du programme, notant quotidiennement leur condition physique perçue avant de dormir et la qualité de leur sommeil au réveil (tableau 4). Un effet d'interaction significatif a été observé pour la condition physique perçue ( $p= 0.010$ ), avec des tests post-hoc révélant une amélioration significative du G-exp entre la ligne de base et la fin (+16%,  $p= 0.047$ ). En ce qui concerne la qualité du sommeil, un effet d'interaction significatif a également été constaté ( $p < 0.001$ ), les analyses post-hoc montrant des améliorations significatives du G-exp entre la ligne de base et le milieu (+21%,  $p = 0.001$ ), la ligne de base et la fin (+30%,  $p < 0.001$ ), et le début et la fin (+22%,  $p < 0.001$ ). En outre, une différence significative entre les groupes en termes de qualité du sommeil a été observée à la fin du programme ( $p= 0,023$ ). Les données d'actimétrie n'ont pas révélé d'effets significatifs pour le temps passé au lit, le temps de sommeil total ou l'efficacité du sommeil. Cependant, une interaction significative a été trouvée pour le temps d'immobilité ( $p = 0,017$ ), avec une différence post-hoc observée pour G-exp entre la ligne de base et la fin (+7%,  $p= 0,049$ ). Une interaction significative a également été observée pour l'indice de fragmentation ( $p < 0,001$ ), avec une réduction de la fragmentation du sommeil dans G-exp entre la ligne de base et la fin (-21%,  $p < 0,001$ ) et le début et la fin (-15%,  $p = 0,005$ ). En outre, une différence significative entre G-exp et G-cont a été constatée après le programme ( $p= 0,013$ ). Alors que les effets d'interaction pour les épisodes de réveil et la latence du sommeil ont montré des tendances vers la signification ( $p = 0,069$  et  $p = 0,075$ , respectivement), les comparaisons post-hoc ont révélé des améliorations significatives : Les épisodes d'éveil ont diminué de 15 % dans le groupe G-exp ( $p= 0,003$ ), avec une différence significative entre les groupes à la fin du programme ( $p= 0,020$ ). La latence du sommeil a diminué de 20 % ( $p = 0,021$ ) entre la ligne de base et le milieu, et de 28 % ( $p = 0,009$ ) entre la ligne de base et la fin.

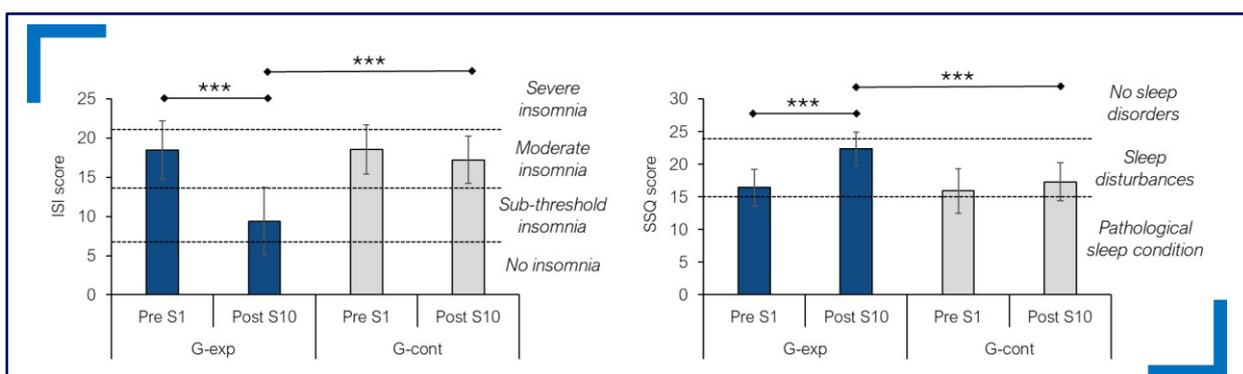
Les niveaux d'insomnie et la qualité du sommeil ont été évalués subjectivement à l'aide des questionnaires ISI et SSQ, respectivement (figure 7). Pour l'insomnie, un effet d'interaction significatif ( $p < 0.001$ ) a été observé, avec une diminution de 49 % entre le début et la fin de l'étude pour le G-exp ( $p < 0.001$ ) et une différence significative entre le G-exp et le G-cont après le programme ( $p < 0.001$ ). Les symptômes d'insomnie, qui étaient modérés au début de l'étude pour le groupe G-exp, ont diminué à des niveaux inférieurs au seuil à la fin de l'étude, alors qu'ils sont restés inchangés pour le groupe G-cont. Le SSQ a également montré un effet d'interaction significatif ( $p= 0.002$ ), avec une amélioration de 36% du début à la fin pour le G-exp ( $p < 0.001$ ), et une différence significative entre les groupes à la fin du programme ( $p < 0.001$ ). Au départ, le groupe G-exp a connu des conditions de sommeil quasi pathologiques, qui se sont presque résorbées à la fin du programme, tandis que le groupe G-cont n'a montré aucun changement significatif, conservant des troubles du sommeil modérés tout au long du programme, proches des niveaux pathologiques.

**Tableau 4.** Moyenne± écart-type des variables des agendas du sommeil et des actimètres utilisés pour analyser le sommeil des participants à différents moments du programme (avant, au début, au milieu et à la fin du programme). La signification statistique du facteur "période", du facteur "groupe" et de leur effet d'interaction est indiquée.

Variables	Groupes	Base de référence	Démarrage	Moyen	Fin	Groupe	Période	Interaction
Niveau de forme physique perçu	G-exp	4.3±0.7	4.5±0.5	4.8±0.5	4.9±0.7*	0.625	0.116	0.010
	G-cont	4.5±0.7	4.7±0.7	4.5±0.7	4.4±0.9			
Qualité perçue du sommeil	G-exp	3.9±0.6	4.1±0.7	4.7±0.6**	5.0±0.7*****	0.181	0.002	<0.001
	G-cont	4.1±0.6	4.2±0.7	4.2±0.9	4.0±0.9			
Temps passé au lit (h:mm)	G-exp	8:13±0:55	8:03±0:39	8:15±0:50	7:58±0:49	p=0.574	p=0.283	p=0.632
	G-cont	8:10±0:57	7:57±0:39	7:53±0:40	7:54±0:29			
Temps de sommeil réel (h:mm)	G-exp	6:42±0:37	6:32±0:34	6:40±0:32	6:27±0:28	p=0.695	p=0.215	p=0.780
	G-cont	6:41±0:44	6:31±0:28	6:27±0:35	6:27±0:26			
Efficacité du sommeil (%)	G-exp	81.9±4.1	81.2±6.4	81.2±6.2	81.2±6.4	p=0.797	p=0.935	p=0.955
	G-cont	82.0±6.3	82.1±6.0	81.9±5.3	81.7±5.6			
Temps de latence (min)	G-exp	22±11	19±10*	17±9	15±9**	p=0.889	p=0.047	p=0.069
	G-cont	18±9	19±8	19±8	18±7			
Séances de réveil (nombre)	G-exp	38±5	36±6	36±7	32±5**	p=0.030	p=0.393	p=0.075
	G-cont	38±10	40±7	41±8	40±7			
Temps d'immobilité (min)	G-exp	407±50	414±34	430±36	435±37*	p=0.368	p=0.670	p=0.017
	G-cont	417±32	415±31	411±36	401±35			
Indice de fragmentation	G-exp	28.6±6.1	26.4±6.1	25.5±7.0	22.6±4.8*****	p=0.111	p=0.057	<0.001
	G-cont	29.1±4.1	28.9±7.8	29.1±7.6	30.5±6.0			

Notes :

\* : différent de la mesure de référence ( $p < 0.05$ ) ; \*\* différent de la mesure de référence ( $p < 0.01$ ) ; \*\*\* : différent de la mesure de référence ( $p < 0.001$ ) ; \*\* : différent de la mesure de départ ( $p < 0.01$ ) ; \*\*\* : différent de la mesure de départ ( $p < 0.001$ ).



**Figure 7.** Moyenne± écart-type de la sévérité de l'insomnie et de la qualité perçue du sommeil, mesurée par l'indice de sévérité de l'insomnie (ISI) et la qualité du sommeil de Spiegel (SSQ), respectivement, avant et après le programme. Une diminution du score ISI indique une réduction de l'insomnie, tandis qu'une augmentation du score SSQ indique une amélioration de la qualité du sommeil.

\*\*\* :  $p < 0.001$ .

## 4.5. Douleur et bien-être perçus

Les effets de la première séance sur la douleur et le bien-être ont été évalués à l'aide de l'EVA, tandis que l'impact du programme sur la douleur a été évalué à l'aide de la carte corporelle. Une interaction significative a été observée pour l'EVA de la douleur ( $p < 0,001$ ), le G-exp montrant une réduction de 30 % de la douleur après le WBC ( $p < 0,001$ ). Une interaction significative a également été observée pour le bien-être ( $p < 0,001$ ), avec une augmentation de 40 % pour le G-exp ( $p = 0,002$ ). En ce qui concerne la douleur liée à la carte corporelle, une interaction a été détectée ( $p = 0,002$ ), le groupe G-exp enregistrant une diminution significative de 66 % de l'intensité de la douleur ( $p < 0,001$ ), tandis que le groupe G-cont enregistrait une augmentation de 15 % (non significative).

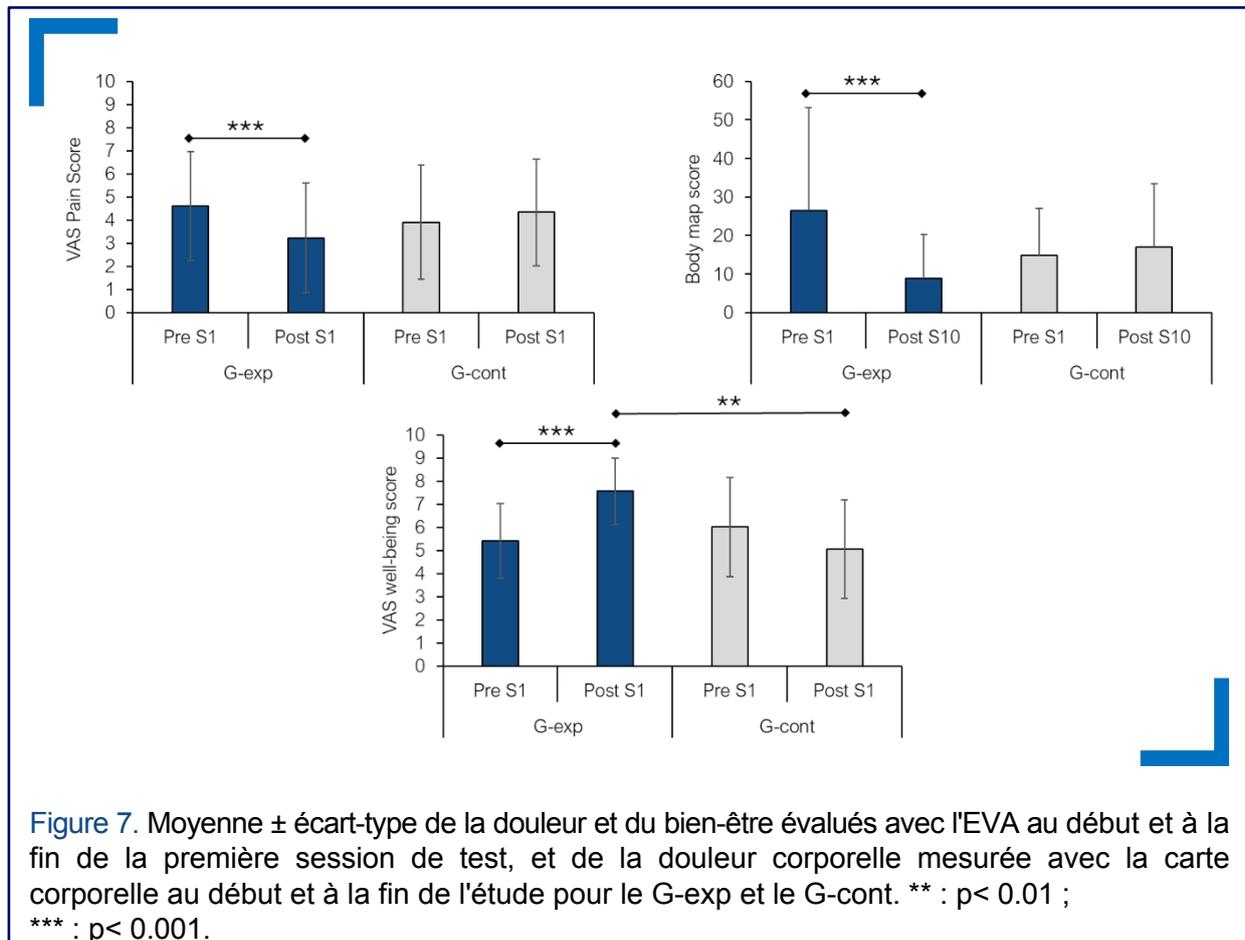
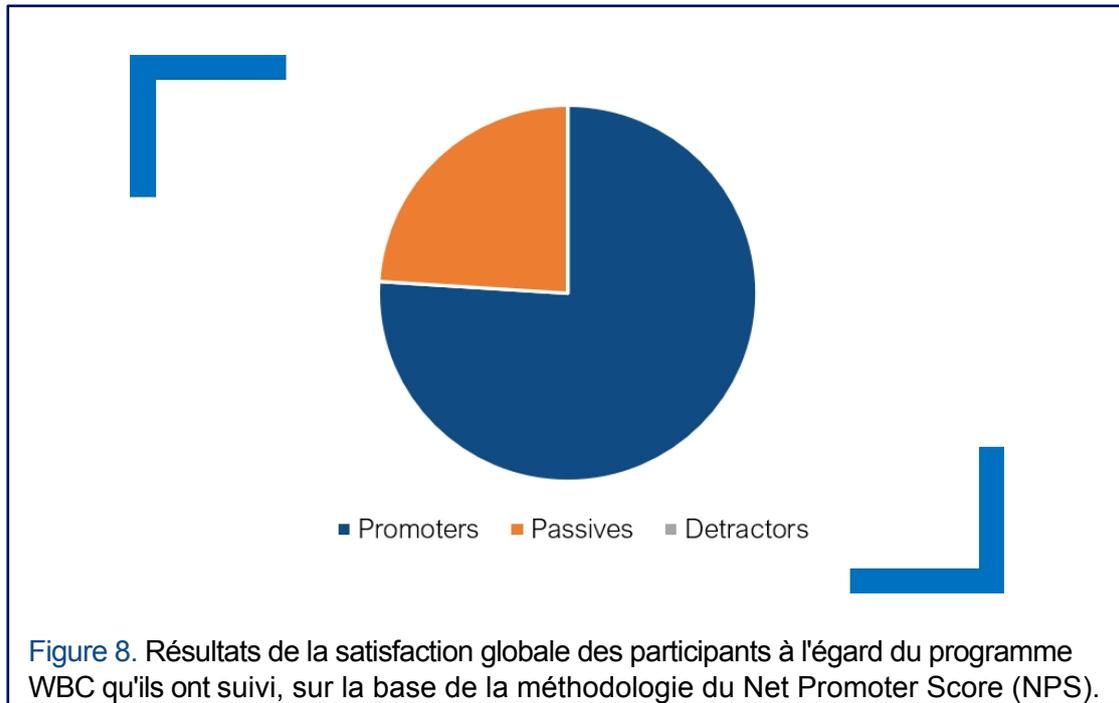


Figure 7. Moyenne  $\pm$  écart-type de la douleur et du bien-être évalués avec l'EVA au début et à la fin de la première session de test, et de la douleur corporelle mesurée avec la carte corporelle au début et à la fin de l'étude pour le G-exp et le G-cont. \*\* :  $p < 0.01$  ; \*\*\* :  $p < 0.001$ .

## 4.6. Questionnaire de satisfaction

Enfin, l'analyse de la satisfaction des participants à l'égard du programme WBC, à l'aide de la méthodologie du Net Promoter Score (NPS) (figure 8), a révélé une forte proportion de promoteurs. Plus précisément, 76 % des participants étaient des promoteurs, tandis que 24 % étaient passifs,

et il n'y a pas eu de détracteurs. Cette satisfaction se reflète naturellement dans le score global du NPS, qui s'élève à 76 %.



## 5. MESSAGES À RETENIR

Cette étude visait à évaluer les effets du WBC sur les symptômes de stress et d'anxiété, la qualité du sommeil, les fonctions cognitives, la fatigue mentale et la carte corporelle de la douleur. Les principaux résultats de cette étude sont les suivants :

### L'EFFET DE LA WBC SUR LES PERFORMANCES COGNITIVES

- Le temps de réaction a été significativement réduit pendant les tâches de Simon et de comparaison de motifs pour le G-exp, démontrant l'effet du WBC sur les performances cognitives. Cette amélioration suggère un renforcement des capacités cognitives clés telles que l'attention, les fonctions exécutives et la vitesse de traitement de l'information.

*Note : Les fonctions cognitives comprennent l'ensemble des capacités qui permettent à notre cerveau d'analyser et de s'adapter quotidiennement, afin d'interagir de manière optimale avec notre environnement. Ces fonctions comprennent la mémoire, l'attention, les fonctions exécutives, les capacités visuospatiales et la cognition sociale. Les performances cognitives font donc référence à la capacité du cerveau à utiliser ces fonctions pour s'identifier,*

*analyser et hiérarchiser les informations provenant de l'environnement, ainsi que résoudre les problèmes de la manière la plus appropriée et la plus efficace.*

## L'EFFET DE LA WBC SUR LA FATIGUE MENTALE PERÇUE, VISIBLE APRÈS UNE SÉANCE ET APRÈS LE PROGRAMME

- Cette récupération mentale après le WBC a été mise en évidence par une échelle visuelle analogique. Une réduction de 34 % de la fatigue mentale a été observée dans le G-exp après la session par rapport à la mesure prise avant la session. De plus, à la fin du programme, la fatigue mentale avait diminué de 57 % sur l'échelle G-exp, alors qu'elle avait augmenté de 4 % sur l'échelle G-cont.
- La fatigue mentale, évaluée à l'aide de la tâche de saccade guidée, n'a pas été affectée par la session ou le programme WBC. Cette absence d'effet pourrait être attribuée au taux d'échantillonnage de 120 Hz, qui était peut-être trop faible pour détecter des différences substantielles.

*Note : La fatigue mentale est un état psychobiologique caractérisé par des sentiments subjectifs de fatigue et de manque de motivation, ainsi que par une diminution des performances cognitives et comportementales, entraînant une baisse de l'attention et de la concentration.*

## UNE DIMINUTION DES NIVEAUX DE STRESS ET D'ANXIÉTÉ À LA SUITE DU PROGRAMME WBC

- Les niveaux de cortisol salivaire ont diminué de 21% à la fin de la dernière session pour le G-exp, aucun changement n'ayant été observé au cours de la première session. L'absence de différence au début du programme pourrait être attribuée à la nouveauté du WBC et à l'appréhension de la basse température, qui peuvent avoir contribué à une augmentation initiale des niveaux de cortisol.

*Remarque : le cortisol est l'hormone du stress. La gestion du taux de cortisol peut contribuer à renforcer le système immunitaire, à lutter contre la fatigue chronique et joue un rôle crucial dans la régulation du sommeil et la stabilisation de la tension artérielle.*

- Bien qu'il y ait eu une légère augmentation de la variabilité de la fréquence cardiaque au cours du programme pour le G-exp, aucune différence significative n'a été observée. Les mesures ayant été prises immédiatement après le WBC, cette absence de changement peut être liée au stress aigu induit par les basses températures.

*Note : La variabilité de la fréquence cardiaque fait référence aux variations dans le temps entre deux battements de cœur successifs. Elle est une mesure du système nerveux autonome et est largement reconnue comme un biomarqueur pertinent pour surveiller la progression de divers états de fatigue et de stress.*

- A la fin de l'étude, la dilatation de la pupille a diminué significativement de 7% pour le G-exp, alors qu'elle a augmenté de 4% pour le G-cont (non significatif).

***Remarque :** la diminution de la dilatation de la pupille suggère une réduction de la réponse au stress, car la dilatation de la pupille (mydriase) est un marqueur bien connu de l'activation autonome et de l'effort cognitif. Elle est étroitement liée au système locus coeruleus-norépinéphrine (LC-NE), qui régule l'attention, l'éveil et les réponses au stress. L'augmentation de l'activité du LC-NE supprime le contrôle parasympathique, ce qui entraîne une dilatation de la pupille, en particulier en cas de charge cognitive ou émotionnelle. Par conséquent, la réduction observée du diamètre de la pupille pour le G-exp indique probablement une diminution du stress et de la charge cognitive.*

- En outre, les participants au G-exp ont signalé dans les questionnaires une diminution du stress (-43%) et des symptômes d'anxiété (-38%).
- Des effets positifs ont également été signalés sur les troubles dépressifs (-45%). Cependant, des améliorations similaires ont été observées dans le G-cont (-25%), ce qui rend difficile de conclure que les bénéfices sont spécifiquement liés au WBC.

***Note :** Ces questionnaires subjectifs mettent en évidence les effets du programme WBC sur le bien-être mental tel qu'il est perçu par les participants. Ces mesures sont cohérentes avec les paramètres objectifs présentés précédemment.*

#### UNE AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DU SOMMEIL APRÈS LE PROGRAMME WBC

- La qualité du sommeil et la condition physique, évaluées quotidiennement, ont été significativement améliorées de 30 % et 16 %, respectivement, pour le G-exp.
- La réduction significative de l'indice de fragmentation, ainsi que l'augmentation du temps d'immobilité observée dans le groupe G-exp après le programme WBC, suggèrent une amélioration de la qualité objective du sommeil.
- Les troubles du sommeil et l'insomnie, évalués à l'aide des questionnaires SSQ et ISI, ont diminué de 36 % et 49 %, respectivement, à la suite du programme WBC pour le G-exp.

***Note :** Ces résultats confirment des études antérieures soulignant les avantages du WBC sur la qualité du sommeil, qui peut, à son tour, améliorer le bien-être mental et les performances cognitives.*

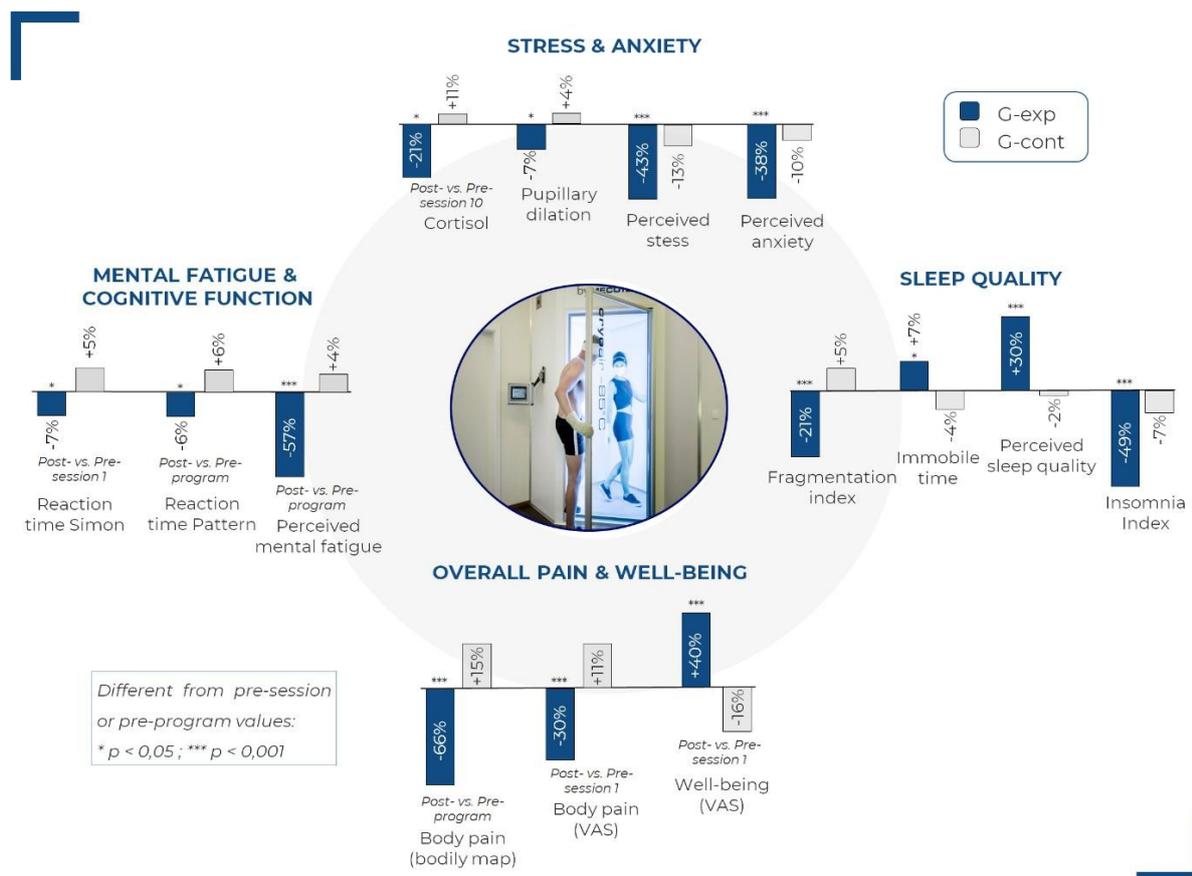
#### UNE AMÉLIORATION DU BIEN-ÊTRE ET UNE DIMINUTION DE LA DOULEUR GLOBALE APRÈS LES SÉANCES ET LE PROGRAMME

- Le bien-être perçu a augmenté de 40 % après la première séance, tandis que la sensation de douleur a diminué de 30 % pour le G-exp.
- Le score global de la douleur a diminué de 66% après l'étude pour les participants de G-exp.

## 6. CONCLUSION

Cette étude a démontré l'efficacité du WBC dans l'amélioration de la qualité objective et subjective du sommeil, ainsi que du bien-être mental. Ces bénéfices ont été associés à une amélioration des performances cognitives et à une réduction de la fatigue mentale. Les participants ont également fait état d'une amélioration significative de leur bien-être général et d'une diminution de la douleur. L'ensemble de ces résultats suggère que le WBC pourrait représenter une intervention complémentaire prometteuse pour les personnes souffrant de troubles du sommeil et de problèmes de santé mentale ou physique.

*Les principaux résultats de cette étude sont illustrés ci-dessous*



## 7. RÉFÉRENCES

- Agnieszka, P. (2017, décembre). Aspects de sécurité du fonctionnement de la cryochambre à corps entier et du cryosauna. In IOP Conference Series : Materials Science and Engineering (Vol. 278, No. 1, p. 012125). IOP Publication.
- Arc-Chagnaud, C., Dupuy, O., Garcia, M., Bosquet, L., Bouzigon, R., Pla, R., ... & Dugué, B. (2024). Effets des expositions répétées à la cryostimulation sur le sommeil et le bien-être de jeunes adultes en bonne santé. *Cryobiology*, 117, 104948.
- Attkisson, C. C. et Zwick, R. (1982). Le Client Satisfaction Questionnaire : Psychometric properties and correlations with service utilization and psychotherapy outcome. *Evaluation and program planning*, 5(3), 233-237.
- Banfi, G., Lombardi, G., Colombini, A. et Melegati, G. (2010). Whole- body cryotherapy in athletes. *Sports medicine*, 40, 509-517.
- Bartowska-Trybulec, M., Zawojcka, K., Szklarczyk, J. et Góralaska, M. (2022). Effet de la cryothérapie du corps entier sur la douleur lombaire et la libération d'endorphines et d'hormones de stress chez les patients souffrant d'arthrose lombaire. *Reumatologia/Rheumatology*, 60(4), 247-251.
- Bastien, C. H., Vallières, A., & Morin, C. M. (2001). Validation of the Insomnia Severity Index as an outcome measure for insomnia research (Validation de l'indice de gravité de l'insomnie en tant que mesure de résultat pour la recherche sur l'insomnie). *Sleep Medicine*, 2(4), 297-307.
- Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A. et Lang, P. J. (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, 45(4), 602-607.
- Cohen, S., Kamarck, T. et Mermelstein, R. (1983). A global measure of perceived stress. *Journal of Health and Social Behavior*, 24(4), 385-396.
- Di Stasi, L. L., McCamy, M. B., Macknik, S. L., Mankin, J. A., Hooff, N., Catena, A., & Martinez-Conde, S. (2014). Saccadic eye movement metrics reflect surgical residents' fatigue. *Annals of surgery*, 259(4), 824-829.
- Doets, J. J., Topper, M., & Nugter, A. M. (2021). A systematic review and meta-analysis of the effect of whole body cryotherapy on mental health problems (Revue systématique et méta-analyse de l'effet de la cryothérapie sur les problèmes de santé mentale). *Complementary therapies in medicine*, 63, 102783.
- Etude Ipsos et AXA, " Mind Health Report ", 2024
- Firth, J., Solmi, M., Wootton, R. E., Vancampfort, D., Schuch, F. B., Hoare, E., ... & Stubbs, B. (2020). Une méta-revue de la "psychiatrie du mode de vie" : le rôle de l'exercice, du tabagisme, de l'alimentation et du sommeil dans la prévention et le traitement des troubles mentaux. *World psychiatry*, 19(3), 360-380.
- Hauswirth, C., Nesi, X., Dubois, A., Duforez, F., Rougier, Y. et Slattery, K. (2022). Quatre semaines d'un programme de neuro-méditation améliorent la qualité du sommeil et réduisent l'hypertension chez le personnel infirmier pendant la pandémie de COVID-19 : A parallel randomized controlled trial. *Frontiers in Psychology*, 13, 854474.
- Hellhammer, D. H., Wüst, S. et Kudielka, B. M. (2009). Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinologie*, 34(2), 163-171.
- Herbert, C. (2022). Améliorer la santé mentale, le bien-être et l'activité les modes de vie des étudiants universitaires par le biais de programmes de recherche sur l'activité physique et l'exercice. *Frontiers in public health*, 10, 849093.
- Jacquet, T., Poulin-Charronnat, B., Bard, P. et Lepers, R. (2021). Persistance de la fatigue mentale sur le contrôle moteur. *Frontiers in Psychology*, 11, 588253.
- Kujawski, S., Stomko, J., Godlewska, B. R., Cudnoch-Jędrzejewska, A., Murovska, M., Newton, J. L., ... & Zalewski, P. (2022). La combinaison de la cryothérapie du corps entier avec des exercices d'étirement statique réduit la fatigue et améliore le fonctionnement du système nerveux autonome dans le syndrome de fatigue chronique. *Journal of Translational Medicine*, 20(1), 273.
- Linden, W. et Moseley, J. V. (2006). The efficacy of behavioral treatments for hypertension. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 31, 51-63.
- Masa, J. F., Jiménez, A., Durán, J., Carmona, C., Monasterio, C., ... & Montserrat, J. M. (2011). Échelle visuelle analogique de bien-être pour les patients souffrant d'apnée du sommeil : validité et réactivité : un test pour la pratique clinique. *Sleep and Breathing*, 15, 549-559.
- Mattacola, C. G., Perrin, D. H., Gansneder, B. M., Allen, J. D. et Mickey, C. A. (1997). A comparison of visual analog and graphic rating scales for assessing pain following delayed onset muscle soreness. *Journal of Sport Rehabilitation*, 6(1), 38-46.
- Mozuraityte, K., Stanyte, A., Fineberg, N. A., Serretti, A., Gecaite-Stonciene, J., & Burkauskas, J. (2023). Mental fatigue in individuals with psychiatric disorders : a scoping

- Revue. *International Journal of Psychiatry in Clinical Practice*, 27(2), 186-195.
- Partridge, E. M., Cooke, J., McKune, A. et Pyne, D. B. (2019). Cryothérapie du corps entier : Potentiel d'amélioration de la préparation des athlètes à la compétition ? *Frontiers in physiology*, 10, 1007.
- Patel, K., Bakshi, N., Freehill, M. T. et Awan, T. M. (2019). Cryothérapie du corps entier en médecine sportive. *Current sports medicine reports*, 18(4), 136-140.
- Pedrotti, M., Mirzaei, M. A., Tedesco, A., Chardonnet, J. R., Mérienne, F., Benedetto, S., & Baccino, T. (2014). Classification automatique du stress avec l'analyse du diamètre de la pupille. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30(3), 220-236.
- Pereira, T., Almeida, P. R., Cunha, J. P. et Aguiar, A. (2017). Métriques de variabilité du rythme cardiaque pour l'évaluation du niveau de stress à grain fin. *Méthodes et programmes informatiques en biomédecine*, 148, 71-80.
- Perez, W. A., Masline, P. J., Ramsey, E. G. et Urban, K. E. (1987). Unified tri-services cognitive performance assessment battery : Review and methodology.
- Piper, B. J. (2011). Age, handedness, and sex contribute to fine motor behavior in children. *Journal of neuroscience methods*, 195(1), 88-91.
- Gérontologie, 146, 111237.
- Rigoard, P., Ounajim, A., Goudman, L., Louis, P. Y., Slaoui, Y., Roulaud, M., ... & Billot, M. (2021). Une nouvelle réponse clinique multidimensionnelle index dédié à l'amélioration de l'évaluation globale de la douleur chez les patients souffrant d'un syndrome douloureux persistant après une opération de la colonne vertébrale, basé sur une étude prospective multicentrique en vie réelle (PREDIBACK) et sur des techniques d'apprentissage automatique. *Journal of clinical medicine*, 10(21), 4910.
- Rymaszewska, J., Lion, K. M., Pawlik-Sobecka, L., Pawłowski, T., Szcześniak, D., Trypka, E., ... & Stanczykiewicz, B. (2020). Efficacité de la cryothérapie du corps entier comme thérapie d'appoint au traitement pharmacologique de la dépression-un essai contrôlé randomisé. *Frontiers in Psychiatry*, 11, 522.
- Rymaszewska, J., Lion, K. M., Stańczykiewicz, B., Rymaszewska, J. E., Trypka, E., Pawlik-Sobecka, L., ... & Szcześniak, D. (2021). L'amélioration des déficits cognitifs après la cryothérapie du corps entier-Un essai contrôlé randomisé. *Expérimental*
- Spiegel, R. (1981). *Sleep and sleeplessness in advanced age* (W. ED, Ed.). Spectrum Publications.
- Szczepańska-Gieracha, J., Borsuk, P., Pawik, M. et Rymaszewska, J. (2014). État mental et qualité de vie après 10 séances de cryothérapie du corps entier. *Psychology, health & medicine*, 19(1), 40-46.
- Vitenet, M., Tubez, F., Marreiro, A., Polidori, G., Taiar, R., Legrand, F., & Boyer, F. C. (2018). Effet des interventions de cryothérapie du corps entier sur la qualité de vie liée à la santé chez les patients atteints de fibromyalgie : Un essai contrôlé randomisé. *Thérapies complémentaires en médecine*, 36, 6-8.
- Vrijotte, S., Meeusen, R., Vandervaeren, C., Buyse, L., Van Cutsem, J., Pattyn, N., & Roelands, B. (2018). La fatigue mentale et les performances physiques et cognitives pendant un test d'exercice de 2 séances. *International journal of sports physiology and performance*, 13(4), 510-516.
- Organisation mondiale de la santé. (2022). *Rapport sur la santé mentale dans le monde : transformer la santé mentale pour tous*.
- Wozniak, A., Mila-Kierzenkowska, C., Szpinda, M., Chwalbinska-Moneta, J., Augustynska, B. et Jurecka, A. (2012). Cryostimulation du corps entier et stress oxydatif chez les rameurs : résultats préliminaires. *Archives of medical science : AMS*, 9(2), 303.
- Wu, T., Jia, X., Shi, H., Niu, J., Yin, X., Xie, J., & Wang, X. (2021). Prévalence des problèmes de santé mentale pendant la pandémie de COVID-19 : A systematic review and meta-analysis. *Journal of affective disorders*, 281, 91-98.
- Yamaguchi, M. et Proctor, R. W. (2012). Multidimensional vector model of stimulus-response compatibility. *Psychological Review*, 119, 272-303.
- Zielińska-Nowak, E., Lipert, A., Kikowski, Ł. et Miller, E. (2025). Impact de la cryothérapie corps entier sur la douleur, la qualité du sommeil, l'état fonctionnel et la qualité de vie dans la sclérose en plaques : A Comparative Study with Follow-Up. *Journal of Personalized Medicine*, 15(2), 46.
- Zigmond, A. S. et Snaith, R. P. (1983). The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 67(6), 361-370.



Pr. Christophe **HAUSSWIRTH**

Fondateur de l'Institut beScored

[christophe@bescored.fr](mailto:christophe@bescored.fr)

+33.6.86.58.46.93

<https://bescored.fr/>

## PUBLICATIONS INTERNATIONALES

Lien : [Site web Pubmed](#)

## LIVRES

- > La récupération au service de la performance sportive ([lien](#))
- > Nutrition et performance dans le sport. La science au bout de la fourchette ([lien](#))
- > Science of Recovery - Update on Sports Performance Improvement ([lien](#))

