

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université d'Alger 3 – Dely Ibrahim**

**Institut d'éducation physique et sportive**



**Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en  
LMD**

**Filière : Education physique et sportive**

**Spécialité : entraînement sportive**

**Présenté par : Didani Azedine**

---

**Etude comparative entre trois moyens de récupération en football : le  
sauna ; le hammam et l'immersion en eau sur l'accélération du processus de  
récupération chez des footballeurs U19.**

---

**Sous la direction de :**

- **Bourenane Cherif Mustapha**
- **Rezzigue Abd Elkarim**

**Année Universitaire : 2024/2025**

*Dédicace*

*À ma mère,*

*Pour son affection et son amour inconditionnel. Je lui serai éternellement reconnaissant pour toutes ces années de tendresse et de sacrifice.*

*À mon épouse,*

*Pour son soutien indéfectible, ses encouragements, sa compréhension et surtout sa patience précieuse tout au long de ce parcours.*

*À mes enfants,*

*Vous êtes ma plus belle source de joie et de motivation. Votre amour illumine mon quotidien et me donne la force d'avancer. Que ce travail soit un témoignage de mon engagement envers vous et de l'amour infini que je vous porte.*

*À mes frères et ma sœur,*

*Pour leur présence, leur bienveillance et leur force qui m'accompagnent chaque jour.*

*À mes amis,*

*Compagnons de route et de cœur, votre présence, votre soutien et vos encouragements ont été une source précieuse de motivation. Merci pour ces moments de partage, d'échange et d'amitié sincère qui ont rendu ce parcours plus enrichissant et plus agréable.*

*À tous mes amis étudiants en licence, master et doctorat,*

*Que ce travail soit le témoignage de notre engagement commun envers la quête du savoir. Votre persévérance, votre esprit de collaboration et votre ambition sont une véritable source d'inspiration.*

*A tous les entraîneurs et tous les footballeurs qui ont participés de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

## *Remerciements*

*Louange à Allah, Le Très-Haut, Le Tout-Miséricordieux, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance pour mener à bien ce travail. Sans Sa guidance et Sa bénédiction, rien n'aurait été possible.*

*Cette thèse est le fruit de nombreuses interactions et collaborations avec des personnes sans lesquelles ce travail n'aurait pu aboutir.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Pr. Bourenane Cherif Mustapha et Pr. Rezzigue Abd Elkarim, mes directeurs de thèse, pour leur encadrement précieux, leurs conseils avisés et leur soutien constant.*

*J'espère que ce manuscrit saura être un témoignage de reconnaissance à la hauteur de vos exigences, de votre investissement et de vos encouragements continus tout au long de ce parcours.*

*Aux membres de mon jury de thèse, je vous adresse mes sincères remerciements pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail et pour l'intérêt que vous lui avez porté. Votre expertise et vos observations enrichissantes sont une contribution précieuse à cette recherche.*

**Liste des abréviations :**

TQR	Total Quality Recovery
RPE	Rating of Perceived Exertion
GPS	Global Positioning System
FC	Fréquence cardiaque
FCR	Fréquence cardiaque de récupération
FCex	Fréquence cardiaque pendant l'exercice
FCmax	Fréquence cardiaque maximale
FCres	Fréquence cardiaque de réserve
VFC	Variabilité de la fréquence cardiaque
IEC	Immersion en eau chaude
IET	Immersion en eau tempérée
IECT	Immersion en eau contraste de température
IEF	Immersion en eau froide
PAS	Passive
RSA	Repeated Sprint Ability
CCE	Cryothérapie corps entier
CE	Charge d'entraînement
O <sub>2</sub>	Oxygène
DC	Débit cardiaque
H <sup>+</sup>	Hydrogène
pH	Potentiel hydrogène
Na <sup>+</sup>	Sodium
K <sup>+</sup>	Potassium
Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	Couple sodium-potassium
ATP	Adénosine triphosphate
Ca <sup>2+</sup>	Calcium
PCr	Phosphocréatine
T <sub>lim</sub>	Temps limite
VO <sub>2</sub>	Consommation d'oxygène
VO <sub>2</sub> max	Consommation maximale d'oxygène

SNC	Système nerveux central (SNC),
CK	créatine kinase
SJ	Squat Jump
CMJ	Contremouvement Jump
DJ	Drop Jump

## **Liste des figures :**

Figure 1: illustration du modèle d'adaptation général de Selye .....	24
Figure 2: illustration du modèle de Bannister, simplifié par (Morton, 1997) .....	26
Figure 3: Schéma simplifié des interactions entre charge, fatigue et performance.....	27
Figure 4: Décomposition de la charge d'entraînement en charge cardiovasculaire et musculo-squelettique, ainsi que les différents moyens de mesure associés (adapté d'après...). (Vanrenterghem, Nedergaard, & Robinson, 2017).....	31
Figure 5: Phases d'évolution de la capacité de performance après un stimulus d'entraînement. 1. Phase de baisse de la capacité de performance ; 2. Phase de remontée de la capacité de performance ; 3. Phase de surcompensation, c'est à dire élévation de la capacité de performance sportive. ....	35
Figure 6 : amélioration de la performance sportive sous l'effet des stimuli d'entraînement optimaux.....	36
Figure 7 : efficacité cumulé.....	37
Figure 8: Diminution de la performance sportive due à une succession de charges d'entraînement trop rapprochées.....	37
Figure 9: temps de récupération des différents systèmes biologiques .....	38
Figure 10 : Amplitude de l'adaptation après des stimuli efficaces répétés sur des systèmes fonctionnels à rythmes d'adaptation variés 1. Système à adaptation rapide (ex : la musculature) ; 2. Système à adaptation moyennement rapide (ex : absorption maximale d'oxygène) ; système à adaptation lente (ex : modification système d'appui et de sustentation).....	39
Figure 11: Représentation schématique du modèle cardiovasculaire de la fatigue (Hill et coll.).....	44
Figure 12 : représentation des facteurs ne pouvant être expliqués par le modèle cardiovasculaire/anaérobie, mais compatibles avec le modèle du gouverneur central de la fatigue.....	47
Figure 13 : exemple d'un exercice à intensité constante (ou exercice continu) manteau jusqu'à épuisement volontaire (temps maximale de maintien, ou temps limite) VO <sub>2</sub> max : débit maximale d'oxygène. ....	48
Figure 14 : Coupes histologiques de microlésions musculaires provoquées par un exercice excentrique visualisées par microscope électronique à transmission. A : Sarcomères sains.	

B : Sarcomères lésés avec perturbations de l’alignement des stries Z (zones encadrées). A partir de (Lieber & Friden, 1991).....	52
Figure 15 : Illustration des effets souhaités de l’application de stratégies de récupération sur le modèle charge, fatigue, performance. A. Limitation de la diminution des performances ; B. Accélération de la restauration des performances telles qu’elles étaient avant l’entraînement ; C. Limitation de la diminution et accélération de la restauration des performances. ....	57
Figure 16 : L’entraînement perturbe l’homéostasie. Pendant la période de récupération, les différents systèmes physiologiques peuvent prendre de quelques minutes à quelques mois pour récupérer, selon la durée, l’intensité et les modalités de l’entraînement.....	58
Figure 17 : influx nerveux lors d’une contraction émise par un courant électrique .....	62
Figure 18 : Figure 8 : Traduction française de l’échelle de perception de l’effort de (Borg, 1970).....	82
Figure 19: L’échelle CR10 traduit par (Haddad M, 2013), de l’échelle d’intensité subjective de la charge (CR10) de Foster.....	83
Figure 20: Echelle TQR .....	88
Figure 21 : exercice de tir au football-puissance et techniques de précision-muscles impliqués .....	93
Figure 22 : Description du contenu et de la durée des différentes périodes d’entraînement et de compétition pour un joueur de football professionnel. ....	96
Figure 23 : Comparaison des valeurs des moyennes arithmétiques et des écarts types (TQR) 1 heure après l’utilisation de différents moyens de récupération.....	116
Figure 24 : Figure : Comparaison des valeurs des moyennes arithmétiques et des écarts types (TQR) 12 heures après l’utilisation de différents moyens de récupération.....	119
Figure 25 : Figure : Comparaison des valeurs des moyennes arithmétiques et des écarts types (TQR) 24 heures après l’utilisation de différents moyens de récupération.....	122
Figure 26 : Comparaison des moyennes et écarts types des valeurs de $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les moyens de récupération utilisée 1h après l’application .....	136
Figure 27 : Figure : Comparaison des moyennes et écarts types des valeurs de $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les moyens de récupération utilisée 12 h après l’application ..	139
Figure 28 : Comparaison des moyennes et écarts types des valeurs de $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les moyens de récupération utilisée 12 h après l’application .....	142

## **Liste des tableaux :**

Tableau 1 : Principaux outils de mesure physiologique et biologique de la charge interne spécifique au football .....	81
Tableau 2 : Intensité des séances d'entraînement précédant l'application des moyens de récupération .....	110
Tableau 3 : Scores du test TQR pour les différentes méthodes de récupération comparées à la récupération passive 1 heures après utilisation. ....	115
Tableau 4 : Scores du test TQR pour les différentes méthodes de récupération comparées à la récupération passive 12 heures après utilisation .....	118
Tableau 5 : Scores du test TQR pour les différentes méthodes de récupération comparées à la récupération passive 24 heures après utilisation .....	121
Tableau 6 : Comparaison des scores du test TQR entre les différentes méthodes de récupération 1 heure après utilisation.....	124
Tableau 7 : Comparaison des scores du test TQR entre les différentes méthodes de récupération 12 heure après utilisation.....	128
Tableau 8 : Comparaison des scores du test TQR entre les différentes méthodes de récupération 24 heure après utilisation.....	132
Tableau 9 : Comparaison des valeurs de $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les différents moyens de récupération 1 h après leur application .....	135
Tableau 10 : Comparaison des valeurs de $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les différents moyens de récupération 12 h après leur application .....	138
Tableau 11 : Comparaison des valeurs de $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les différents moyens de récupération 24 h après leur application .....	141
Tableau 12 : Comparaison des valeurs de $\Delta$ FCR entre les différents moyens de récupération 1h après leur application.....	144
Tableau 13 : Comparaison des valeurs de $\Delta$ FCR entre les différents moyens de récupération 12 h après leur application.....	148
Tableau 14 : Comparaison des valeurs de $\Delta$ FCR entre les différents moyens de récupération 24 h après leur application.....	152

## **Table des matières :**

Présentation de la recherche .....	14
Introduction : .....	2
1. Problématique : .....	5
2. Sous questions : .....	6
3. Hypothèses : .....	7
4.1. Objectifs général : .....	7
4.2.1. Scientifique : .....	7
4.2.2. Pratique : .....	8
5. Concepts et terminologie : .....	8
5.1. La fatigue : .....	8
5.2. La récupération : .....	8
5.3. Le sauna : .....	8
5.4. Le hammam : .....	8
5.5. L'immersion en eau : .....	9
6. Les études similaires : .....	9
9. Critique des études similaires : .....	14
10. Conclusion : .....	15
Coté théorique de la recherche .....	16
Chapitre 1 : L'entraînement sportif .....	17
1. Définition : .....	18
2. Contenu de l'entraînement sportif de football : .....	18
3. Buts de l'entraînement : .....	19
4. Les objectifs de l'entraînement : .....	20
5. Les moyens de l'entraînement : .....	20
6. Les méthodes d'entraînement : .....	20
Chapitre 2 : L'équilibre charge, fatigue, performance .....	22
1. Gestion de la charge d'entraînement, fatigue et performance : .....	23
2. La charge d'entraînement : .....	28
2.1. Catégories principales de la charge d'entraînement : .....	29
2.1.1. Charge externe : .....	29
2.1.2. Charge interne : .....	30

2.2.	Les principes de la charge d'entraînement :	31
2.3.	Principes définissent la charge d'entraînement adaptive :	32
2.3.1.	Principe de l'efficacité de stimulus de la charge d'entraînement :	32
2.3.2.	Principe de la charge d'entraînement personnalisée :	32
2.3.3.	Principe de la charge d'entraînement progressive (croissante) :	32
2.3.4.	Principe de la succession judicieuse de la charge d'entraînement :	33
2.3.5.	Principe d'augmentation de charge variable :	34
2.3.6.	Principe de l'alternance de la charge d'entraînement :	34
2.3.7.	Rapport optimale entre charge et récupération :	35
2.4.	Principe de l'entraînement cyclique :	39
2.4.1.	Charge d'entraînement continu :	39
2.4.2.	Principe de la spécialisation et de la spécificité de l'entraînement :	40
2.4.3.	Principes de proportionnalité :	41
3.	La fatigue :	42
3.1.	Définition de la fatigue :	42
3.2.	Origine de la fatigue :	43
3.2.1.	La fatigue périphérique par le modèle cardiovasculaire/anaérobie :	43
3.2.2.	La fatigue centrale par le modèle du gouverneur central :	46
3.2.3.	Les facteurs influençant la performance et agissant centralement :	47
3.2.4.	La fatigue neuro-immuno-endocrinienne :	52
3.3.	Origines de diminution de la performance :	53
3.3.1.	La fatigue métabolique :	53
3.3.2.	La fatigue musculaire :	53
3.3.3.	La fatigue psychique :	54
4.	La récupération :	54
4.1.	Définition de la récupération :	55
4.2.	Lien entre récupération et performance :	56
4.3.	Les mécanismes des techniques de récupération :	58
4.4.	Principe général des techniques de récupération :	59
4.4.1.	Le sommeil :	59
4.4.2.	Repos :	59
4.4.3.	Hydratation et nutrition :	60
4.4.4.	Le massage :	60
4.4.5.	Les étirements :	61
4.4.6.	L'électrostimulation :	62

6.4.7.	La récupération active : .....	63
6.4.8.	Les vêtements de compression : .....	64
6.4.9.	La presso-thérapie : .....	64
6.4.10.	La cryothérapie du corps entier (CCE) : .....	65
6.4.11.	Le sauna : .....	65
6.4.12.	Le hammam : .....	67
6.4.13.	L'immersion en eau : .....	69
Chapitre 3 : Quantification de la charge d'entraînement, de la fatigue et de la récupération ..		76
1.	La charge d'entraînement : .....	77
1.1.	La charge externe : .....	77
1.2.	La charge interne : .....	78
1.2.1.	Mesures physiologiques et biologiques : .....	78
1.2.2.	Mesures perceptives : .....	81
2.	Fatigue et récupération : .....	83
2.1.	Physiologique : .....	84
2.2.	Analyse de la fonction neuromusculaire : .....	84
2.3.	Cas spécifique de la mesure simultanée d'un indice de charge externe et interne : ..	85
2.4.	Performances fonctionnelles et spécifiques : .....	85
2.5.	Perceptifs : .....	85
Chapitre 4 : Charge spécifique du football de haut niveau .....		90
1.	Profil de l'activité de joueur de football : .....	91
2.	Caractéristiques d'une saison professionnelle : planification de l'entraînement et des périodes de compétition : .....	93
2.1.	Densité et enchaînement des compétitions : .....	94
2.2.	Planification annuelle et structuration de l'entraînement : .....	94
2.2.1.	Période préparatoire (présaison) : .....	94
2.2.2.	Période compétitive : .....	95
2.2.3.	Période de transition (post-saison) : .....	95
3.	Charges de travail associées aux périodes de compétition : .....	96
3.1.	Charge externe : .....	96
3.1.1.	Fréquence des matchs : .....	96
3.1.2.	Caractéristiques temporelles : .....	97
3.1.3.	Caractéristiques gestuelles : .....	98
3.2.	Charge interne : .....	100
3.2.1.	Sollicitation fonctionnelle et physiologique : .....	100

3.2.2. Sollicitations neuromusculaires : .....	103
Côté pratique de la recherche .....	106
Chapitre 5 : Méthodes et organisation de la recherche .....	107
1. Moyens et Méthodes : .....	108
2. Moyens humains : .....	108
2.1. Population d'étude : .....	108
4. Les Méthode de recherches : .....	110
4.1. Méthode de tests pédagogiques : .....	110
4.2. Analyses statistiques : .....	111
4.3. Protocol : .....	111
5. Organisation de la recherche : .....	112
6. Maitrise des variables : .....	112
Chapitre6 : Présentation et discussion des résultats .....	114
1. Présentation des résultats : .....	115
1.1. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 1h après l'application : (TQR) .....	115
1.2. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 12h après l'application : (TQR) .....	117
1.3. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 24h après l'application : (TQR) .....	120
1.4. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 1h après l'utilisation : (TQR).....	123
1.5. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 12 h après l'utilisation : (TQR).....	127
1.6. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 24 h après l'utilisation : (TQR).....	131
1.7. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 1 h après l'application : (FCR).....	135
1.8. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 12 h après l'application : (FCR).....	138
1.9. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 24 h après l'application : (FCR).....	140
1.10. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 1h après l'utilisation : ( $\Delta$ FCR).....	143
1.11. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 12 h après l'utilisation : ( $\Delta$ FCR).....	147
1.12. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 24 h après l'utilisation : ( $\Delta$ FCR).....	151

2.	Discussion des résultats :.....	155
2.1.	Comparaison des moyens de récupérations utilisées par rapport à la récupération passive (TQR) : .....	155
2.2.	Comparaison des moyens de récupérations utilisées par rapport à la récupération passive ( $\Delta$ FCR) : .....	156
2.3.	Comparaison des moyens de récupération utilisés (TQR): .....	157
2.4.	Comparaison des moyens de récupération utilisés ( $\Delta$ FCR) : .....	159
3.	Conclusion.....	161
3.1.	Synthèse des Résultats :.....	161
3.1.1.	Perception Subjective de la Récupération (TQR) : .....	161
3.1.2.	Évolution Physiologique ( $\Delta$ FCR) : .....	162
3.1.3.	Comparaison des Méthode : .....	162
3.1.4.	Réponse aux Objectifs :.....	163
3.1.5.	Limite de l'Étude : .....	163
3.1.6.	Implications Pratiques : .....	163
3.1.7.	Comparaison avec les Études Antérieures : .....	164
3.1.8.	Standardisation des Protocoles et Perspectives :.....	165
3.1.9.	Perspectives et Avenues de Recherche : .....	166
	Référence :.....	168

# **Présentation de la recherche**

## **Introduction :**

Tout au long de sa carrière, le footballeur de haut niveau est soumis à des charges d'entraînement et de compétition particulièrement exigeantes, nécessitant une gestion optimale pour maintenir ses performances et limiter le risque de blessure. Une saison de football professionnel comprend en moyenne 50 à 70 matchs pour un joueur évoluant dans les plus grands championnats, en incluant les compétitions nationales, internationales et les matchs amicaux. (Nedelec, et al., 2012) Ce calendrier chargé, combiné aux exigences physiques du football – alternance d'efforts intermittents, sprints répétés, changements de direction et duels – entraîne un stress physiologique et psychologique important. (Mohr, Krustup, & Bangsbo, 2005) La fatigue accumulée au fil de la saison peut être d'origine musculaire, métabolique ou nerveuse, et nécessite une récupération adaptée pour éviter le surmenage et les baisses de performance. (Dupont, Nedelec, Mccall, & McCormack, 2010) La gestion de la récupération post-effort est devenue un enjeu majeur pour les entraîneurs et les staffs médicaux. Comment optimiser la régénération physique et mentale des athlètes sans compromettre leur santé ni leur performance ? Cette question se pose de manière cruciale dans un contexte où les charges d'entraînement et de compétition atteignent des niveaux inédits. Une planification rigoureuse de l'entraînement et des stratégies de récupération est alors essentielle pour optimiser la performance aux moments clés de la saison, tout en réduisant le risque de blessures. (Mujika & Padilla, 2001) (Bompa & Haff, 2009)

Développés spécifiquement pour le sport de haut niveau, des modèles théoriques permettent aujourd'hui d'appréhender objectivement la relation entre le stress induit par la charge d'entraînement, la fatigue qu'elle engendre et la performance. (Impellizzer, Rampinini, & Marcora, 2005) La charge d'entraînement en football dépend de multiples facteurs, qu'ils soient directement liés à l'entraînement (intensité, volume, fréquence, type d'exercices) ou extrinsèques (caractéristiques physiologiques du joueur, état psychologique, qualité du sommeil, conditions environnementales). (Kenttä & Hassmen, 1998) (Impellizzer, Rampinini, & Marcora, 2005) La fatigue qui en découle est multifactorielle et résulte d'une altération des différents systèmes physiologiques et psychologiques sollicités lors de l'effort. Dans ce cadre, la récupération joue un rôle clé en permettant aux systèmes physiologiques de retrouver leur état initial (Hauswirth, 2013), ce qui est essentiel pour limiter l'apparition de la fatigue chronique, du surmenage ou des blessures. (Meeusen, et al., 2013)

La récupération et la fatigue forment ainsi un continuum complexe influencé par de nombreux paramètres contextuels. (Kellmann, et al., 2018) La gestion de la fatigue et de la récupération dans le football de haut niveau est encore en constante évolution, car elle doit s'adapter aux spécificités de la discipline, notamment la variabilité du calendrier des matchs et des entraînements. Dans ce contexte, la récupération post-exercice joue un rôle crucial pour optimiser la régénération des joueurs et maintenir un niveau de performance élevé tout au long de la saison. (Barnett, 2006)

Les entraîneurs et leur staff médical accordent une grande importance à la récupération des joueurs, car elle est essentielle pour maintenir la performance, prévenir les blessures et assurer une longévité sportive. Une récupération efficace permet aux joueurs de se remettre plus rapidement des efforts intenses fournis pendant les matchs et les entraînements, et de rester en forme tout au long de la saison. (Kellmann, et al., 2018) De nos jours, une variété de méthodes de récupération sont disponibles pour les athlètes, incluant des approches naturelles comme le sommeil, la nutrition, l'hydratation et une bonne hygiène de vie, des techniques physiologiques telles que le sauna, le hammam, l'hydrothérapie, la cryothérapie et les massages, ainsi que des méthodes psychologiques comme la relaxation et le stretching. (Hauswirth, 2013) D'après la littérature, les moyens de récupération jouent un rôle crucial dans l'optimisation de la performance sportive en agissant à la fois sur le corps et l'esprit. L'étude de la fatigue et/ou de la récupération en réponse aux différents stress induits par la pratique du football de haut niveau repose effectivement sur une combinaison de mesures subjectives (comme le RPE, le TQR ou les questionnaires de fatigue) et objectives (tests physiques, test physiologique, biomarqueurs, données GPS). Ces approches complémentaires permettent une évaluation globale de l'état physique et mental des joueurs, essentielle pour optimiser la performance et prévenir les blessures. (Nedelec, et al., 2012) (Gabbett, 2016) Les mesures subjectives capturent le ressenti des athlètes, tandis que les données objectives fournissent des indicateurs précis de la charge de travail et de la récupération (Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006) Cette intégration est cruciale pour adapter les programmes d'entraînement et maximiser le potentiel des joueurs tout en minimisant les risques de surentraînement. (Buchheit, 2014)

En Algérie, les clubs amateurs et semi-professionnels font face à de nombreuses difficultés qui limitent leur capacité à intégrer efficacement des protocoles de récupération dans leurs programmes d'entraînement. Ces contraintes entraînent souvent une sous-estimation ou une négligence de cette phase cruciale du processus sportif.

Les ressources financières restreintes constituent l'un des principaux défis. Les budgets limités des clubs excluent l'accès à des technologies avancées de récupération comme la cryothérapie, les massages mécaniques ou les salles dédiées à l'hydrothérapie. De plus, les moyens disponibles sont principalement consacrés à des aspects jugés prioritaires tels que l'entraînement, les infrastructures de base (terrains, vestiaires) et les salaires des joueurs, au détriment des investissements dans la récupération. Les installations modernes adaptées à la récupération, telles que les piscines thermales, les cabines de massage ou les salles de cryothérapie, sont rares et souvent inexistantes dans les clubs amateurs. Même lorsque ces équipements existent, ils sont concentrés dans les grandes villes comme Alger, Oran ou Constantine, rendant leur utilisation difficile pour les clubs situés dans les régions périphériques. En raison des contraintes économiques et culturelles, les clubs algériens se tournent souvent vers des moyens traditionnels de récupération, tels que le hammam, le sauna et l'immersion en eau. Par ailleurs, des facteurs essentiels comme le sommeil, la nutrition et l'hydratation, bien qu'universellement reconnus comme importants, sont souvent mal gérés en raison d'un manque de sensibilisation ou de ressources. Un autre obstacle majeur est le manque de personnel spécialisé. Beaucoup de clubs amateurs et semi-professionnels ne disposent pas de kinésithérapeutes ou de préparateurs physiques qualifiés, ce qui limite leur capacité à mettre en place des protocoles de récupération personnalisés et efficaces. De plus, les entraîneurs locaux, bien qu'expérimentés, peuvent ne pas être formés aux dernières avancées en matière de récupération post-effort, entraînant une mauvaise utilisation ou une sous-utilisation des moyens disponibles. Le football en Algérie est souvent perçu comme une activité récréative ou compétitive plutôt qu'une discipline scientifique. Cette vision freine l'investissement dans des approches modernes et sophistiquées de récupération. Si les pratiques culturelles comme le hammam ou le sauna sont largement adoptées, elles peuvent également limiter l'intérêt pour des innovations technologiques plus performantes. Enfin, la charge importante imposée par le calendrier des compétitions nationales et internationales ne laisse souvent pas assez de temps pour organiser des séances de récupération structurées et efficaces. Les clubs amateurs ont généralement moins de ressources humaines et logistiques pour planifier des périodes de récupération adéquates, accentuant ainsi la pression sur les joueurs. Ces obstacles créent un environnement où la récupération est souvent négligée ou sous-optimisée, tant au niveau organisationnel qu'individuel. Se pose alors comme question : « quelles alternatives simples et économiques peuvent être proposées pour optimiser la régénération post-effort chez les jeunes joueurs U19 ? ». Cela met en évidence la nécessité de proposer des solutions adaptées

aux contraintes locales tout en sensibilisant les acteurs du football aux bienfaits d'une gestion proactive de la récupération. Le présent travail vise à évaluer l'efficacité de trois moyens de récupération : « le hammam, le sauna et l'immersion en eau » chez des jeunes joueurs algériens U19. Les objectifs spécifiques incluent : (1) comparer les effets de ces méthodes sur différents paramètres physiologiques et subjectifs ; (2) identifier les avantages et inconvénients de chaque technique ; et (3) proposer des recommandations pratiques adaptées aux contraintes locales.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons conçu un protocole expérimental impliquant 32 joueurs de football U19 issus des clubs du RC Kouba et du Nasr Hussein Dey. Ces participants ont été soumis à différentes méthodes de récupération après la séance d'entraînement la plus intense de la semaine, correspondant au pic de charge de travail. Les résultats ont été évalués à travers une combinaison d'indicateurs objectifs, tels que la fréquence cardiaque au repos (FCR), et d'indicateurs subjectifs, mesurés via le questionnaire Total Quality of Recovery (TQR). Cette approche permet ainsi de comparer l'efficacité relative des différentes méthodes de récupération étudiées.

Les résultats de cette étude fourniront des pistes concrètes et applicables pour optimiser la récupération post-effort dans un contexte marqué par des contraintes économiques significatives. En identifiant des solutions à la fois accessibles et efficaces, nous espérons offrir aux entraîneurs, kinésithérapeutes et encadrements médicaux des clubs algériens des outils précieux pour améliorer la performance et préserver la santé des joueurs. De plus, cette recherche ouvre de nouvelles perspectives pour explorer davantage les stratégies de récupération adaptées aux spécificités locales, tout en encourageant des études futures sur des populations et disciplines variées.

## **1. Problématique :**

L'un des principaux objectifs de l'entraînement sportif, qu'il soit élite ou amateur, est d'améliorer les capacités physiques, techniques et psychologiques des athlètes afin de maximiser leur performance. Dans le sport de haut niveau, l'augmentation du nombre de compétitions au cours des dernières décennies a conduit à des charges d'entraînement toujours plus intensives. Cette exposition régulière à des efforts extrêmes nécessite une gestion rigoureuse du cycle charge-récupération, appelé périodisation, qui permet à l'organisme de progresser grâce au phénomène de surcompensation (Morton, 1997).

Cependant, chez les athlètes de haut niveau, une forte quantité d'entraînement n'induit pas nécessairement une amélioration des performances. En effet, lorsque les périodes de récupération sont insuffisantes, l'état de fatigue peut atteindre un tel degré que seul un repos complet semble efficace (Hauswirth, 2013). Dans ce contexte, optimiser la récupération devient un enjeu crucial, car elle permet non seulement de préserver le capital physique des joueurs, mais aussi d'améliorer leur performance et de prévenir le surentraînement et les blessures.

La récupération peut prendre différentes formes : naturelle (sommeil, nutrition, hydratation), physiologique (sauna, hammam, hydrothérapie, cryothérapie, massage) ou psychologique (relaxation, stretching). Toutefois, certaines techniques sophistiquées restent inaccessibles pour les clubs amateurs ou semi-professionnels en raison de leurs coûts élevés. Ce problème est particulièrement criant en Algérie, où de nombreux clubs font face à des contraintes budgétaires accentuées par la crise économique liée à la pandémie de COVID-19.

Dans ce contexte, il devient essentiel d'explorer des solutions économiquement accessibles et culturellement adaptées. Trois méthodes traditionnelles se distinguent par leur disponibilité et leur acceptation sociale : le hammam, le sauna et l'immersion en eau. Ces moyens, largement utilisés dans la société algérienne, pourraient offrir des bénéfices significatifs pour accélérer le processus de récupération post-effort.

Cela pose alors la question suivante : Quelle est l'impact de ces moyens sur le processus de récupération dans le football ? Cette étude vise donc à évaluer l'efficacité de ces trois méthodes chez des jeunes joueurs U19, afin de proposer des recommandations pratiques adaptées aux besoins des clubs algériens.

## **2. Sous questions :**

- Les moyens de récupération testés (hammam, sauna, immersion en eau) ont-ils un effet mesurable sur l'accélération du processus de récupération chez les joueurs de football U19 ?
- Quel est le moyen de récupération parmi ceux testés qui accélère le plus efficacement le processus de récupération chez les joueurs de football U19 ?

### **3. Hypothèses :**

Pour illustrer les approches de notre recherche nous allons proposer les hypothèses suivantes :

#### **3.1. Hypothèse générale :**

- L'utilisation de moyens de récupération (hammam, sauna et immersion en eau) favorise une récupération plus rapide chez les footballeurs U19, avec des différences d'efficacité entre les méthodes utilisées selon les indicateurs physiologiques et perceptifs.

#### **3.2. hypothèses spécifiques :**

- Nous supposons que les moyens de récupération testés (hammam, sauna, immersion en eau) ont un impact positif significatif sur l'accélération du processus de récupération des joueurs de football U19.
- Nous supposons qu'il existe un effet différentiel entre les moyens de récupération utilisés, certains étant plus efficaces que d'autres pour accélérer le processus de récupération, selon les critères évalués (indicateurs physiologiques et subjectifs).

### **4. Objectifs :**

#### **4.1. Objectifs général :**

Le but principal de cette recherche est de comprendre et d'évaluer l'efficacité des moyens traditionnels de récupération post-effort (hammam, sauna, immersion en eau) chez des jeunes joueurs de football U19, afin de proposer des solutions accessibles et économiquement viables pour les clubs algériens.

#### **4.2. Objectifs Spécifiques :**

##### **4.2.1. Scientifique :**

- Démontrer expérimentalement l'impact des trois moyens de récupération (hammam, sauna, immersion en eau) sur différents paramètres liés à la récupération (physiologiques : fréquence cardiaque au repos FCR ; subjectifs : questionnaires de récupération perçue TQR).
- Identifier les effets spécifiques de chaque méthode sur la régénération physique et mentale des joueurs.

#### **4.2.2. Pratique :**

- Proposer des recommandations concrètes basées sur les résultats obtenus, adaptées aux contraintes budgétaires et infra structurelles des clubs amateurs et semi-professionnels.
- Mettre en avant des solutions économiques et culturellement acceptables pour optimiser la performance et prévenir les blessures.

### **5. Concepts et terminologie :**

#### **5.1. La fatigue :**

La fatigue peut être définie comme une diminution des forces de l'organisme, généralement provoquée par un travail excessif ou prolongé, ou liée à un état fonctionnel défectueux (Dictionnaire Larousse maxi poche, 2012, p. 558). D'un point de vue physiologique, elle résulte de contraintes physiques et psychologiques qui aboutissent à une baisse des performances physiques ou mentales (Chatard, 2003). Cette notion englobe donc à la fois des aspects objectifs (fatigue musculaire, métabolique) et subjectifs (fatigue perçue, stress mental).

#### **5.2. La récupération :**

« Récupérer signifie littéralement "rentrer en possession de quelque chose qui avait été perdu ou confié pour un temps" (Dictionnaire Larousse maxi poche, 2012, p. 1176). Dans le contexte sportif, la récupération correspond à une période où l'organisme met en œuvre des processus biologiques visant à restaurer ses capacités physiques et psychiques antérieures à l'effort. Elle implique une activité métabolique supérieure à celle d'un repos pur, permettant aux systèmes sollicités pendant l'effort de se restructurer et de retrouver leur équilibre initial.

#### **5.3. Le sauna :**

Le sauna est une méthode de bien-être d'origine finlandaise qui consiste à s'exposer à une chaleur sèche dans une cabane en bois ou une pièce close. Les températures utilisées varient généralement entre 70°C et 100°C, avec un taux d'humidité bas (entre 3 % et 20 %).

#### **5.4. Le hammam :**

Le terme *hammam* vient du mot arabo-turc signifiant « bain chaud » et désigne traditionnellement un établissement de bains turcs comportant une étuve. Il s'agit d'un bain

de vapeur humide pratiqué dans une pièce chauffée à des températures élevées (environ 40°C à 50°C) avec un taux d'humidité important (jusqu'à 100 %).

### **5.5. L'immersion en eau :**

L'immersion en eau est une technique de récupération qui consiste à plonger partiellement ou totalement le corps dans l'eau.

### **6. Les études similaires :**

. À propos des études qu'on a analysées :

#### ➤ **Perception de la récupération et performance, étude à partir de l'utilisation de la cryothérapie comme moyen de récupération chez les rugbymans professionnels, 2013/2014 :**

L'étude menée (Oletchia, 2014) vise à évaluer l'effet des bains froids sur la perception de la récupération musculaire chez des rugbymen professionnels. La collecte des données s'est effectuée via un questionnaire administré les jours J0, J1, J2 et J3 pour mesurer le ressenti physique global. Les résultats montrent que le groupe ayant pratiqué l'immersion froide (groupe FROID) rapporte une amélioration notable de leur bien-être durant les trois jours suivant la séance. Cependant, aucune différence n'est observée immédiatement après l'effort (J0). L'impact positif devient significatif le lendemain (J1) avant de diminuer progressivement les jours suivants (J2 et J3).

#### ➤ **Efficacité de l'immersion dans l'eau sur la récupération d'après-match chez les footballeurs professionnels d'élite :**

La deuxième étude, réalisée par (Elias, Victoria L, Matthew C , Michael J, & Robert J. , 2013). Cette étude a évalué l'efficacité d'une immersion en eau froide (IEF) et d'une thérapie par eau contrastée (IECT) sur la récupération post match chez des footballeurs professionnels d'élite.

Méthodologie : Comparaison entre IEF, IECT et PAS (aucune récupération active). Évaluation de la douleur musculaire, de la perception de la fatigue et de la performance physique à 1h, 24h et 48h après le match. Analyse de l'intensité du match via l'échelle de perception de l'effort (RPE). Mesure de la performance physique : saut de hauteur et test RSA (Repeated Sprint Ability).

Résultats : Après 48h, la douleur musculaire était plus élevée dans le groupe sans récupération (PAS). Le groupe IEF a montré une réduction significative de la fatigue à 1h, 24h et 48h comparé au groupe PAS. Après 24h et 48h, la récupération était meilleure avec l'IEF qu'avec l'IECT. L'IECT était plus efficace que PAS, mais uniquement après 24h.

Conclusion : L'immersion en eau froide est plus efficace que la thérapie par eau contrastée ou l'absence de récupération pour réduire la fatigue et la douleur musculaire après un match de football professionnel.

➤ **Effet de l'immersion en l'eau froid sur la récupération physique et la performance sportive chez les footballeurs professionnels d'élite :**

La troisième étude, publiée en 2021, a été réalisée par (Setaouti, Khiat, & Kasmi, 2021). Son objectif était de comparer l'impact de la récupération par immersion en eau froide (IEF) sur la perception de la récupération musculaire chez des footballeurs professionnels. Les tests ont été réalisés sur des joueurs avant et après un entraînement intense. Le protocole comprenait :

- Capacité de répéter des sprints : 6 × 20 m, avec un départ toutes les 30 secondes, test effectué 15 minutes avant l'entraînement
- Évaluation de la performance physique : répétée immédiatement, 24h et 48h après le match.
- Évaluation de la douleur musculaire et de la fatigue perçue : réalisée immédiatement, 1h, 24h et 48h après le match, via des échelles visuelles type Borg.
- Mesures physiologiques : incluant le test de Ruffier-Dickson, la fréquence cardiaque et la température corporelle.

Les résultats ont montré que la récupération par immersion en eau froide (IEF) après un effort inférieur à 70 % de l'intensité maximale est la plus efficace des méthodes testées pour : Restaurer les performances physiques, réduire la fatigue perçue, bien que la méthode passive soit également efficace, elle reste légèrement moins performante que l'IEF. L'un des effets les plus notables de l'IEF a été l'amélioration du déclin de performance lors des sprints répétés, permettant une récupération considérable dès 24 heures après l'effort. Ces résultats confirment donc l'efficacité de l'immersion en eau froide comme un moyen optimal de récupération après un entraînement intensif en football.

➤ **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 :**

L'étude réalisée par (Jaili, 2014) avait pour objectif de comparer l'efficacité de l'immersion en eau froide (IEF) et de la cryothérapie corps entier (CCE) sur la récupération des sportifs de haut niveau. L'auteur a analysé la littérature existante et a mené une enquête auprès de 20 athlètes (10 hommes et 10 femmes) s'entraînant à l'INSEP. Les résultats ont montré que les deux techniques avaient des effets positifs similaires sur la réaction inflammatoire, bien que les études sur la prévention des lésions musculaires restent limitées. L'analyse des questionnaires a révélé que la CCE offrait une récupération perçue plus durable que l'IEF, mais les effets sur la performance restaient contradictoires.

➤ **Alternance d'immersion en eau chaude et froide pour la récupération de l'athlète :**

L'article de (Cochrane, 2004) explore l'efficacité de l'immersion alternée en eau chaude et froide comme outil de récupération pour les athlètes. L'auteur a analysé plusieurs études et constaté que, bien que cette méthode soit bien documentée pour le traitement des blessures, son impact sur la récupération post-exercice reste incertain. Les preuves suggèrent qu'elle pourrait aider à réduire les blessures en phase aiguë, mais peu d'études se sont penchées sur son efficacité pour la récupération après l'effort. L'auteur conclut que des recherches supplémentaires sont nécessaires avant de pouvoir confirmer son utilité.

➤ **Réponses physiologiques liées à une immersion en eau froide et à une cryostimulation-cryothérapie en corps entier : effets sur la récupération après un exercice musculaire :**

L'article de (Hausswirth C. , Bieuzen, Barbiche, & Brisswalter, 2010) examine l'efficacité de différentes méthodes de récupération, notamment l'immersion en eau froide, l'immersion contrastée (chaud-froid) et la cryothérapie en corps entier (CCE). Les chercheurs concluent que l'immersion en eau froide et contrastée est particulièrement bénéfique après des exercices de musculation ou à forte contrainte énergétique. En revanche, l'immersion en eau chaude n'est pas unanimement recommandée, surtout après un effort anaérobie. Concernant la CCE, bien que peu d'études existent, elle semble avoir des effets positifs sur l'inflammation, le statut antioxydant et l'humeur. Les auteurs soulignent toutefois la nécessité de recherches supplémentaires pour mieux évaluer son impact sur la récupération des athlètes.

➤ **L'immersion en eau froide comme stratégie de récupération musculaire chez les joueurs de basketball professionnels pendant la saison compétitive :**

L'étude de (Seco, Mielgo-Ayuso, Lobo, & Córdova, 2019), analyse l'effet de l'immersion en eau froide sur la récupération musculaire des joueurs de basketball professionnels tout au long d'une saison.

Méthodologie : 28 joueurs ont été divisés en deux groupes (immersion en eau froide vs. contrôle). Des marqueurs musculaires, la résistance isocinétique et la perception de l'effort ont été évalués à différents moments de la saison.

Résultats : L'immersion en eau froide, appliquée après les matchs et entraînements, a montré des effets positifs sur la récupération musculaire et la réduction des dommages musculaires.

➤ **Effet de la durée de l'hydrothérapie contrastée sur la récupération des performances de course :**

L'étude de (Versey, Halson, & Dawson, 2011) analyse l'effet de l'hydrothérapie contrastée (IECT) sur la récupération après une course à haute intensité et examine une éventuelle relation dose-réponse.

Méthodologie : Dix coureurs entraînés ont effectué un contre-la-montre de 3000 m suivi d'intervalles de  $8 \times 400$  m, puis ont testé quatre protocoles de récupération :

L'IECT pendant 6, 12 ou 18 minutes (alternance eau chaude à 38°C et eau froide à 15°C). Repos assis (groupe contrôle). Un second contre-la-montre de 3000 m a été réalisé 2 heures plus tard.

Résultats : L'immersion contrastée de 6 minutes (l'IECT6) a amélioré la performance lors du second contre-la-montre, mais les durées plus longues (12 et 18 min) n'ont pas montré de bénéfices supplémentaires. L'étude conclut qu'il n'existe pas de relation dose-réponse claire entre la durée de l'IECT et la récupération de la performance, notamment en conditions froides.

➤ **Récupération par immersion dans l'eau pour les athlètes : effet sur la performance physique et recommandations pratiques :**

L'article de (Versey, Halson, & Dawson, 2013) est une méta-analyse examinant les protocoles d'immersion dans l'eau utilisés pour la récupération post-exercice, leurs effets

sur la performance et leurs applications pratiques pour les athlètes. La majorité des études portent sur l'immersion en eau froide (IEF) et l'immersion contrastée (IECT). Ces deux méthodes peuvent améliorer la récupération physique si elles sont bien appliquées, mais il n'existe pas de consensus clair sur la plus efficace. Peu d'études ont exploré l'immersion en eau chaude (IEC) et l'immersion en eau tempérée (IET). Les données actuelles sont insuffisantes pour confirmer leur efficacité sur la récupération. L'étude souligne donc l'efficacité potentielle de l'IEF et l'IECT tout en mettant en avant le besoin de recherches supplémentaires pour comparer ces techniques et évaluer l'impact de l'IEC et l'IET.

➤ **La contribution du sauna au professionnalisme sportif :**

L'article publié en 2014 par (Manssouria, 2014), avait pour but d'examiner l'impact du sauna chez le sportif professionnel. En compilant et en analysant les résultats de plusieurs études, le chercheur a conclu qu'une utilisation appropriée et bien maîtrisée du sauna peut favoriser la récupération et améliorer la performance sportive.

➤ **Effet du sauna post-exercice sur la performance d'endurance des coureurs masculins de compétition :**

L'article publié en 2007 par (scoon, william, Simon, & James , 2007). Leur objectif est d'étudier les performances d'endurance de six coureur de fond après une période d'adaptation au sauna immédiatement après les séances d'entraînement. Ils ont conclu que 3 semaines de sauna post exercice a permis d'améliorer les performances de la course d'endurance probablement en augmentant le volume sanguin.

➤ **Effets du bain de sauna après l'exercice sur la récupération de la performance en natation**

L'article publié en 2019 par (Skorski, et al., 2020). visait à analyser les effets aigus du sauna après une séance d'entraînement intensive sur la récupération des performances en natation. Vingt nageurs et triathlètes de compétition (3 femmes et 17 hommes) ont participé à l'étude. Les résultats ont montré une diminution significative des performances après l'utilisation du sauna, suggérant que cette méthode pourrait ne pas être bénéfique pour une récupération immédiate après un effort intense.

➤ **Les effets d'un bain de sauna après l'exercice sur la performance sur 5 et 10 km chez des athlètes de tracking de niveau universitaire :**

L'étude de cas de (Dahlquist, Brad , James, & Michael, 2023) qui vise a déterminé si un bain de sauna après l'exercice pouvait augmenter la performance des athlètes d'athlétisme de niveau universitaire concourant dans des environnements tempérés ainsi que chauds et humides. Conclusions : Le sauna après l'exercice pourrait être une méthode pratique et rapide pour améliorer les performances des athlètes d'athlétisme lors d'épreuves de 5 et 10 km dans des conditions tempérées et chaudes.

## **9. Critique des études similaires :**

Les recherches couvrent plusieurs moyens de récupération (immersion en eau froide, eau contrastée, cryothérapie, sauna, massages) et différents sports (football, natation, athlétisme, rugby, basketball). Cette diversité permet d'examiner les effets des méthodes de récupération dans des contextes variés. Toutefois, les protocoles, la population étudiée et les critères d'évaluation diffèrent, rendant difficile une comparaison directe des résultats.

La plupart des études analysées impliquent un faible nombre de participants (entre 8 et 28 athlètes). Cette limitation réduit la puissance statistique et la généralisation des résultats. Certaines études mesurent la récupération immédiatement après l'effort (J0), tandis que d'autres l'évaluent sur plusieurs jours (J1, J2, J3, 24h, 48h). De plus, les durées et températures des bains varient considérablement, ce qui peut influencer les résultats.

Les études utilisent des marqueurs variés tels que la perception de la fatigue (échelles visuelles, questionnaires), des tests de performance (RSA, saut vertical, course 5-10 km) et des indicateurs physiologiques (fréquence cardiaque, test de Ruffier-Dickson). Cette diversité est intéressante, mais le manque de standardisation complique l'interprétation globale.

La plupart des études (Oletchia, 2014) et (Setaouti, Khiat, & Kasmi, 2021) confirment son efficacité pour réduire la fatigue et restaurer la performance après l'effort.

Pour l'IECT, les résultats sont plus mitigés. (Elias, Victoria L, Matthew C , Michael J, & Robert J. , 2013) montre que l'IECT est moins efficace que l'IEF pour la récupération des footballeurs. (Versey, Halson, & Dawson, 2011) observe une amélioration de la performance après un protocole court (6 min), mais pas pour des durées plus longues. (Jaili, 2014) indique que la CCE offre une récupération perçue plus durable par rapport au CWI, mais les effets sur la performance restent incertains. (Hauswirth C. , Bieuzen, Barbiche, & Brisswalter, 2010) rapporte des bénéfices similaires entre l'IEF et la CCE, en particulier

après des exercices à forte contrainte énergétique. (Skorski, et al., 2020) trouve que le sauna diminue la performance des nageurs après un entraînement intense. (Dahlquist, Brad , James, & Michael, 2023) montre au contraire une amélioration des performances sur 5 et 10 km après un bain de sauna.

Ces différences peuvent être dues à la nature des efforts (exercice anaérobie vs. aérobie), aux adaptations physiologiques et aux conditions environnementales.

Les études suggèrent que l'immersion en eau froide est globalement efficace pour la récupération musculaire et la performance, tandis que le sauna semble avoir des effets plus variables selon la discipline et l'environnement. L'hydrothérapie contrastée et la cryothérapie nécessitent davantage d'investigations pour établir des recommandations optimales. La standardisation des protocoles et l'augmentation des échantillons seraient des pistes d'amélioration pour les futures recherches.

## **10. Conclusion :**

En guise de conclusion à cette présentation, nous pouvons dire que cette étude nous enrichira scientifiquement espérons-le, car le processus de la récupération est important dans la vie du sportif. Une bonne récupération permet aux footballeurs d'enchaîner dans les meilleures conditions les entraînements quotidiens, réduisant ainsi les risques de surmenage responsable d'apparition de fatigue. Ce processus nécessite plusieurs travaux afin de pouvoir cerner toute ses facettes et notre analyse s'appuie sur une lecture approfondie de ces études similaires afin de rationaliser quelques éléments permettant de comprendre et de comparer notre étude à celles déjà abordé par d'autres chercheurs, dans la perspective d'une analyse thématique.

# **Coté théorique de la recherche**

**Chapitre 1 :**  
**L'entraînement**  
**sportif**

## 1. Définition :

Pour LAROUSSE : "S'entraîner, c'est se préparer à une compétition".

**Monneret** estime que l'entraînement est un ensemble méthodique d'exercices généraux et spéciaux, collectifs et individuels ainsi que des règles de vie à amener dans une discipline particulière. Il se différencie de l'éducation physique ou de l'activité ludique vu qu'elles visent presque exclusivement la santé ou le plaisir de se dépenser physiquement. Sa justification se trouve dans la compétition ou l'émulation en vue de la compétition.

Selon **Jakoulev** l'action physiologique de l'entraînement est un complexe de changement fonctionnel et structurel et biochimique positif qui se crée dans l'organisme sous l'effet d'un travail musculaire répété dont les efforts imposés vont en augmentant. (bouzid, 2009, p. 51)

**Platonov** voit que l'entraînement sportif comprend l'ensemble des tâches qui assurent une bonne santé, une éducation, un développement du physique harmonieux, une maîtrise technique et tactique et un haut niveau de l'amélioration des qualités spécifiques. C'est le reflet d'une adaptation biologique générale de l'organisme. On distinguera l'entraînement général qui améliore les possibilités fonctionnelles générales de l'entraînement spécifique qui permet un perfectionnement dans un domaine spécifique. (Platonov, 1984)

On voit que plusieurs chercheurs ont fourni des définitions de l'entraînement sportif, mais la notion la plus précise de l'entraînement sportif est fournie par **Matveiev** 1972, qui entend par là tout ce qui comprend la préparation physique, technique, tactique, intellectuelle et morale de l'athlète à l'aide d'exercices physiques. (Weineck, 2005)

De notre part et sur la base de ces différentes définitions, nous considérons l'entraînement sportif comme un processus méthodique amenant l'organisme du sportif à une adaptation (structurelle/fonctionnelle, aigue/chronique) lui permettant de développer les capacités sportives et réaliser une bonne performance motrice.

## 2. Contenu de l'entraînement sportif de football :

L'entraînement a pour but de développer les capacités requises et de rechercher la plus grande cohérence entre elles en fonction de la spécialité et des particularités individuelles.

Pour s'acquitter au mieux de cette tâche complexe, l'entraîneur n'a pas d'autre solution que d'élaborer un plan qui lui sert de cadre de référence et d'autorité.

Etant donné que la pratique d'exercices et l'activité principale du processus d'entraînement en ce qui concerne la capacité de performance, les différentes formes d'exercices sont à la base de la programmation de l'entraînement sportif. C'est de leur choix judicieux que dépend l'ampleur et la rapidité de l'amélioration de la capacité de performance. Ce choix des différentes formes des exercices obéit aux principes de finalité, d'économie et d'efficacité. On distingue :

- Les exercices de développement général.
- Les exercices spécifiques.
- Les exercices de compétition. (Weineck, 2005, pp. 17-18)

Le contenu de l'entraînement sportif est surtout formé par les actions de mobilité. Leur tâche consiste à influencer l'organisme du joueur dans sa totalité, mais également dans sa diversité, et à stimuler des développements qui mènent à une amélioration de ses performances sportives. La permanence et la systématique de l'entraînement sportif exigent que soient établies certaines étapes et subdivisions fondamentales. Chacune de ces subdivisions revêt des tâches d'une grande importance pour l'accomplissement du jeu. Les rapports entre les subdivisions de l'entraînement sportif sont modifiés proportionnellement à la performance des joueurs, la période d'entraînement et les faiblesses qui ont pu être décelées. Le contenu de l'entraînement sportif en football peut être réparti comme suit :

- La préparation technique.
- La préparation tactique.
- La préparation physique.
- La préparation psychologique.
- La préparation théorique. (Adda, 2011)

### **3. Buts de l'entraînement :**

Le but de l'entraînement est de maîtriser l'apparition et le maintien de la forme sportive. Son déroulement sera en grande partie déterminé par le calendrier des principales compétitions.

La planification de l'entraînement donc consiste à organiser les charges d'entraînement à court, moyen et long terme de façon cohérente, en respectant les principes d'entraînement,

et notamment le principe de la périodicité des charges. Elle consiste à structurer l'entraînement de façon rationnelle, en maîtrisant l'alternance phase de travail en volume, en intensité et phase de récupération en vue d'assurer la progression, tout en évitant le surentraînement.

#### **4. Les objectifs de l'entraînement :**

Les objectifs d'un processus d'entraînement systématiquement programmé peuvent être des capacités, des habilités, des qualités des attitudes mentales, etc. on distingue :

- Les objectifs psychomoteurs.
- Les objectifs cognitifs.
- Les objectifs psychologiques. (Weineck, 2005, p. 17)

#### **5. Les moyens de l'entraînement :**

Se sont tous les moyens et toutes les mesures mise en œuvre dans les moyens **organisationnels** (ex : dispositifs de travail), **matériels** (ex : poids et haltères), et les moyens d'**information** (ex : information verbale : séries d'image ; information kinesthésique : aide pour la perception exacte de mouvement). Les moyens d'entraînement sont constamment ajustés aux contenus dont ils permettent l'exécution.

#### **6. Les méthodes d'entraînement :**

Elles correspondent le plus souvent à des démarches appliquées systématiquement à la pratique sportive pour parvenir à certains objectifs. Ex : l'objectif d'entraînement est "l'endurance de base" se développe avant tout par la méthode de la course de longue durée.

Un exemple final emprunté à la pratique sportive, illustrera l'interdépendance étroite en même temps que la spécificité de ces quatre éléments pour la programmation du processus d'entraînement. L'**objectif** de "la force maximale des extenseurs du genou" s'atteint à travers **le contenu d'entraînement** "flexion du genou" avec l'aide d'un **moyen d'entraînement** "la barre à disque" en appliquant la **méthode de répétition**. (Weineck, 2005, p. 18)

En résumé, ce chapitre introductif met en lumière les défis auxquels sont confrontés les footballeurs de haut niveau, notamment la gestion des charges d'entraînement et de compétition, ainsi que l'importance cruciale de la récupération pour maintenir les

performances et prévenir les blessures. Il souligne que la fatigue, qu'elle soit d'origine musculaire, métabolique ou nerveuse, est un phénomène multifactoriel nécessitant une approche globale pour être maîtrisée. Le chapitre suivant se concentrera sur l'équilibre complexe entre la charge d'entraînement, la fatigue qu'elle génère et la performance qui en résulte. Nous explorerons les mécanismes physiologiques et psychologiques qui sous-tendent cette relation, en examinant comment une charge d'entraînement bien dosée peut stimuler des adaptations positives, tandis qu'un déséquilibre peut entraîner une baisse de performance ou des blessures.

**Chapitre 2 :**  
**L'équilibre charge,**  
**fatigue, performance**

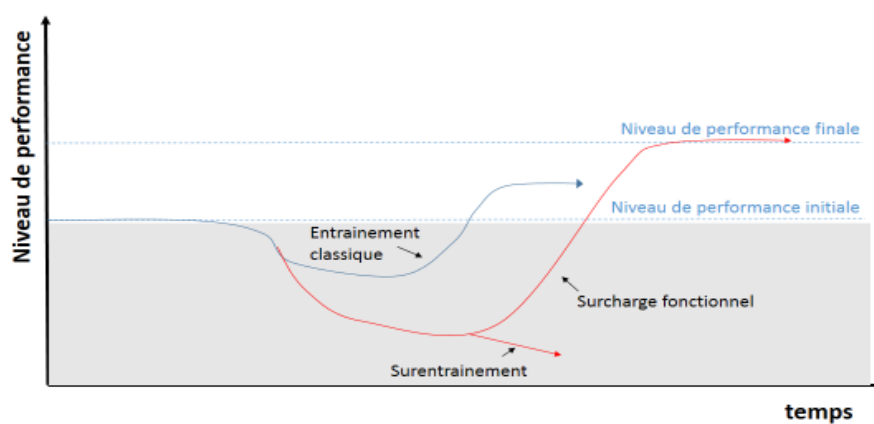
## **1. Gestion de la charge d'entraînement, fatigue et performance :**

L'objectif principal de l'encadrement technique d'un athlète est de structurer et de planifier de manière stratégique les phases d'entraînement, les compétitions et les périodes de récupération. Cette organisation a pour but d'optimiser les performances en développant efficacement les capacités physiques, physiologiques, techniques et psychologiques, tout en protégeant la santé et le bien-être du sportif (Bompa & Haff, 2009). Les aspects nutritionnels et psychologiques prennent une importance croissante dans la préparation sportive, tout comme la récupération, qui fait l'objet d'une attention particulière. Cependant, une récupération mal gérée, appliquée sans précision ou avec des méthodes inappropriées, peut s'avérer inefficace, voire contre-productive. Ce chapitre a pour objectif d'explorer les concepts fondamentaux de charge, de fatigue et de performance, ainsi que leurs mécanismes dans le contexte de l'entraînement sportif. Si la pratique régulière d'une activité physique offre de nombreux avantages pour la santé, notamment en favorisant des adaptations physiologiques positives, la pratique d'un sport à haut niveau impose des exigences spécifiques. Celles-ci incluent une charge d'entraînement élevée, une pression individuelle intense, des facteurs de stress multiples et des répercussions importantes sur la vie personnelle. (Moussa, 2020)

L'entraînement consiste à soumettre l'athlète à un stress physiologique et/ou psychologique dans le but de perturber l'équilibre interne (homéostasie) de ses systèmes physiologiques et cognitifs. Cet équilibre peut être analysé à travers divers aspects, tels que le métabolisme, le système neuromusculaire, le système cardiovasculaire ou les hormones. Face à cette perturbation, souvent appelée « stress », l'organisme réagit en mettant en œuvre des adaptations, c'est-à-dire des modifications morphologiques et fonctionnelles au niveau des cellules, des organes et des systèmes physiologiques concernés. Parmi ces adaptations, on observe notamment une augmentation de la masse musculaire, une transformation de la composition protéique des muscles ou une augmentation de la densité mitochondriale. Ces changements physiologiques permettent à l'organisme de s'adapter et de mieux supporter le stress imposé, ce qui se traduit, à terme, par une amélioration des performances physiques. (Borresen & Lambert, 2008) (Virus & Virus, 2000)

Le syndrome général d'adaptation, conceptualisé par Selye (1956) dans sa théorie du stress, décrit l'ensemble des réactions de l'organisme face à des stimuli variés et non spécifiques, appelés stresseurs ou agents stressants. Ces stimuli, de nature nociceptive (au sens large),

perturbent l'équilibre interne (homéostasie) de l'organisme. Le stress regroupe à la fois ces stimuli et les réponses physiologiques et comportementales qu'ils engendrent, ces réponses étant généralement non spécifiques. Par commodité, le terme « stress » est souvent employé pour désigner soit le stimulus stressant, soit la réponse physiologique ou comportementale, soit les trois à la fois. Lorsqu'un agent stressant active l'hypothalamus, il déclenche le syndrome général d'adaptation, qui se déroule en deux, voire trois phases distinctes : la phase d'**alarme**, la phase de **résistance** et, si le stress persiste, la phase d'**épuisement**, comme illustré dans la **figure1**. (Bompa & Haff, 2009)



*Figure 1: illustration du modèle d'adaptation général de Selye*

Selye définit un agent stresseur comme tout stimulus persistant et anormal (choc traumatique, brûlure, froid, etc.) qui force l'organisme à rétablir son équilibre homéostatique. Selon lui, le Syndrome général d'adaptation se décompose en trois phases distinctes :

- **La réaction d'alarme** : Il s'agit des réactions non spécifiques déclenchées par une exposition soudaine de l'organisme à un facteur nocif. Cette phase comprend deux étapes :
  - **Le choc** (tachycardie, baisse du tonus musculaire).
  - **Le contre-choc** (l'organisme se ressaisit et active des mécanismes de défense).
- **La phase de résistance** : Cette phase correspond aux réactions non spécifiques provoquées par une exposition prolongée à des stimuli nocifs, auxquels l'organisme s'est partiellement adapté lors de la réaction d'alarme. Les mécanismes de défense activés pendant le contre-choc persistent et s'intensifient.
- **La phase d'épuisement** : C'est la phase finale où l'organisme cesse de résister. Les défenses s'effondrent, ce qui peut entraîner des conséquences graves, voire la mort.

Au cours de ces trois phases, l'organisme mobilise le système nerveux et le système endocrinien pour faire face à la situation stressante.

Proposé en 1956 par Selye, le syndrome d'adaptation général offre un modèle théorique pour comprendre les processus d'adaptation de l'être humain face à différents types de stress. Ce modèle a ensuite été adapté et appliqué dans le domaine de l'entraînement sportif pour expliquer comment l'organisme s'adapte aux charges de travail et aux stress induits par l'effort physique. (Bompa & Haff, 2009) (Meeusen, et al., 2013)

Le stress généré par l'entraînement déclenche dans un premier temps un « **état d'alerte** », qui affecte négativement l'organisme en réduisant son équilibre homéostatique de base et, par conséquent, ses performances (Zone grise, Figure 1). Cet état d'alerte prend fin lorsque l'organisme dispose d'un temps suffisant pour retrouver son équilibre homéostatique initial. Dans une deuxième phase, appelée « **état de résistance** », l'organisme développe des adaptations physiologiques lui permettant de mieux tolérer, à l'avenir, un stress similaire, introduisant ainsi le concept de **surcompensation** (Zone blanche, Figure 1). La surcompensation résulte à la fois du travail effectué pendant l'entraînement et des processus adaptatifs mis en place par l'organisme. (Bompa & Haff, 2009) Cependant, si le stress dépasse la capacité d'adaptation de l'organisme, il entraîne un **état de fatigue**, dont la durée dépend de l'ampleur du déséquilibre créé. Il est important de souligner une limite majeure de ce modèle : quel que soit le type de stress lié à l'exercice, celui-ci provoque une réponse physiologique similaire, dont l'intensité est proportionnelle à celle du stress appliqué. (Chiu & Barnes , 2003)

Les premières recherches sur la modélisation de la performance humaine ont été menées en 1975 par Eric Banister. Selon lui, un entraînement génère un stress, appelé « **impulsion d'entraînement** » ou **TRIMP** (Training Impulse), qui produit deux effets distincts : un effet positif et un effet négatif. L'effet positif, appelé « **condition physique** » ou **fitness**, correspond à l'amélioration des capacités fonctionnelles de l'organisme. L'effet négatif, appelé « **fatigue** », représente l'altération temporaire des capacités physiologiques. Ces deux effets sont combinés pour déterminer une valeur globale de « **forme** ».

**Banister** suggère que les réponses physiologiques de l'organisme dépendent directement du type d'entraînement effectué. La performance du sportif résulte alors de la différence entre l'effet positif (fitness) et l'effet négatif (fatigue) induits par l'entraînement (voir **Figure2**). Après un exercice, Banister explique que la fatigue est intense mais de courte durée (jusqu'à 15 jours), tandis que l'effet positif sur les capacités physiologiques, bien que moins marqué, persiste plus longtemps (jusqu'à 45 jours). Ainsi, les performances sont

d'abord réduites à court terme, puis augmentent progressivement au-delà de leur niveau initial sur le long terme. (Avalos, Hellard , & Chatard , 2003)

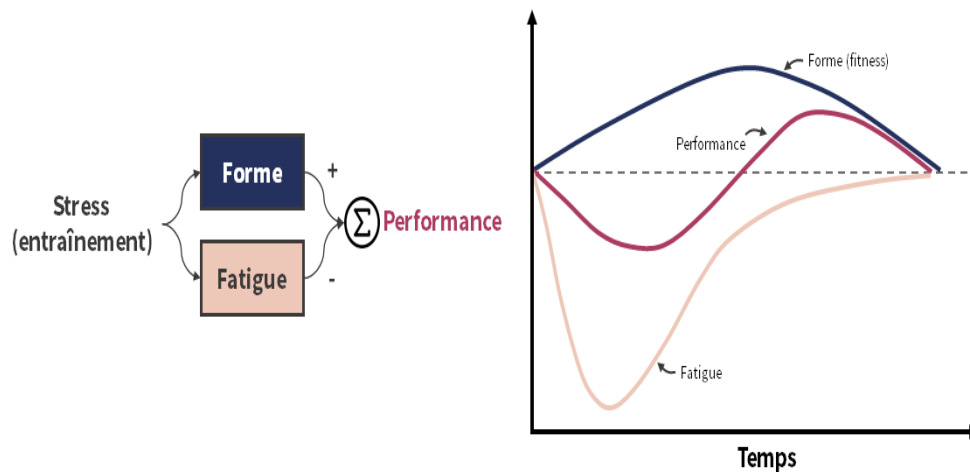


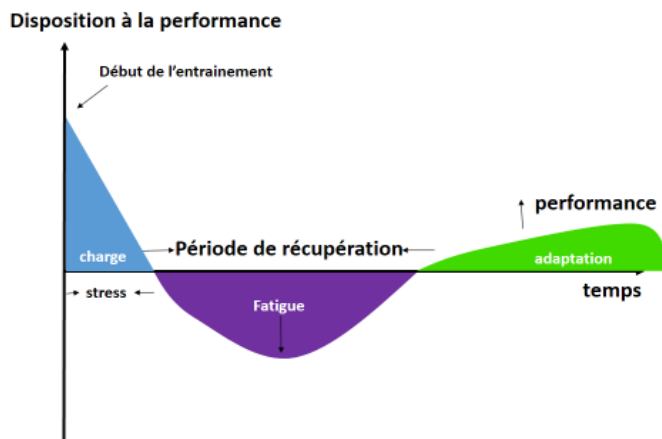
Figure 2: illustration du modèle de Bannister, simplifié par (Morton, 1997)

En s'appuyant sur les modèles précédents, Chiu et Barnes (2003) proposent une approche plus complète en considérant que l'exercice stimule **plusieurs systèmes physiologiques** de manière simultanée. La somme des réponses positives de ces systèmes correspond à l'**état de forme** (fitness) de l'athlète. Parallèlement, l'exercice affecte également plusieurs systèmes physiologiques de manière négative : la somme de ces réponses négatives définit l'**état de fatigue**. Ainsi, la performance globale de l'athlète résulte de l'équilibre entre ces deux composantes – la forme et la fatigue –, chacune étant influencée par les adaptations et les perturbations induites par l'entraînement. (Chiu & Barnes , 2003)

À l'image du modèle de Bannister (1991), le **cycle de charge-fatigue** peut être représenté de la manière suivante (**Figure 3**) :

- 1) La nature, la durée et l'intensité du **stress de l'entraînement** affectent des systèmes physiologiques différents,
- 2) Par conséquent, la **perturbation des systèmes physiologiques** diminue une ou plusieurs capacités physiologiques de l'athlète, affaiblissant transitoirement l'**état de forme** de l'athlète,
- 3) De manière concomitante, l'**état de fatigue** de l'athlète augmentera, également transitoirement, suite à la déstabilisation de ses systèmes physiologiques,
- 4) Le retour de la **disposition à la performance** à sa valeur initiale sera alors dépendant de l'évolution de l'état de forme et de l'état de fatigue,
- 5) Dès la fin de l'exercice, des **processus adaptatifs spécifiques** se mettent en place. Ces adaptations sont bénéfiques pour l'état de forme de l'athlète, lui permettant de mieux tolérer

un stress similaire à l'avenir sans perturber l'équilibre homéostatique de son organisme. Grâce à ces adaptations, la **disposition à la performance** de l'athlète s'améliore, ce qui lui permet de supporter un stress plus intense (phénomène de **surcompensation**). Cette augmentation progressive du stress stimule de nouvelles adaptations, qui sont à l'origine de l'amélioration continue de ses capacités de performance. Ainsi, la surcompensation joue un rôle clé dans l'optimisation des performances à long terme.



*Figure 3: Schéma simplifié des interactions entre charge, fatigue et performance*

Pour répéter un exercice équivalent au précédent en termes d'intensité et de durée, l'organisme a besoin d'une période de temps suffisamment longue pour retrouver ses valeurs homéostatiques de repos. Ce retour à l'équilibre définit la **récupération**, et la durée nécessaire correspond à la **période de récupération**.

Lorsque la relation entre l'entraînement et la récupération est déséquilibrée, des symptômes de fatigue apparaissent et la performance diminue. Cette situation, caractérisée par un déséquilibre prolongé, est appelée **surmenage**. Elle survient lorsque les phases de récupération sont insuffisantes pour compenser les charges d'entraînement, entraînant une accumulation de fatigue et une baisse des capacités de performance. (Meeusen, Martine, Michael, & Gerard, 2006) Le surmenage est qualifié de **fonctionnel** lorsque, après quelques jours de récupération, on observe une amélioration des performances. Ce phénomène, appelé **surcompensation**, est parfois utilisé comme stratégie pour optimiser les performances en vue d'une compétition importante. Le principe de surcompensation repose sur une **rupture planifiée** d'un entraînement intense, suivie d'une période de récupération qui permet à l'organisme de retrouver son équilibre et d'atteindre un niveau de performance optimal. Ainsi, en dosant judicieusement les phases d'effort et de récupération, il est

possible de maximiser les adaptations physiologiques et d'améliorer les performances à un moment clé. (Kenttä & Hassmen, 1998) Le surmenage est considéré comme **non fonctionnel** lorsque les baisses de performances persistent pendant des semaines, voire des mois. Dans ce cas, la fatigue s'accumule de manière excessive en raison d'un déséquilibre prolongé entre les charges d'entraînement et la récupération. (Meeusen, Martine, Michael, & Gerard, 2006) Ce type de situation peut survenir lorsque les **stress liés à l'entraînement** sont augmentés de manière trop brutale ou excessive, lorsque le retour de blessure de l'athlète est trop précoce, ou encore lorsqu'il enchaîne trop de périodes de compétition sans récupération suffisante. Pour éviter ces épisodes de surmenage non fonctionnel, il est essentiel de manipuler de manière appropriée le **type**, la **durée** et l'**intensité** des entraînements tout au long de la saison. Une planification rigoureuse permet de maximiser les performances tout en les alignant avec les périodes de compétition clés, tout en préservant la santé et la longévité sportive de l'athlète. (Poignard, 2020) La planification systématique de l'ensemble de ces paramètres, associée à la mise en place de périodes de récupération correspond au concept de planification (Plisk & Stone, 2003) Enfin, la **tolérance au stress** induit par l'entraînement varie significativement d'un athlète à l'autre. Cette variabilité dépend des **capacités physiologiques et physiques individuelles**, ainsi que de l'évolution des performances au fil de leur carrière. Chaque athlète possède des limites et des besoins spécifiques en termes de charge d'entraînement et de récupération, qui peuvent changer avec le temps en fonction de facteurs tels que l'âge, l'expérience, l'état de santé et le niveau de fatigue accumulée. Ainsi, une approche individualisée et adaptative est essentielle pour optimiser les performances tout en minimisant les risques de surmenage ou de blessures. (Hauswirth, 2013) Il est donc important de **suivre régulièrement** la réaction d'un athlète aux stress imposés pour évaluer l'efficacité du plan d'entraînement et ajuster les phases d'entraînement, de compétition et de repos. Autrefois, ces ajustements reposaient sur des **observations terrain** par les entraîneurs, dont les décisions étaient souvent empiriques, basées sur leur **expérience personnelle** et leurs **connaissances pratiques**. (Halsen, 2014) Depuis peu, les entraîneurs et les experts de haut niveau utilisent une approche plus scientifique pour les aider à élaborer des programmes d'entraînement et quantifier les réponses des athlètes.

## **2. La charge d'entraînement :**

Pour certains auteurs, la **charge d'entraînement (CE)** représente le stress imposé aux athlètes à travers les séances d'entraînement ou les situations de compétition. En

méthodologie sportive, la charge d'entraînement désigne le **poids du travail** « imposé à et réalisé par » un athlète, avec pour objectif qu'il puisse l'assumer et l'accomplir. Elle est généralement définie par une **unité quantitative de travail**, calculée comme le produit du **volume** (quantité de travail) par l'**intensité** (niveau d'effort). Cette combinaison permet de quantifier et de planifier les efforts pour optimiser les performances tout en évitant le surentraînement. (Ferré & Leroux, 2009) **Weineck** souligne que, pour s'adapter aux exigences du sport de haut niveau, les entraîneurs et préparateurs physiques doivent posséder des **connaissances approfondies** leur permettant de quantifier avec précision la charge d'entraînement pour chaque journée, tout en assurant un suivi hebdomadaire, mensuel et annuel, aussi bien au niveau individuel que collectif.

La relation entre la **charge d'entraînement** et la **capacité de performance** est un phénomène complexe et central dans le processus d'entraînement. En d'autres termes, l'amélioration des performances passe par l'application de **stimuli d'entraînement adaptés**. Cet effet résulte de l'enchaînement suivant :

- 1) **Charge d'entraînement** : Application d'un stress physiologique.
- 2) **Perturbation de l'homéostasie** : Déséquilibre temporaire de l'organisme.
- 3) **Adaptation** : Réponses physiologiques pour rétablir l'équilibre.
- 4) **Amélioration des capacités fonctionnelles** : Renforcement des performances après récupération.

Ainsi, une gestion précise et individualisée de la charge d'entraînement est essentielle pour optimiser les adaptations et maximiser les performances. (Weineck, 2005, p. 18)

## **2.1. Catégories principales de la charge d'entraînement :**

Si le terme **charge d'entraînement** se limite aux activités d'entraînement et de compétition, le terme **charge de travail** englobe une combinaison de facteurs de stress **sportifs** et **non-sportifs**. Cela inclut non seulement l'entraînement et les compétitions, mais aussi des éléments tels que le travail, la vie sociale, la famille, les études, etc., qui peuvent influencer l'état physique et mental du sportif. La charge de travail peut être divisée en deux catégories principales : charge externe et charge interne.

### **2.1.1. Charge externe :**

La **charge externe** correspond au **stimulus externe** appliqué à l'athlète. Elle représente le travail physique, sportif ou non sportif, qui peut être **objectivement mesuré**, comme les efforts réalisés lors des entraînements, des compétitions ou des activités physiques

quotidiennes. Pour quantifier cette charge externe, on utilise des outils tels que des **chronomètres**, des **capteurs GPS**, des **accéléromètres**, des **dynamomètres**, ou d'autres dispositifs technologiques permettant de mesurer des paramètres comme la distance parcourue, la vitesse, la puissance ou l'intensité des mouvements. Ces données objectives aident à évaluer précisément les exigences physiques imposées à l'athlète. (Toumi & Ghennan, 2021) **Weineck** a abordé les **composantes de la charge d'entraînement**, que Letzelter appelle les "**normes de la charge d'entraînement**". Ces normes déterminent à la fois **qualitativement** et **quantitativement** la charge globale et définissent sa spécificité. Elles se divisent en plusieurs éléments clés :

- 1) **L'intensité du stimulus** : Elle correspond au niveau d'effort ou de difficulté de l'exercice.
- 2) **La densité des stimuli** : Elle représente l'espacement entre les efforts ou les séances d'entraînement.
- 3) **La durée du stimulus** : Elle indique la longueur de chaque effort ou séance.
- 4) **Le volume des stimuli** : Il reflète la quantité totale de travail effectué.
- 5) **La fréquence de l'entraînement** : Elle désigne le nombre de séances sur une période donnée.

Ces éléments permettent de structurer et d'adapter la charge d'entraînement pour optimiser les performances tout en minimisant les risques de surentraînement ou de blessures. (Weineck, 2005, pp. 18-19)

### 2.1.2. Charge interne :

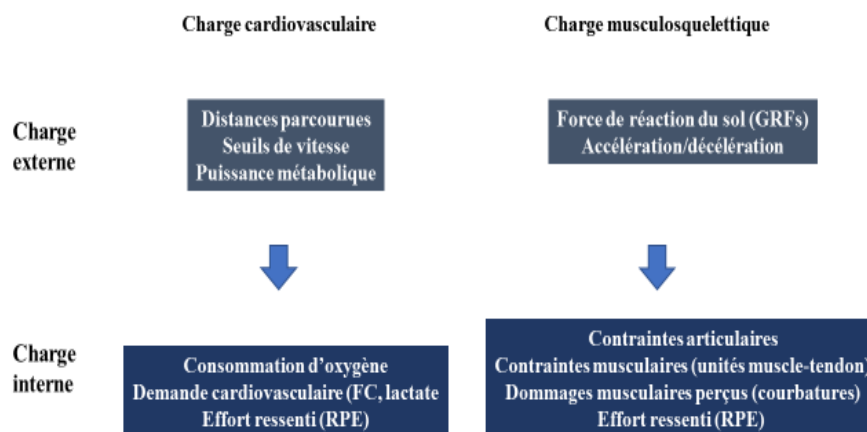
La **charge interne** représente la **réponse psychologique et physiologique** de l'athlète à la charge externe, combinée aux effets des activités quotidiennes et d'autres facteurs environnementaux ou biologiques. Elle est mesurée à l'aide d'indicateurs **objectifs** (comme la fréquence cardiaque, le taux de lactate sanguin) et **subjectifs** (comme la perception de l'effort, ou RPE). Alors que la charge externe permet d'évaluer le travail objectif réalisé par l'athlète et sa capacité de performance, la charge interne est le **moteur des adaptations** – positives ou négatives – provoquées par l'entraînement. Le suivi et l'analyse de la charge interne permettent :

- D'identifier les **besoins individuels de récupération**.
- De prédire les **baisses ou améliorations de performance**.
- D'anticiper les **problèmes de santé**.

➤ D'optimiser les **programmes d'entraînement et de compétition.**

Ainsi, une **gestion efficace de la charge interne** est essentielle pour améliorer les performances tout en préservant la santé et le bien-être des athlètes, constituant la base de tout programme sportif réussi. (Toumi & Ghennan, 2021)

Selon (Vanrenterghem, Nedergaard, & Robinson, 2017) chacune de ces charges (externe et interne) peut elle-même être décomposée en deux parties : une cardiovasculaire et une musculosquelettique (**Figure4**).



*Figure 4: Décomposition de la charge d'entraînement en charge cardiovasculaire et musculosquelettique, ainsi que les différents moyens de mesure associés (adapté d'après...). (Vanrenterghem, Nedergaard, & Robinson, 2017)*

## **2.2. Les principes de la charge d'entraînement :**

L'entraînement sportif repose de plus en plus sur des bases scientifiques. Que nous soyons entraîneurs ou athlètes impliqués dans l'élaboration de notre propre plan d'entraînement, nous cherchons continuellement des techniques pour progresser. Quelle que soit l'activité sportive pratiquée, la charge d'entraînement dépend d'un certain nombre de principes que l'entraîneur doit impérativement prendre en compte dans la programmation de son processus d'entraînement afin d'atteindre ses objectifs.

Les principes fondamentaux de l'entraînement, dont le nombre peut varier selon les auteurs, peuvent être regroupés en quatre grandes catégories :

### **2.3. Principes définissent la charge d'entraînement adaptative :**

#### **2.3.1. Principe de l'efficacité de stimulus de la charge d'entraînement :**

Le principe d'efficacité du stimulus stipule que la charge d'entraînement doit dépasser un certain seuil pour induire une amélioration des capacités de performance. Ce seuil varie en fonction du niveau d'entraînement de l'athlète.

Par exemple, dans le développement de la force musculaire, un sujet non entraîné doit être soumis à un stimulus correspondant à au moins **30 % de sa force maximale isométrique**, tandis qu'un athlète bien entraîné doit travailler à plus de **70 % de sa force maximale** pour continuer à progresser.

#### **2.3.2. Principe de la charge d'entraînement personnalisée :**

Le principe de la charge d'entraînement personnalisée repose sur l'utilisation de stimuli adaptés au seuil de résistance physique et psychique de l'athlète, en tenant compte de son degré de tolérance et de ses besoins individuels.

Un même stimulus d'entraînement peut être insuffisant pour un athlète tout en étant excessif pour un autre. Ainsi, une méthode d'entraînement qui convient à l'un peut représenter une contrainte excessive pour un autre.

La **typologie musculaire** de l'athlète joue également un rôle clé dans cette adaptation : les charges d'entraînement doivent être ajustées en fonction du profil du sportif, qu'il soit sprinter, spécialiste d'endurance ou de type intermédiaire.

#### **2.3.3. Principe de la charge d'entraînement progressive (croissante) :**

Le principe de la charge d'entraînement progressive repose sur l'interaction entre la charge de travail, l'adaptation de l'organisme et l'amélioration des performances. Il implique une augmentation régulière des exigences liées à la condition physique, aux coordinations motrices, à la technique, à la tactique, aux capacités intellectuelles et à la volonté.

Si la charge d'entraînement reste constante trop longtemps, elle cesse d'avoir un effet sur l'amélioration des performances, ne respectant plus ainsi le **principe d'efficacité du stimulus**. Dans ce cas, elle permet uniquement de maintenir le niveau de performance atteint, sans favoriser de progression.

Il est donc essentiel d'augmenter la charge d'entraînement à intervalles réguliers, en tenant compte de plusieurs facteurs : **l'âge chronologique** (âge civil), **l'âge biologique** (niveau réel de développement physiologique), **la durée d'entraînement** (temps écoulé depuis le début d'un entraînement structuré) et **le niveau de performance déjà atteint**.

➤ **Éléments de l'augmentation de la charge d'entraînement :**

- **Augmentation du volume et de l'intensité** : La charge d'entraînement doit progresser à la fois en volume et en intensité. En général, l'augmentation du volume précède celle de l'intensité afin de permettre une adaptation progressive de l'organisme.
- **Exigences accrues en matière de coordination motrice** : L'amélioration des performances passe par le développement des capacités de coordination, aussi bien de manière générale que dans une discipline spécifique. Cela se traduit par l'introduction d'exercices moteurs plus complexes, de séquences d'enchaînements exigeant une plus grande concentration, ainsi qu'une maîtrise accrue des aspects techniques et tactiques du sport pratiqué.
- **Augmentation du nombre ou du niveau des compétitions** : La compétition représente la forme d'effort la plus spécifique, mobilisant pleinement les capacités fonctionnelles et la maîtrise technique de l'athlète. Une progression adaptée du calendrier compétitif, exploitant au maximum les réserves physiques et psychiques du sportif, contribue directement à l'amélioration du niveau d'entraînement.

➤ **Modalités d'augmentation de la charge d'entraînement :** Elle garantit l'efficacité de l'entraînement en s'adaptant à l'âge d'entraînement, au niveau de performance et au type de progression visé. On distingue trois modes d'augmentation de la charge d'entraînement : progressif, par à-coups et variable.

**2.3.4. Principe de la succession judicieuse de la charge d'entraînement :**

Le principe de la succession judicieuse des charges d'entraînement est particulièrement important pour les séances visant le développement simultané de plusieurs facteurs déterminants de la performance :

- En début de séance, les exercices nécessitant un état de détente physique et psychique pour être efficaces doivent être prioritaires. Ils exigent ensuite une récupération complète. Par exemple, les exercices de coordination et de vitesse doivent être réalisés avant les exercices de force.
- Viennent ensuite les exercices dont l'efficacité repose sur une récupération incomplète, comme les exercices d'endurance-vitesse ou d'endurance-force.
- Enfin, la séance se termine par les exercices destinés au développement de l'endurance.

### 2.3.5. Principe d'augmentation de charge variable :

À partir d'un certain niveau de performance, l'augmentation variable de la charge devient une condition essentielle pour continuer à progresser. De la même manière qu'une augmentation soudaine de la charge d'entraînement, cette variabilité vise à provoquer des modifications inhabituelles de l'homéostasie, déclenchant ainsi de nouveaux processus adaptatifs dans l'organisme du sportif.

La charge variable peut se manifester par **une modification de la vitesse d'exécution du mouvement, l'ajout d'une charge supplémentaire, ou l'altération du rapport entre charge et récupération**, entre autres. Elle est particulièrement utile lorsque l'augmentation continue de la charge ne permet plus d'améliorer la performance, lorsque la forme sportive doit être maintenue à un niveau élevé sur une longue période, ou encore lorsqu'il s'agit d'optimiser plusieurs pics de performance au cours de la saison.

### 2.3.6. Principe de l'alternance de la charge d'entraînement :

Ce principe joue un rôle essentiel dans les disciplines complexes où interviennent plusieurs facteurs physiques, comme le décathlon en athlétisme. Chaque facteur de performance doit être développé de manière optimale et économique, tout en tenant compte de **l'hétérochronie de la récupération**.

Cela signifie que les différentes charges d'entraînement (force, endurance, coordination, etc.) affectent l'organisme de manière distincte, avec des amplitudes et des durées de récupération variables selon le type de sollicitation. Par exemple, un entraînement d'endurance puise principalement dans les réserves de glycogène des muscles impliqués,

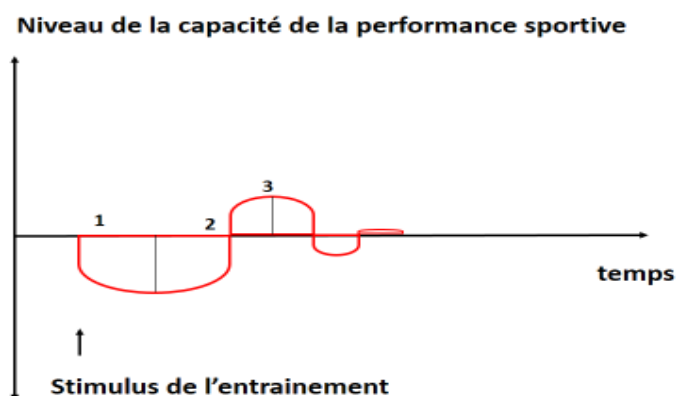
nécessitant un temps de repos suffisant pour leur régénération et le retour à un niveau de performance optimal.

En revanche, si l'on sollicite une autre fonction physiologique pendant cette phase de récupération, comme la force maximale, l'organisme supportera mieux cette charge que s'il devait répéter un effort de même nature que le précédent. Ainsi, une **alternance judicieuse des charges** permet d'augmenter progressivement le volume et l'intensité de l'entraînement tout en optimisant l'adaptation de l'athlète.

### 2.3.7. Rapport optimale entre charge et récupération :

Le processus d'évolution des adaptations induites par l'entraînement se déroule en plusieurs phases. On distingue principalement **la phase de charge** (ou phase de travail) et **la phase de récupération**, qui inclut le mécanisme de surcompensation.

Comme l'illustre la **figure 5**, une charge d'entraînement entraîne d'abord **une baisse temporaire de la capacité de performance sportive** (due à la diminution du potentiel énergétique). Cette phase est ensuite suivie d'une récupération progressive, menant à une amélioration des performances au-delà du niveau initial. Ce phénomène correspond au **stade de surcompensation**, un élément clé de l'adaptation et de la progression athlétique.

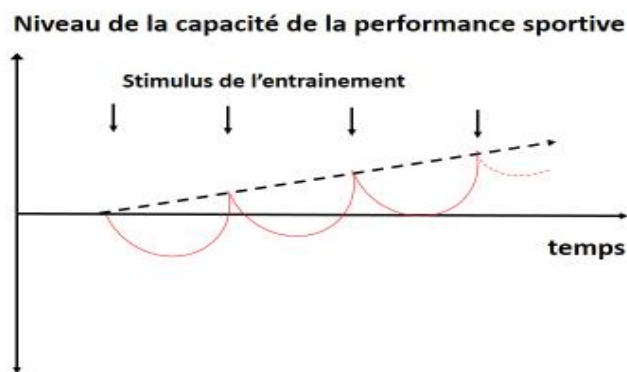


*Figure 5: Phases d'évolution de la capacité de performance après un stimulus d'entraînement. 1. Phase de baisse de la capacité de performance ; 2. Phase de remontée de la capacité de performance ; 3. Phase de surcompensation, c'est à dire élévation de la capacité de performance sportive.*

Le terme "**surcompensation**" est aujourd'hui couramment utilisé dans des contextes qui s'éloignent de son sens initial. À l'origine, il désigne l'**augmentation du potentiel énergétique induite par l'entraînement**, se traduisant par une élévation des réserves d'énergie musculaires et hépatiques, ainsi qu'une augmentation du taux de glycogène intracellulaire.

Cependant, dans la pratique sportive, cette notion est souvent étendue à d'autres domaines, comme l'**amélioration neuromusculaire**, l'optimisation des processus de contrôle et de régulation nerveuse dans l'entraînement de la vitesse, ou encore l'accroissement de l'amplitude articulaire lors du travail de la souplesse. Cette interprétation, bien que répandue, est **erronée d'un point de vue physiologique** et prête à confusion. Il serait donc préférable d'éviter son emploi dans ces contextes.

En l'absence de nouvelles charges d'entraînement, la capacité de performance retourne progressivement à son niveau initial. En revanche, si de nouvelles charges sont appliquées dans un ordre optimal, la performance sportive peut continuer à s'améliorer (**figure 6**).

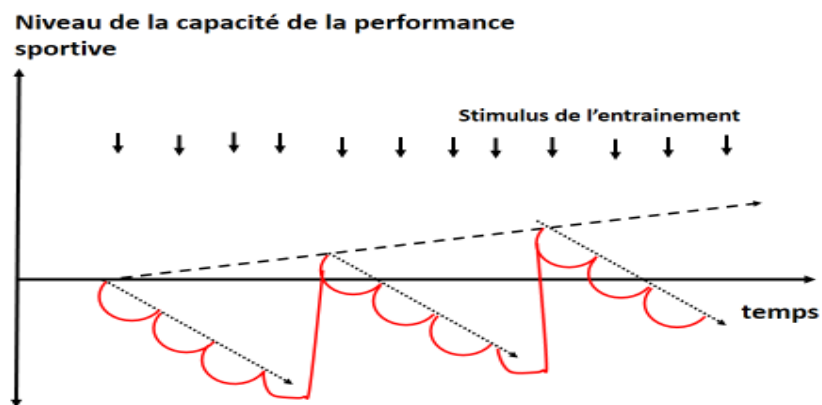


*Figure 6 : amélioration de la performance sportive sous l'effet des stimuli d'entraînement optimaux.*

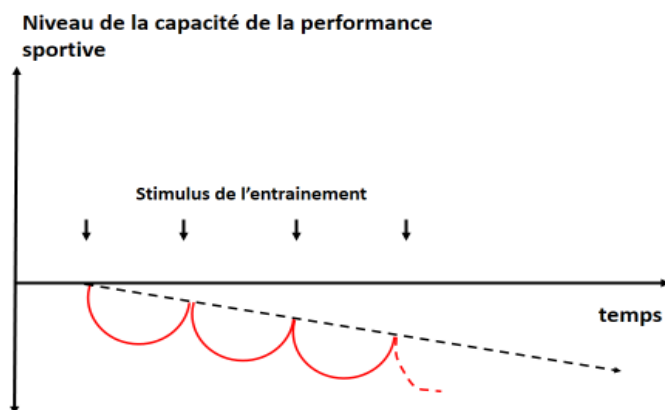
Si de nouvelles charges d'entraînement sont appliquées durant une phase de récupération incomplète, elles induisent **un effet de cumul**. Ce mécanisme se manifeste notamment lorsque les intervalles entre les différents stimuli d'entraînement (répétitions, séries d'exercices) sont trop courts pour permettre une récupération complète.

C'est le cas, par exemple, de l'**entraînement par intervalles en endurance**, où l'on enchaîne plusieurs séries avec des pauses partielles (cinq séries de dix répétitions). Ce type de sollicitation entraîne une diminution plus prononcée du potentiel énergétique et, à terme, une **surcompensation plus marquée**.

Cependant, sur le long terme, la répétition systématique de ce type d'entraînement intensif sur plusieurs séances consécutives peut conduire à un **phénomène de surentraînement**, entraînant inévitablement une **diminution des performances sportives** (figures 7 et 8).



*Figure 7 : efficacité cumulé.*



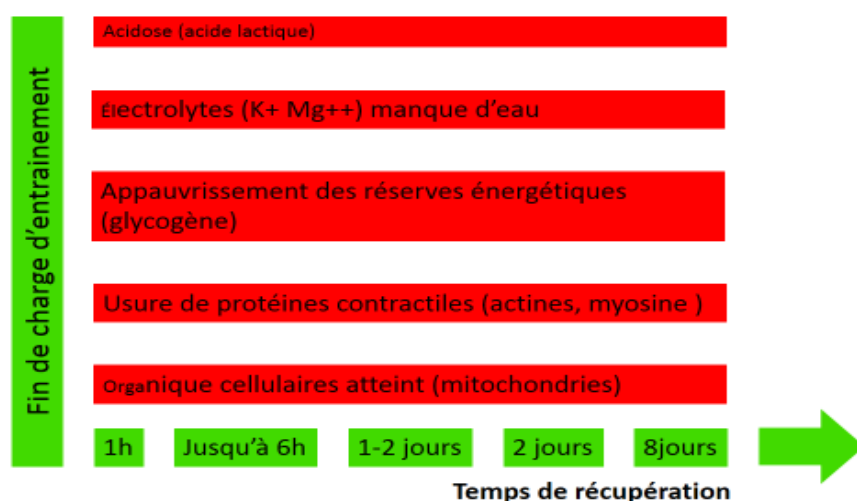
*Figure 8: Diminution de la performance sportive due à une succession de charges d'entraînement trop rapprochées.*

En résumé, charge et récupération sont indissociables dans le processus d'amélioration de la capacité de performance. Les phénomènes de fatigue, qui surviennent de manière répétée à la suite des charges d'entraînement, entraînent une élévation du potentiel de performance durant la phase de récupération. Cependant, des erreurs peuvent être commises non seulement dans la programmation des charges, mais aussi en négligeant les processus de récupération. La durée variable de récupération est un paramètre clé qui limite la charge d'entraînement et doit être prise en compte.

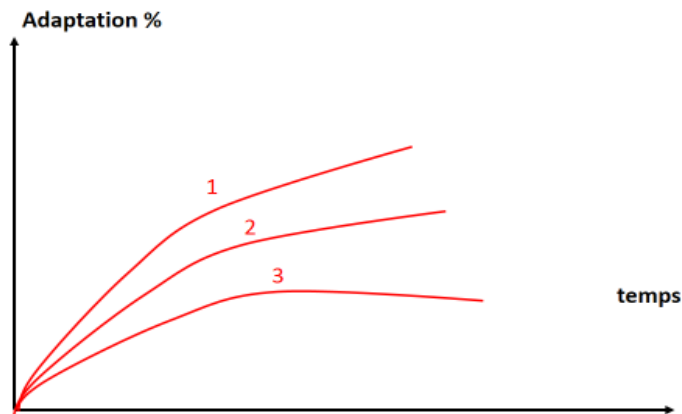
Comme le montrent les **figures 9** et **10**, différents systèmes biologiques et structures corporelles nécessitent des temps de récupération variés et suivent des processus de récupération distincts. Pour optimiser cette phase, plusieurs mesures d'accompagnement peuvent être mises en place, telles que :

- Courses de détente.
- Bains relaxants.
- Massages.
- Régime alimentaire adapté (compensation des déficits en eau, électrolytes et réserves de glycogène)
- Exercices d'extension et de gymnastique d'assouplissement.

Ces stratégies permettent de réduire le temps de récupération et de maximiser les bénéfices de l'entraînement.



*Figure 9: temps de récupération des différents systèmes biologiques*



*Figure 10 : Amplitude de l'adaptation après des stimuli efficaces répétés sur des systèmes fonctionnels à rythmes d'adaptation variés 1. Système à adaptation rapide (ex : la musculature) ; 2. Système à adaptation moyennement rapide (ex : absorption maximale d'oxygène) ; système à adaptation lente (ex : modification système d'appui et de sustentation)*

## **2.4. Principe de l'entraînement cyclique :**

Les principes de l'entraînement cyclique sont :

### **2.4.1. Charge d'entraînement continu :**

Une charge d'entraînement régulière entraîne une progression continue de la capacité de performance jusqu'à la limite individuelle déterminée génétiquement. Cependant, toute interruption de cette continuité (blessures, entraînement irrégulier, intervalles trop longs entre les séances, etc.) entraîne une diminution de la performance. La vitesse de cette baisse est proportionnelle à celle de la progression : une amélioration rapide se perd rapidement, tandis qu'un gain acquis sur le long terme se maintient plus durablement.

#### **➤ Périodicité de la charge d'entraînement :**

La charge d'entraînement ne peut pas être maintenue à son niveau maximal tout au long de l'année, car un athlète ne peut rester en forme optimale en permanence. Il est donc essentiel d'alterner périodiquement entre phases de charge et de récupération, entre augmentation du volume d'entraînement et diminution de l'intensité, etc.

Cette gestion permet d'atteindre la meilleure forme au moment clé, notamment lors des compétitions importantes, tout en respectant le principe de continuité de la charge. C'est pourquoi le processus d'entraînement est structuré en périodes de préparation, de compétition et de transition. Ce principe d'alternance permet non seulement de prévenir le surentraînement, mais aussi d'atteindre des sommets de performance impossibles à obtenir avec une charge constante

➤ **Périodicité de la récupération :**

Ce principe est particulièrement crucial dans le sport de haut niveau. Après huit à douze ans d'entraînement, lorsqu'un athlète atteint le niveau international, il doit maintenir ses acquis par des charges d'entraînement et de compétition très élevées. Cependant, après environ six ans, malgré des efforts toujours intenses, la progression des performances tend à stagner.

Pour surmonter cette phase de stagnation, de nombreux athlètes de haut niveau adoptent une stratégie consistant à prolonger leur période de récupération en interrompant les compétitions pendant six à douze mois. Durant cette pause, l'entraînement est allégé et des mesures de récupération sont mises en place afin de restaurer pleinement les réserves physiques et psychiques. À leur retour, ces sportifs retrouvent leur meilleur niveau et, dans certains cas, parviennent même à dépasser leurs performances précédentes.

**2.4.2. Principe de la spécialisation et de la spécificité de l'entraînement :**

Dans de nombreuses disciplines, il est désormais impossible d'atteindre des sommets de performance individuelle sans une spécialisation fonctionnelle précoce. Les principes d'adaptation de l'entraînement en fonction de l'âge et des objectifs spécifiques répondent à cette exigence dans le domaine sportif.

- **Adaptation à l'âge :** Chez l'enfant et l'adolescent, l'âge biologique joue un rôle capital dans la détermination de la capacité de performance et de la charge d'entraînement tolérée. De nombreux jeunes talents, brillants durant l'enfance et l'adolescence, ne dépassent guère par la suite un niveau de performance moyen, simplement parce qu'ils avaient un développement biologique en avance de plusieurs années sur leurs contemporains. Dans le sport de haut niveau, où la sélection est rigoureuse, on observe parfois des écarts d'âge biologique allant jusqu'à cinq ans ou plus. Ces jeunes, dont le développement est accéléré, possèdent non seulement une capacité de performance plus élevée, mais aussi une meilleure

tolérance aux charges d'entraînement. Il est donc essentiel d'adapter la programmation des charges en fonction de l'âge biologique plutôt que de l'âge chronologique.

- **Adaptation à l'objectif sportif spécifique :** Le principe de la charge spécifiquement adaptée à l'objectif sportif repose sur le fait que chaque discipline possède un profil caractéristique en matière de coordination et d'exigences physiques. La préparation à long terme en vue d'une performance de haut niveau dans une discipline donnée nécessite l'adaptation de tous les objectifs, contenus, méthodes, moyens et structures d'entraînement à chaque étape du développement des performances. Cette adaptation doit tenir compte des exigences spécifiques de la discipline ainsi que de sa structure de pronostic, fondée sur les prédispositions, les capacités et les acquis propres à chaque athlète, ainsi que sur les caractéristiques ontogénétiques.

L'adaptation spécifique de la charge implique également une sélection de plus en plus ciblée des méthodes et des contenus d'entraînement.

#### 2.4.3. **Principes de proportionnalité :**

Cet ensemble de principes fondamentaux joue un rôle essentiel tant dans le processus d'entraînement à long terme que dans la structuration du cycle d'entraînement annuel. Il définit la relation entre le développement général et spécifique, ainsi que l'interaction entre les différents éléments constitutifs d'une performance sportive complexe.

- **Rapport optimal entre formation générale et formation spécifique :** Avec l'évolution du niveau d'entraînement vers une spécialisation croissante, l'équilibre entre la formation générale et la formation spécifique varie également. Bien qu'un sportif de haut niveau conserve dans son programme des exercices généraux visant à compenser une charge de travail trop ciblée, l'entraînement spécifique prédomine nettement. L'entraînement général précède toujours l'entraînement spécifique, mais ses modalités doivent être adaptées aux exigences particulières de la compétition.
- **Rapport optimale entre les éléments constitutifs de la performance au cours de leur évolution :** Ce principe repose sur l'entraînement interdépendant de la condition physique, de la technique, de la tactique sportive et de nombreux autres facteurs. C'est l'une des exigences les plus complexes en matière d'entraînement et aussi l'une des moins étudiées scientifiquement. L'objectif est d'éviter qu'un facteur ne prenne une importance excessive au détriment des autres, notamment dans les disciplines où la condition physique et les

capacités de coordination doivent être développées de manière équilibrée. (Weineck, 2005, pp. 23-30)

### **3. La fatigue :**

La fatigue est une notion relativement bien définie, souvent caractérisée comme « l'incapacité à maintenir la force ou la puissance requise ou désirée ». Elle concerne toutes les populations, qu'il s'agisse d'enfants, d'adolescents, de sportifs ou de patients. Chacun possède un seuil de fatigue au-delà duquel ses performances diminuent, bien que ce seuil varie d'un individu à l'autre.

Cependant, bien que cette définition fasse consensus, elle ne permet pas d'expliquer les causes de la fatigue, qui restent sujettes à débat. En effet, que l'on soit jeune, athlète de haut niveau ou atteint d'une pathologie, la fatigue limite la performance, mais son origine peut différer selon les théories adoptées.

#### **3.1. Définition de la fatigue :**

La fatigue peut être définie comme « un état résultant de contraintes physiologiques et psychologiques, entraînant une diminution des performances physiques ou mentales ».(Chatard, 2003) Kellmann et al définissent la fatigue comme un « état psychobiologique » caractérisé par une incapacité à accomplir une tâche physique précédemment réalisable. Cet état s'accompagne généralement d'une perception altérée de l'effort, évoluant de la fatigue au surmenage ou à l'épuisement. (Kellmann, et al., 2017)

Dans le domaine sportif, on distingue principalement la fatigue aiguë, qui survient rapidement en réponse à des causes identifiables et disparaît après une période de récupération. Son rôle est protecteur, signalant à l'organisme la nécessité de se reposer. À l'inverse, la fatigue chronique peut être d'origine pathologique ou résulter d'un surentraînement. Elle se manifeste par une diminution durable des performances, une sensation persistante de fatigue et l'absence de surcompensation, c'est-à-dire l'incapacité de l'organisme à s'adapter aux contraintes physiques pour améliorer son niveau de performance.(Chatard, 2003)

La fatigue induite par l'effort musculaire est définie physiologiquement comme l'incapacité d'un muscle à maintenir une force prédéterminée, malgré la motivation du sujet. Elle est vécue par le sujet comme « la sensation d'une baisse de ses propres capacités physiques et/ou intellectuelles » (Portero & Gomez-Merino, 2012) "Cette définition met en évidence

l'origine multifactorielle de la fatigue. Généralement, deux approches théoriques permettent d'expliquer les mécanismes sous-jacents à son apparition : la fatigue périphérique et la fatigue centrale. La distinction entre ces deux types de fatigue repose sur l'emplacement de la cause de la perte de force par rapport à la jonction neuromusculaire (zone de contact entre un neurone moteur et une fibre musculaire). Si l'origine de la fatigue se situe en aval de cette jonction, on parle de fatigue périphérique (ou musculaire). En revanche, si la cause est en amont, il s'agit de fatigue centrale. (Coquart, 2016, p. 39)

### **Comment les modèles théoriques expliquent-ils la fatigue ?**

#### **3.2. Origine de la fatigue :**

Les recherches antérieures sur la fatigue ont mis en évidence que la diminution des performances peut être influencée par de nombreux facteurs physiologiques, biomécaniques, environnementaux, mécaniques et psychologiques. Deux approches théoriques principales permettent d'expliquer les mécanismes de la fatigue : la fatigue périphérique et la fatigue centrale. La distinction entre ces deux types repose sur l'emplacement de la cause de la perte de force par rapport à la jonction neuromusculaire (zone de contact entre les neurones moteurs et les fibres musculaires). Si la fatigue trouve son origine en aval de cette jonction, on parle de fatigue périphérique (ou musculaire). En revanche, si la cause est située en amont, il s'agit de fatigue centrale (ou nerveuse).

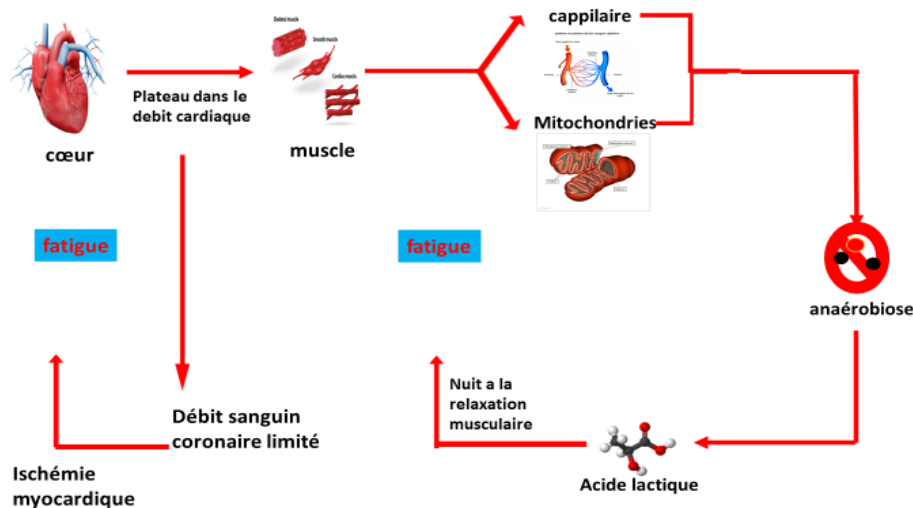
##### **3.2.1. La fatigue périphérique par le modèle cardiovasculaire/anaérobie :**

Parmi les modèles théoriques de la fatigue périphérique, le modèle cardiovasculaire de la fatigue (également appelé 'modèle anaérobie de la fatigue), proposé par le physiologiste anglais Archibald Vivian Hill, est l'un des plus connus. Cité par Jérémy Coquart, ce modèle postule que la fatigue, lors d'un exercice prolongé, résulte d'une anaérobiose, c'est-à-dire d'un déséquilibre entre les besoins en oxygène ( $O_2$ ) et son apport. Selon Hill et ses collègues, cette situation survient lorsque la quantité d' $O_2$  requise par les muscles dépasse la capacité du cœur à l'apporter via l'augmentation du débit cardiaque (DC).

Autrement dit, lorsque le cœur ne peut plus accroître ni le volume d'éjection systolique (quantité de sang oxygéné expulsée à chaque battement) ni la fréquence cardiaque (FC), il devient incapable de répondre aux besoins musculaires en  $O_2$ . Dès lors, toute production supplémentaire d'énergie provient du métabolisme anaérobie, entraînant une accumulation

d'ions hydrogène ( $H^+$ ). Cette acidification musculaire induit une fatigue progressive qui finit par contraindre l'arrêt de l'exercice.

Ce modèle physiologique, bien que légèrement modifié au fil du temps, demeure une référence majeure dans l'explication de la fatigue et de la performance à partir de paramètres exclusivement physiologiques. Il continue d'être largement adopté par de nombreux physiologistes. La **figure11** illustre cette théorie.



*Figure 11: Représentation schématique du modèle cardiovasculaire de la fatigue (Hill et coll.)*

Le modèle cardiovasculaire/anaérobie de la fatigue, proposé par Hill et ses collaborateurs, postule que la performance lors d'un exercice prolongé est principalement déterminée par la capacité du cœur à fournir un apport suffisant en oxygène aux muscles. Autrement dit, le débit cardiaque (DC) jouerait un rôle clé dans la limitation de la performance, atteignant un plateau au-delà duquel l'organisme ne peut plus répondre efficacement aux besoins musculaires en oxygène.

Par ailleurs, la capacité des muscles à capter et utiliser l'oxygène influence également la performance. Deux facteurs sont particulièrement déterminants :

- Le degré de capillarisation musculaire, c'est-à-dire la densité des petits vaisseaux sanguins irriguant les fibres musculaires.
- La concentration mitochondriale, essentielle à la production d'énergie par le métabolisme aérobie.

Lorsque l'apport en oxygène devient insuffisant, le métabolisme anaérobie prend le relais, entraînant une accumulation progressive d'ions hydrogène ( $H^+$ ), ce qui réduit le pH musculaire et inhibe la contraction, provoquant ainsi une fatigue qui finit par limiter la performance. L'entraînement en endurance permet de retarder ce phénomène en augmentant la capacité cardiovasculaire, la capillarisation et le nombre de mitochondries, ce qui améliore l'utilisation de l'oxygène et repousse le seuil de fatigue. Un autre facteur, parfois sous-estimé dans ce modèle, est le débit sanguin coronaire, qui assure l'apport en oxygène au muscle cardiaque. Lorsque le DC atteint son maximum, le cœur ne peut plus augmenter son propre apport en oxygène, risquant ainsi une ischémie myocardique (diminution de la circulation sanguine vers le muscle cardiaque). Pour prévenir cette situation critique, Hill et ses collègues suggèrent l'existence d'un "gouverneur central", un mécanisme de régulation situé soit dans le cœur, soit dans le système nerveux, chargé d'empêcher un stress physiologique trop intense. Ce "gouverneur" provoquerait alors un arrêt de l'exercice avant qu'une défaillance grave ne survienne.

Le modèle développé par Hill et ses collaborateurs cherche à expliquer la performance et l'apparition de la fatigue en se basant exclusivement sur des mécanismes physiologiques. Toutefois, cette approche purement biologique a été remise en question au début des années 2000 par Gandevia, qui soulignait que "la fatigue chez l'homme ne réside pas seulement dans le muscle".

Cette observation met en évidence une limite majeure des modèles traditionnels de fatigue périphérique, dont celui de Hill : ils se concentrent uniquement sur les changements musculaires sans intégrer le rôle du cerveau dans la régulation de la performance et de la fatigue. En effet, en adoptant une vision réductionniste et linéaire de cause à effet, ces modèles ne prennent pas en compte la complexité multidimensionnelle de la fatigue, qui semble impliquer des interactions entre plusieurs systèmes, y compris le système nerveux central.

Face à ces limites, de nouvelles approches ont émergé, proposant une vision plus intégrée de la fatigue. Ces modèles, qui s'éloignent du paradigme classique de la fatigue périphérique, mettent en avant le rôle central du cerveau dans la gestion de l'effort et de la performance. Ils sont regroupés sous l'appellation de "modèles de la fatigue centrale", qui cherchent à mieux comprendre l'influence des mécanismes neurophysiologiques sur la diminution des capacités physiques. (Coquart, 2016, pp. 38-43)

La fatigue périphérique trouve son origine dans le muscle lui-même à plusieurs étages :

- **Déséquilibre du couple  $\text{Na}^+/\text{K}^+$**  : Ce couple joue un rôle fondamental dans la génération du potentiel d'action musculaire. La pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , via l'enzyme ATPase, est chargée de rétablir l'équilibre en expulsant les ions  $\text{Na}^+$  hors de la cellule et en réintégrant les ions  $\text{K}^+$ . Cette action nécessite de l'ATP. Lors d'un effort intense, l'efficacité de cette pompe peut diminuer, entraînant un ralentissement de la vitesse de conduction, une réduction du potentiel d'action et, par conséquent, une baisse de la production de force et des performances physiques.
- **Altération du mécanisme excitation/contraction** : Une diminution de la libération et de la recapture du  $\text{Ca}^{2+}$  par le réticulum sarcoplasmique limite la capacité du muscle à générer de la force.
- **Accumulation de phosphate inorganique** : Cette accumulation, qui survient au cours de l'exercice, perturbe la libération de  $\text{Ca}^{2+}$  par le réticulum sarcoplasmique. Cela réduit l'activité des ponts actine-myosine, essentiels à la contraction musculaire, entraînant ainsi une baisse de la force musculaire.
- **Épuisement de la phosphocréatine musculaire** : La phosphocréatine joue un rôle clé dans la resynthèse rapide de l'ATP, principalement lors des phases de récupération. Cependant, lors d'un enchaînement de séquences à haute intensité, comme dans un match, cette resynthèse devient incomplète, ce qui contribue à l'apparition d'une fatigue transitoire au cours de l'effort.
- **Diminution des réserves de glycogène intramusculaire** : Le glycogène est le principal carburant musculaire. Il est hydrolysé via la glycolyse pour produire l'ATP nécessaire à la contraction. Une déplétion des réserves entraîne une baisse de la production d'énergie et, donc, de force. Cette diminution est l'une des principales causes de la baisse de performance en fin de match. L'alimentation joue un rôle clé dans la gestion des stocks de glycogène : avant l'exercice (constitution des réserves), pendant l'effort (boissons isotoniques pour limiter la diminution) et après l'effort (reconstitution des stocks). (Oletchia, 2014)

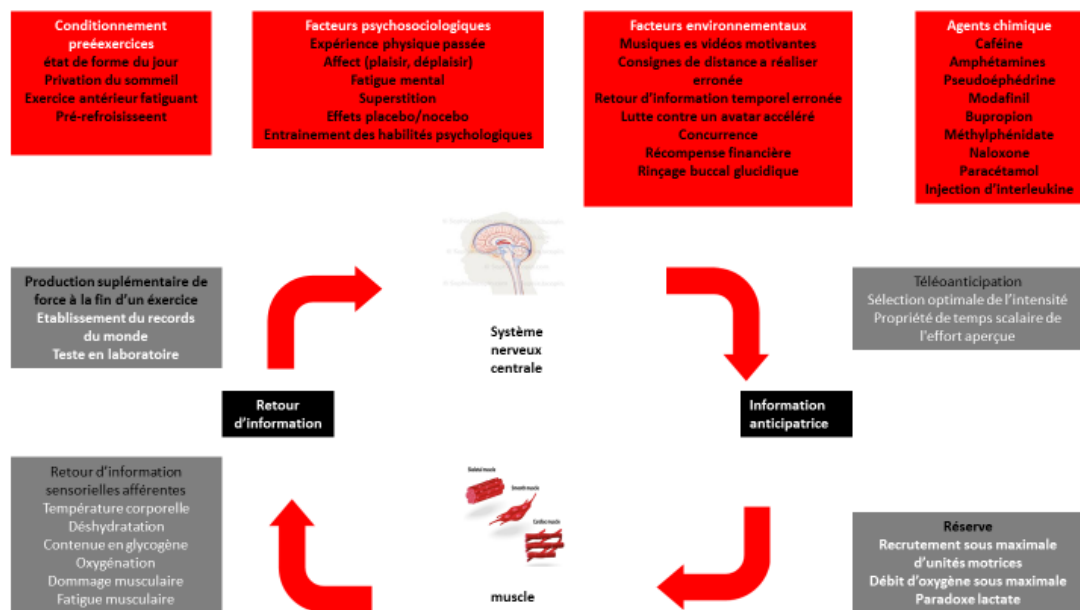
### 3.2.2. La fatigue centrale par le modèle du gouverneur central :

Par le passé, chaque discipline scientifique—qu'il s'agisse de la physiologie, de la biomécanique ou de la psychologie—a tenté d'expliquer les mécanismes de la fatigue. Cependant, aucune n'a réussi à en donner une compréhension exhaustive. Cette difficulté s'explique en partie par des approches réductionnistes, souvent centrées sur un seul champ

disciplinaire, mais aussi par la nature spécifique de chaque exercice physique. En effet, les facteurs influençant la fatigue varient selon le groupe musculaire sollicité, le type de contraction, l'intensité et la durée de l'effort, rendant son étude particulièrement complexe.

Partant de ce constat, le médecin et physiologiste sud-africain Timothy David Noakes et ses collaborateurs, cités par Jérémy Coquart, ont développé un modèle théorique dans lequel la fatigue perçue lors d'une activité physique résulterait d'une intégration complexe de multiples informations physiologiques. Ces données seraient analysées et interprétées par le cerveau de manière non linéaire et dynamique.

Ce modèle adopte une approche holistique, considérant la fatigue (et donc la performance) comme un phénomène global, analysé à travers une perspective transdisciplinaire qui englobe la physiologie, la biomécanique et la psychologie. Issu des théories de la fatigue centrale, qui accordent un rôle clé au cerveau, ce modèle est connu sous le nom de "modèle du gouverneur central" (**figure 12**).



*Figure 12 : représentation des facteurs ne pouvant être expliqués par le modèle cardiovasculaire/anaérobie, mais compatibles avec le modèle du gouverneur central de la fatigue.*

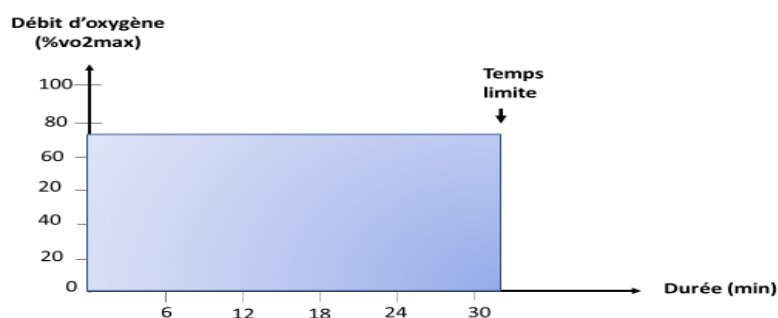
### 3.2.3. Les facteurs influençant la performance et agissant centralement :

Le modèle du gouverneur central attribue au cerveau un rôle déterminant dans la gestion de l'effort et de la performance. Dès le début et tout au long de l'exercice, le cerveau module la quantité d'influx nerveux envoyée aux muscles afin d'adapter le recrutement des unités

motrices en fonction des besoins. Chaque unité motrice, constituée d'un motoneurone et des fibres musculaires qu'il innerve, se contracte en réponse à un potentiel d'action, générant ainsi la force nécessaire à l'effort. Ce processus met en évidence une régulation centrale du mouvement, orchestrée par le cerveau.

Craig, un spécialiste de l'intéroception (discipline étudiant la perception des signaux physiologiques internes par le cerveau), suggère que l'être humain dispose d'une représentation cérébrale globale de son état physiologique. Cette perception, incluant la douleur, la température corporelle, la faim et la soif, contribue à une évaluation subjective de l'état général de l'organisme. Il est donc envisageable que cette sensation globale permette d'adopter et de maintenir une allure optimale dès le début d'une épreuve, en ajustant le recrutement des unités motrices pour optimiser la performance.

Des travaux comme ceux d'Hettinga et coll. ont confirmé cette hypothèse en démontrant que les cyclistes modifient leur allure en fonction de leur état physique du jour afin d'optimiser leur performance. De même, des facteurs comme le manque de sommeil ou une fatigue accumulée influencent naturellement la capacité à soutenir un effort. Une étude menée par Eston et coll. illustre bien cette dynamique en comparant deux exercices continus réalisés à intensité constante. Les participants devaient maintenir un effort fixe aussi longtemps que possible, leur performance étant mesurée par la durée maximale de maintien de l'intensité imposée, également appelée "temps limite" (Tlim). Cette approche met en évidence l'influence du cerveau dans la gestion de l'effort et de la fatigue.



*Figure 13 : exemple d'un exercice à intensité constante (ou exercice continu) maintenu jusqu'à épuisement volontaire (temps maximale de maintien, ou temps limite) VO2max : débit maximale d'oxygène.*

Dans leur étude, des sportifs devaient pédaler aussi longtemps que possible à une intensité correspondant à 75 % de leur  $VO_2$ max lors de deux sessions distinctes. Toutefois, lors de l'une d'elles, ils étaient soumis à une condition de fatigue préalable, tandis que l'autre était réalisée dans un état de fraîcheur physique. Les résultats ont révélé une diminution de plus de 50 % de la performance lorsque les athlètes débutaient l'épreuve déjà fatigués. Ainsi, l'état de forme du jour, la privation de sommeil ou encore la fatigue accumulée influencent directement la performance.

Dans le même ordre d'idées, le pré-refroidissement (refroidissement du corps avant l'effort) a également montré des effets bénéfiques sur la performance. Ce refroidissement peut être réalisé par immersion en eau froide (du corps entier ou seulement des membres inférieurs), par application de packs de froid contenant du gel de silice sur les jambes, par le port d'une veste réfrigérante pendant l'échauffement, par l'utilisation d'un collier refroidissant, ou encore par un dispositif abaissant rapidement la température des mains. Il a ainsi été démontré qu'une immersion corporelle complète dans une eau à 23-24 °C pendant un maximum de 60 minutes permettait d'améliorer la distance parcourue d'environ 5 % lors d'une course de 30 minutes sur tapis roulant. Cela souligne que les conditions préalables à l'exercice influencent directement l'allure de course adoptée et, par conséquent, la performance.

Le maintien d'une allure optimale semble également être influencé par des paramètres non physiologiques, regroupés sous le terme de facteurs psychosociologiques (**figure12**). Parmi eux, l'expérience passée joue un rôle clé. Il paraît logique qu'un athlète gère mieux son rythme lors de son deuxième marathon qu'au cours de sa première participation. Cependant, l'expérience n'est pas le seul élément déterminant : des études ont montré que d'autres aspects, tels que l'état émotionnel (plaisir/déplaisir), la fatigue mentale, la superstition, l'effet placebo/nocebo ou encore l'entraînement des habiletés psychologiques, influencent également la performance.

En plus des aspects physiologiques et psychosociologiques, des facteurs environnementaux propres à l'exercice peuvent également modifier l'allure régulée par le cerveau et donc impacter la performance (**figure 12**). Parmi ces facteurs, on retrouve l'écoute de musique ou le visionnage de vidéos motivantes, la connaissance ou non de la durée restante de l'effort, la manipulation des informations préalables sur la distance à parcourir, un retour temporel erroné, la confrontation à un adversaire (virtuel ou réel) dont l'allure est

légèrement supérieure, la présence d'une récompense financière, ou encore le simple fait d'être en compétition. Il est aisé de comprendre que la rivalité avec un concurrent d'un niveau similaire ou légèrement supérieur, tout comme l'appât du gain, peuvent stimuler la motivation et pousser à dépasser des limites que l'on n'aurait peut-être pas atteintes autrement.

Une série d'études récentes a également mis en évidence qu'un simple rinçage buccal avec une solution glucidique, sans ingestion, permettait d'améliorer la performance. Ce phénomène s'expliquerait par une activation de certaines zones cérébrales, notamment le cortex sensorimoteur primaire. Ces résultats démontrent ainsi que divers subterfuges peuvent être exploités pour optimiser la performance.

Enfin, l'administration post-exercice de certaines substances agissant au niveau central (c'est-à-dire sur le cerveau) peut également modifier l'allure de course et la performance. Ces substances incluent des stimulants (comme la caféine, l'amphétamine, la pseudoéphédrine, le modafinil, le bupropion ou le méthylphénidate), des analgésiques (comme le paracétamol ou la naloxone), ainsi qu'une cytokine spécifique, l'interleukine-6 recombinante.

En somme, un large éventail de facteurs impacte indirectement la performance en influençant le cerveau. Ces éléments ne peuvent être expliqués par le modèle cardiovasculaire/anaérobie de la fatigue proposé par Hill et coll., mais s'intègrent parfaitement dans le cadre du modèle du gouverneur central. Par ailleurs, le rôle fondamental du cerveau dans la performance peut également être illustré par le mécanisme de télé anticipation. (Coquart, 2016, pp. 43-48)

- Mathilde Poinard précise dans sa thèse que la composante centrale de la fatigue englobe l'ensemble des structures situées en amont de la jonction neuromusculaire, à savoir le cerveau, le tronc cérébral et la moelle épinière. La fatigue neuromusculaire d'origine centrale se définit classiquement comme une altération de l'activation volontaire du muscle, impliquant ainsi les différentes structures chargées de la transmission du signal nerveux moteur, depuis les aires cérébrales jusqu'à la jonction neuromusculaire. Dans cette perspective, Gandevia établit une distinction entre deux niveaux d'origine de cette fatigue : L'étage spinal, correspondant à la moelle épinière ; L'étage supra-spinal, qui regroupe l'ensemble des structures situées en amont de la moelle épinière, autrement dit les centres moteurs supérieurs, incluant le cerveau et le tronc cérébral.

➤ **Etage supra spinal :**

Dans le cerveau, le cortex moteur génère l'ordre moteur, initiant ainsi un influx nerveux qui, en passant par les cornes ventrales de la moelle épinière, active les motoneurones alpha responsables de l'innervation des muscles ciblés. L'unité motrice désigne l'ensemble formé par un motoneurone alpha et les fibres musculaires qu'il innerve. La fatigue centrale d'origine supra-spinale se manifeste par une altération de la transmission nerveuse vers les motoneurones, pouvant s'accompagner ou non d'une réduction du recrutement des unités motrices. Cette altération de la commande centrale peut résulter de plusieurs facteurs (Figure 6) :

- L'accumulation de neurotransmetteurs ou de substances chimiques (sérotonine, dopamine, acétylcholine, tryptophane) qui perturbent l'équilibre homéostasique au niveau du cerveau.
- De réponses thermodynamiques cérébrales.
- De la disponibilité en substrat énergétique.
- De modification de la perfusion sanguine cérébrale.
- De facteurs psychologiques : motivation, investissement à la tâche.

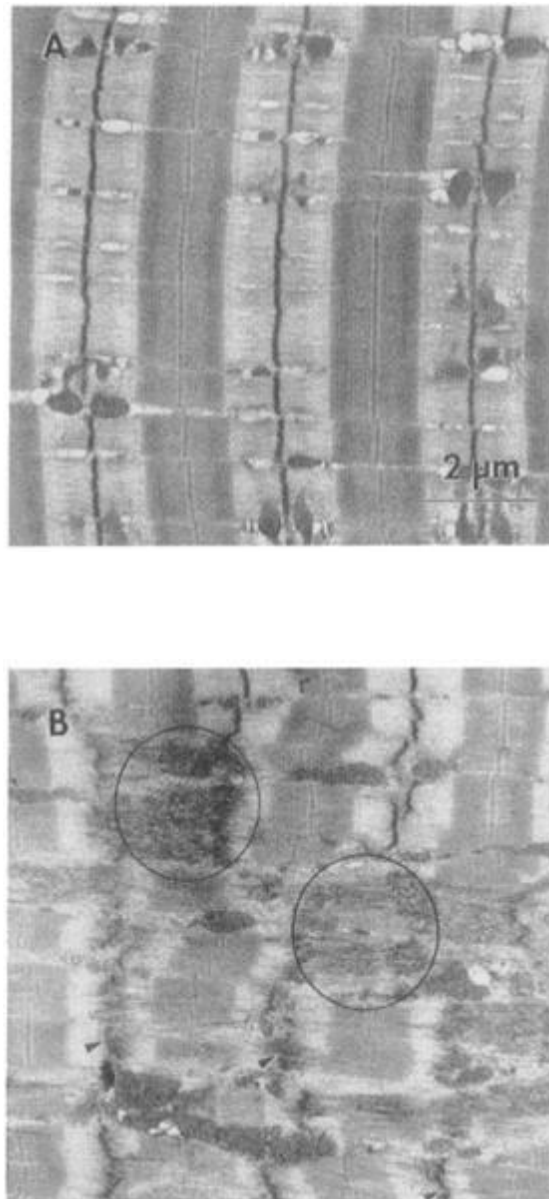
➤ **Spinale (moelle épinière) :**

La moelle épinière reçoit l'influx nerveux issu de la commande centrale, appelée commande descendante. Parallèlement, elle est régulée par une commande ascendante, qui correspond aux influx sensitifs transmis par les muscles vers les cornes dorsales de la moelle épinière. Ces afférences musculaires jouent un rôle clé dans l'ajustement permanent de la contraction musculaire lors de l'exercice, en modulant l'excitabilité du pool de motoneurones  $\alpha$  par le biais de voies inhibitrices ou excitatrices. Ces afférences peuvent être influencées par les sous-produits métaboliques générés pendant l'effort (Figure 6). Les recherches portant sur la fatigue d'origine spinale ont principalement mis en évidence des modifications affectant les éléments suivants (Figure 6) :

- Afférences musculaires III et IV inhibitrices du pool de motoneurones  $\alpha$  associées à la diminution de l'activation centrale.
- Afférences sensibles aux changements métaboliques et mécaniques, régulant la fonction du muscle en modifiant l'excitabilité du pool de motoneurones  $\alpha$  (inhibition pré-synaptique).

La fatigue d'origine centrale résulte d'une réduction de l'excitabilité des motoneurones  $\alpha$  et/ou d'une commande nerveuse insuffisante pour atteindre un niveau optimal d'activation

musculaire. De plus, son intensité varie en fonction du type de contraction musculaire, ainsi que de la durée et de l'intensité de l'exercice effectué. (Poignard, 2020)



*Figure 14 : Coupes histologiques de microlésions musculaires provoquées par un exercice excentrique visualisées par microscope électronique à transmission. A : Sarcomères sains. B : Sarcomères lésés avec perturbations de l'alignement des stries Z (zones encerclées). A partir de (Lieber & Friden, 1991)*

#### **3.2.4. La fatigue neuro-immuno-endocrinienne :**

Cette interaction entre le système nerveux central (SNC), le système neuroendocrinien et le système immunitaire joue un rôle clé dans la régulation de la fatigue, qu'elle soit périphérique ou centrale. La fatigue centrale peut ainsi être exacerbée par une altération de cette communication, notamment via la libération de médiateurs inflammatoires (cytokines)

ou la modulation hormonale (cortisol, testostérone, catécholamines). Ces perturbations peuvent réduire l'excitabilité des motoneurones et altérer la transmission de la commande nerveuse, contribuant à une diminution des capacités physiques et cognitives. (Escurat, 2016)

### **3.3. Origines de diminution de la performance**

Hausswirth définit la fatigue comme « un état résultant de contraintes physiologiques et psychologiques entraînant une diminution des performances physiques et/ou mentales. » Chez les sportifs, la fatigue aiguë apparaît rapidement et se dissipe également en un laps de temps relativement court. Elle peut être classée en trois catégories distinctes selon son origine :

#### **3.3.1. La fatigue métabolique :**

Sur le plan métabolique, trois réactions principales contribuent à la diminution de la performance :

- **L'acidose :** À pH physiologique, l'acide lactique se dissocie en lactate et en ions hydrogène (H<sup>+</sup>). L'accumulation de ces ions H<sup>+</sup> entraîne une acidification du milieu intracellulaire, ce qui provoque une diminution du pH musculaire. Cette baisse du pH perturbe le fonctionnement des enzymes glycolytiques, réduisant ainsi l'efficacité de la glycolyse et limitant la production d'ATP nécessaire à la contraction musculaire.
- **Les microlésions musculaires :** Elles peuvent être d'origine métabolique, impliquant l'activation des protéases et des phospholipases ainsi qu'une insuffisance de la respiration mitochondriale, ou d'origine mécanique, résultant notamment d'un travail excentrique et de microtraumatismes musculaires.
- **La réaction inflammatoire :** L'inflammation entraîne une élévation de la température corporelle sous l'effet de l'interleukine-1 sur l'hypothalamus, ainsi qu'une augmentation de la pression intramusculaire due à la formation d'un œdème.

#### **3.3.2. La fatigue musculaire :**

L'augmentation de la consommation d'oxygène durant l'exercice entraîne une production accrue de radicaux libres, des molécules hautement réactives. Ces espèces radicalaires provoquent l'oxydation de divers composants cellulaires, perturbant ainsi leur bon fonctionnement.

Sur le plan mécanique, l'accumulation de contractions excentriques engendre des perturbations conduisant au catabolisme de certains éléments myo-cellulaires.

Ainsi, la pratique sportive de haut niveau peut induire des altérations des structures cellulaires en raison de modifications métaboliques significatives.

### **3.3.3. La fatigue psychique :**

La compétition de haut niveau exerce une pression sur le sportif, générant un état de stress. En psychologie du sport, MacGrath définit le stress comme : « un déséquilibre important entre une exigence et la capacité à y faire face, dans des situations où le doute quant à cette capacité peut entraîner des conséquences significatives ».

Les différentes formes de stress sont les suivantes :

- **Le stress psychique :** Il résulte de l'interprétation individuelle des situations vécues. Cette perception est influencée par divers facteurs tels que l'exigence de résultats, la perception de soi, l'anticipation de l'avenir, et la gestion des attentes personnelles et externes.
- **Le stress social :** Il survient lors des interactions avec autrui et est particulièrement présent dans le sport de haut niveau, où la compétition est intense et l'exigence de performance élevée. Ce stress peut être exacerbé par la pression exercée par les entraîneurs, les dirigeants, la famille, et les autres sportifs.
- **Le stress physique :** Il découle d'une altération de l'état physique du sportif, souvent due à l'entraînement intensif, aux blessures, aux maladies ou encore aux traitements médicaux.

Comme les sources de stress, la tolérance au stress varie selon les individus et peut être renforcée. Ainsi, développer la confiance en soi ou apprendre à mieux gérer sa motivation grâce à un accompagnement psychologique permet d'accroître la tolérance au stress psychique. De même, disposer d'un entourage social solide et bienveillant aide à se prémunir contre les effets du stress social. Enfin, l'amélioration des capacités physiques contribue également à élever ce seuil de tolérance. (Jaili, 2014, pp. 2-3)

## **4. La récupération :**

De nos jours, la performance sportive ne repose plus uniquement sur un entraînement intensif, mais résulte de l'intégration de multiples paramètres et facteurs déterminants. Elle implique également la gestion d'un ensemble de critères influençant l'ensemble de la vie de l'athlète. Avec l'évolution du sport vers une professionnalisation croissante, y compris à

des niveaux amateurs, une prise en charge pluridisciplinaire s'impose. Parmi les aspects les plus scrutés par les acteurs du sport, la récupération occupe une place centrale.

Le calendrier compétitif des équipes de football impose une charge d'entraînement et de matchs particulièrement élevée. Certaines équipes enchaînent plusieurs rencontres avec des périodes de récupération minimales, tout en intégrant des séances d'entraînement. Si cette charge n'est pas correctement gérée, elle peut entraîner une fatigue excessive, altérer la performance, impacter la qualité du jeu et augmenter considérablement le risque de blessures.

Dans les structures de haut niveau, la gestion de la récupération, principalement assurée par des professionnels de santé, évolue en parallèle des avancées scientifiques et technologiques, nécessitant des équipements de pointe. Devenue une priorité pour les sportifs et les encadrants médicaux, la récupération constitue un élément clé de la prévention des blessures, tout en favorisant le bien-être post-effort et en limitant les facteurs de diminution de la performance.

Pendant l'exercice physique, quelle que soit son intensité, une quantité importante d'acides est produite dans les muscles et le sang. L'organisme peine à éliminer ces substances acides, d'où l'intérêt des méthodes favorisant leur neutralisation ou leur transformation. Parmi ces stratégies, on retrouve l'oxygénation des tissus (via une activité dynamique douce ou l'électrostimulation), l'apport de bases alcalines (grâce à l'hydratation et/ou l'alimentation) et l'élimination des déchets (par le biais des massages, de la chaleur sous différentes formes, des étirements ou encore des bas de contention).

La combinaison de ces différentes techniques de récupération permet de contrer efficacement les perturbations induites par l'effort physique. Dans ce contexte, le retour au calme représente une étape essentielle pour tout sportif. (Geoffroy, 2002)

#### **4.1. Définition de la récupération :**

Les chercheurs ont abordé, dans leurs définitions, les divers types de récupération associés à la fatigue, chacun correspondant à des périodes spécifiques. Dans le cadre de cette thèse, notre intérêt se porte particulièrement sur la période de récupération qui sépare deux entraînements ou compétitions.

Selon le Dr Guezenc, la période de récupération se définit comme « le temps nécessaire pour que les différents paramètres physiologiques altérés par l'exercice retrouvent leurs

valeurs de repos ». (Jean-Claude, 2005) La récupération peut aussi être définie comme le mécanisme par lequel l'organisme rétablit son niveau fonctionnel après avoir été soumis à un stress physique. (Thibault, 2009) Une autre définition nous paraît intéressante celle Kellmann et Kallus en (2001) cité par (CARBONE, HUMBERT-DROZ , & Nicolas, 2013) La récupération est un processus dynamique, propre à chaque individu, qui s'opère à plusieurs niveaux (psychologique, physiologique, social) et évolue dans le temps pour permettre le rétablissement des capacités de performance. En d'autres termes, elle désigne la transition d'un état de fatigue vers la restauration des aptitudes physiques et mentales précédant l'effort.

#### **4.2. Lien entre récupération et performance :**

Selon Thierry Busso, cité par Chatard (2003), « les contraintes physiologiques liées à l'exercice musculaire induisent des adaptations de l'organisme contribuant à l'amélioration de l'aptitude et donc du niveau de performance », ces adaptations se produisant durant la phase de récupération. Ce principe est connu sous le nom de surcompensation.

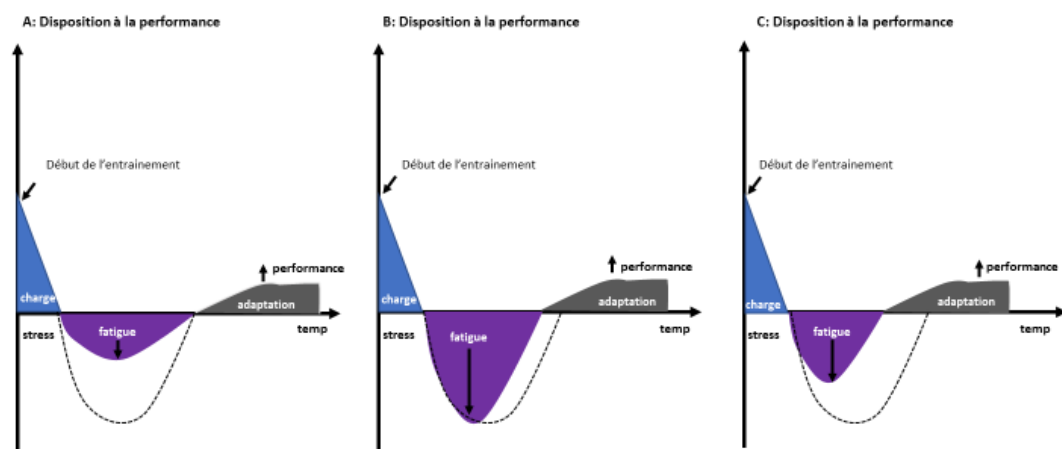
Chez le sportif de haut niveau, ce processus devient plus complexe en raison de l'intensité élevée des entraînements et des périodes de récupération souvent réduites. Cependant, les capacités d'adaptation de l'organisme ne sont pas illimitées. Une charge d'entraînement excessive associée à une récupération insuffisante peut entraîner une diminution des performances (décompensation), voire un état prolongé de fatigue (surentraînement), nécessitant parfois plusieurs semaines de repos. De plus, une récupération incomplète accroît significativement le risque de blessures. (Chatard, 2003)

Autrement dit, dans le cadre de l'entraînement à la performance, un certain niveau de fatigue est recherché lorsqu'il est suivi d'une récupération adéquate. C'est ce qu'on appelle la fatigue aiguë ou passagère (functional overreaching). Cet état se traduit par une baisse temporaire des performances, mais, lorsqu'il est bien géré, il permet d'engendrer un phénomène de surcompensation, favorisant ainsi une progression en quelques jours.

Toutefois, si la récupération n'est ni systématique, ni contrôlée, ni adaptée aux besoins individuels du joueur, le stress induit par la répétition des entraînements peut devenir excessif. Cela peut alors conduire à un état de sous-récupération (underrecovery) ou à une fatigue prolongée (nonfunctional overreaching), entraînant une diminution des capacités physiques et un risque accru de contre-performance. (Kellmann, et al., 2018) Les athlètes adoptent ainsi une stratégie de récupération, qui consiste à utiliser, après l'exercice, une ou

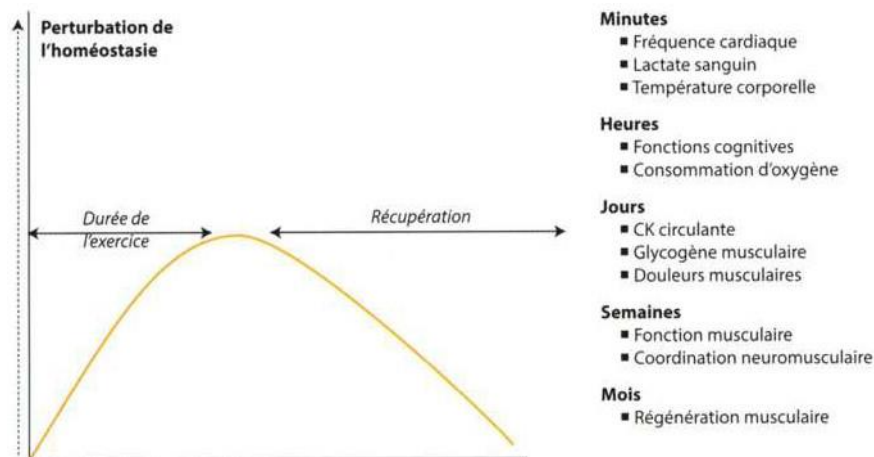
plusieurs techniques visant à accélérer le retour de l'organisme à son état d'équilibre initial et/ou à limiter les effets de la fatigue (**Figure15**). Ces stratégies permettent notamment :

- Limitant la diminution (magnitude, intensité) des performances (A).
- Accélérant la restauration (retour à des valeurs initiales) des performances, telles qu'elles étaient avant l'entraînement (B).
- Limitant la diminution et accélérant la restauration des performances (C). (Poignard, 2020, p. 19)



*Figure 15 : Illustration des effets souhaités de l'application de stratégies de récupération sur le modèle charge, fatigue, performance. A. Limitation de la diminution des performances ; B. Accélération de la restauration des performances telles qu'elles étaient avant l'entraînement ; C. Limitation de la diminution et accélération de la restauration des performances.*

Le retour à l'équilibre homéostatique commence dès l'arrêt de l'entraînement. Bien que cette phase puisse sembler passive, elle joue un rôle essentiel dans les adaptations physiologiques ultérieures. Par exemple, l'expression de l'ARN messager de certaines enzymes oxydatives reste élevée jusqu'à 24 heures après l'exercice, indiquant que les processus d'adaptation se poursuivent bien au-delà des effets immédiats de l'entraînement. Ainsi, une récupération insuffisante entre les séances peut entraîner des adaptations incomplètes, accompagnées de signes de fatigue et d'une altération des fonctions musculaires, comme illustré dans la **figure16**.



*Figure 16 : L'entraînement perturbe l'homéostasie. Pendant la période de récupération, les différents systèmes physiologiques peuvent prendre de quelques minutes à quelques mois pour récupérer, selon la durée, l'intensité et les modalités de l'entraînement.*

Une récupération insuffisante empêche l'athlète de s'entraîner avec l'intensité ou la charge optimale lors de la séance suivante. Pour optimiser ce processus, les sportifs adoptent des stratégies de récupération proactive telles que le massage, la cryothérapie, l'immersion contrastée, la compression ou encore les étirements. Ces techniques visent à rééquilibrer la balance entre stress et récupération, favorisant ainsi une meilleure tolérance aux charges d'entraînement et maximisant les bénéfices physiologiques liés à l'effort. (Hauswirth, 2013, pp. 18-19)

#### **4.3. Les mécanismes des techniques de récupération :**

Dans cette section, nous proposerons une synthèse des différentes méthodes disponibles pour optimiser la récupération musculaire et atténuer les courbatures. Nous détaillerons ensuite les techniques de récupération spécifiques que nous avons mises en œuvre dans cette étude.

L'objectif principal des stratégies de récupération est d'atténuer la fatigue induite par l'entraînement en agissant sur diverses fonctions psychophysiologiques. Ces méthodes viennent en complément des fondamentaux liés à l'hygiène de vie, tels que l'alimentation, l'hydratation et le sommeil, qui constituent la base d'une récupération efficace. (Halsón S., 2008) Les entraîneurs ont à leur disposition une large gamme de techniques de récupération, allant des massages et vêtements de compression à l'électrostimulation, en passant par les techniques de refroidissement du corps et les ambiances thermiques comme la cryothérapie, le hammam ou le sauna, sans oublier l'immersion en eau. Chacune de ces méthodes agit selon des mécanismes spécifiques et exerce des effets variés sur les systèmes

psychophysiologiques. Il est donc primordial d'en comprendre le fonctionnement afin d'optimiser leur utilisation dans une stratégie de récupération adaptée.

#### **4.4. Principe général des techniques de récupération :**

##### **4.4.1. Le sommeil :**

- On distingue trois principales théories expliquant les fonctions du sommeil :
- **La théorie somatique**, qui met en avant son rôle réparateur sur les systèmes endocrinien et immunitaire.
- **La théorie neuro-métabolique**, selon laquelle le sommeil permet de compenser le coût nerveux et métabolique engendré par l'éveil.
- **La théorie cognitive**, qui souligne son importance dans l'apprentissage, la mémorisation et la plasticité synaptique.
- Sur le plan physique et cognitif, le sommeil joue un rôle essentiel dans la gestion du stress induit par l'activité sportive. Cependant, plusieurs facteurs peuvent perturber sa qualité, et il est crucial de les prendre en compte pour l'optimiser :
- **Les horaires et la charge d'entraînement** : Les entraînements tardifs et intenses réduisent la capacité d'endormissement.
- **Le rythme du sommeil** : Les plages horaires les plus favorables au repos se situent entre 23h et 7h ainsi que vers 13h pour une sieste. En revanche, entre 10h et 11h30 et entre 17h et 20h, le sommeil est moins propice.
- **L'alimentation et l'hydratation** : L'hyperhydratation, la consommation d'alcool ou de stimulants (caféine, taurine...) et l'ingestion de protéines animales avant le coucher nuisent à la qualité du sommeil.
- **Les conséquences du manque de sommeil** : Il entraîne des altérations physiologiques et psychologiques telles qu'une baisse de l'humeur, de la concentration, de la motivation, de l'acuité visuelle, ainsi que des perturbations des fonctions respiratoires, cardiovasculaires, hormonales et de l'appétit, compromettant ainsi la récupération et la performance. (Jaili, 2014, pp. 3-4)

##### **6.4.2. Repos :**

L'objectif est de supprimer les sollicitations afin de stopper les contraintes exercées sur l'organisme. Ce repos peut être envisagé de deux manières :

- **Repos relatif** : Seule la partie du corps concernée est mise au repos (exemple : élévation des membres inférieurs pour favoriser le retour veineux).
- **Repos total** : Le sommeil, en particulier, joue un rôle clé en favorisant la sécrétion d'hormones de croissance essentielles à la récupération et à la régénération des tissus.

#### 6.4.3. Hydratation et nutrition :

L'eau joue un rôle fondamental dans le bon fonctionnement de l'organisme, notamment en facilitant la diffusion des gaz et en régulant la température corporelle. Une hydratation adéquate permet de compenser les pertes hydriques, de lutter contre l'acidose et de favoriser l'élimination des déchets métaboliques. Il est essentiel d'éviter la déshydratation, qui peut altérer les performances sportives. Pour cela, l'eau doit être consommée de manière fractionnée et régulière afin de maintenir un niveau d'hydratation optimal. De plus, boire environ 500 ml d'eau 40 minutes avant l'exercice contribuerait à préserver un état d'hydratation minimal. En ce qui concerne la nutrition, deux éléments clés sont à considérer pour optimiser la récupération :

- **Le glycogène**, principal carburant musculaire, dont les réserves doivent être maintenues par une alimentation riche en glucides.
- **Les protéines**, nécessaires à la reconstruction musculaire. Contrairement aux idées reçues, il ne faut pas dépasser les besoins individuels. Un sportif a besoin d'environ 1,2 g de protéines par kg de poids corporel par jour, soit environ 400 g de viande blanche pour un athlète de 70 kg.

#### 6.4.4. Le massage :

Le massage est l'une des techniques de récupération les plus utilisées par les sportifs. Cependant, les études scientifiques sur son efficacité donnent des résultats contrastés. Bien qu'il soit traditionnellement associé à la détente et à la récupération, les preuves de son impact sur la restauration des capacités physiques restent limitées. Aucune amélioration significative des métabolites musculaires, tels que le glycogène ou le lactate, n'a été démontrée. Toutefois, une étude de Crane et al. (Cité par Oletchia) suggère que le massage joue un rôle de modérateur local de l'inflammation. En outre, des recherches menées sur des athlètes de haut niveau ont mis en évidence un bénéfice psychologique, en améliorant la perception de la récupération, notamment en réduisant la douleur et la sensation de fatigue. Ces effets pourraient s'expliquer par une relaxation musculaire induite par le

massage, ainsi que par son action sur la réduction des contractures. La posologie optimale du massage reste encore à déterminer. Toutefois, un consensus se dégage sur deux aspects :

- **La position du sujet**, qui influence l'effet vasculaire.
- **Le moment d'application**, avec une efficacité accrue lorsque le massage est effectué rapidement après l'exercice. (Oletchia, 2014, pp. 13-14)

Sur le plan physiologique, les études indiquent que le massage exerce des effets positifs sur la circulation veineuse, la réduction des contractures et tensions musculaires, l'élévation de la température cutanée superficielle, ainsi que sur la sensation de douleur et de bien-être. Toutefois, lorsqu'il s'agit de récupération, les recherches montrent que le massage n'apporte pas de bénéfice supérieur par rapport au repos ou à la récupération active. Son principal intérêt réside dans son effet sur la perception de la fatigue. En effet, certaines études ont observé une meilleure récupération perçue, corrélée soit à une réduction de la lactatémie, soit à une amélioration de la puissance totale et de l'indice de fatigue. Cette amélioration du ressenti pourrait expliquer un plus grand engagement des sportifs dans l'entraînement ou la compétition. Ainsi, bien que ses effets physiologiques restent discutables, le massage contribue à une meilleure tolérance à l'effort en optimisant la récupération perçue. (Jaili, 2014, p. 5)

#### **6.4.5. Les étirements :**

Dans le domaine du sport, les étirements sont souvent intégrés aux protocoles de récupération, bien que leur utilisation repose davantage sur des convictions que sur des preuves scientifiques solides. En effet, plusieurs études ont mis en évidence leur inefficacité lorsqu'ils sont évalués sur des critères physiologiques de récupération. (Jaili, 2014, p. 5) L'utilisation des étirements avant ou après l'effort pour réduire les douleurs musculaires n'a pas démontré d'efficacité significative. Aujourd'hui, il apparaît que leur effet dépend du type d'effort réalisé :

- **Après un exercice pliométrique**, il est recommandé d'éviter les étirements, car ils pourraient aggraver les microlésions musculaires et entraîner une hypoxie locale, retardant ainsi le processus de cicatrisation.
- Cependant, **sur le long terme**, il est bénéfique d'intégrer des séances d'étirements pour préserver l'élasticité du tissu musculo-aponévrotique. Ces séances devront être

programmées à distance des efforts intenses et réalisées sous une forme globale et générale, en privilégiant des postures adaptées. (Oletchia, 2014, pp. 13-14)

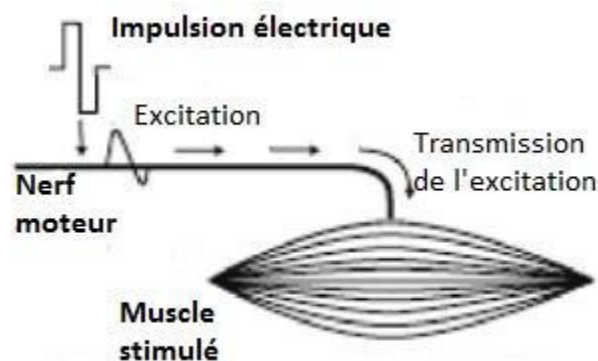
Les étirements présentent un bénéfice limité, principalement en contexte de compétition, où ils peuvent réduire la perception de la douleur et de la fatigue. Toutefois, leur efficacité reste modérée et semble être optimisée lorsqu'ils sont associés à d'autres techniques de récupération.

**Recommandation :** Les étirements peuvent être pratiqués en complément d'autres méthodes de récupération pendant une compétition.

**À éviter :** En dehors de ce contexte, leur utilisation n'est pas recommandée, notamment après des efforts intenses, où ils pourraient aggraver les microlésions musculaires. (Jaili, 2014, p. 5)

#### 6.4.6. L'électrostimulation :

L'application de courants électriques comme moyen thérapeutique est désignée par le terme d'« électro physiothérapie ». L'électromyostimulation est une des techniques de l'électrophysiothérapie. Elle consiste à stimuler la partie terminale des fibres nerveuses motrices par le biais d'un courant électrique appliqué sur la peau dans le but de provoquer la genèse d'un potentiel d'action. Ce dernier finit par engendrer une contraction musculaire. On fera ici abstraction de toutes les phases antérieures réalisées lors du processus d'une contraction musculaire volontaire (voir Fig. 6).



*Figure 17 : influx nerveux lors d'une contraction émise par un courant électrique*

Au cours des dernières décennies, cette pratique s'est considérablement développée, dépassant le cadre strict de l'électro physiothérapie. Son champ d'application ne cesse de s'élargir, bien qu'elle demeure largement utilisée en rééducation, qu'il s'agisse de rééducation fonctionnelle, respiratoire, neurologique ou périnéale. Elle est notamment employée pour prévenir et traiter les atrophies musculaires liées à l'inactivité ou à une dénervation (Vanderthommen & Crielaard, 2001) L'électrostimulation est également utilisée dans le domaine de l'entraînement et du renforcement musculaire. Elle permet de solliciter spécifiquement certains groupes musculaires, d'optimiser le recrutement des fibres et d'améliorer la force et l'endurance musculaire, tout en limitant la fatigue nerveuse associée aux contractions volontaires. (Dehail, Duclos, & Barat, 2008) Enfin, elle est de plus en plus utilisée pour ses supposées propriétés antalgiques et son rôle dans l'optimisation de la récupération après l'effort.(Babault, Cometti, Maffiuletti, & Deley, 2011) Les techniques d'électrostimulation visent à reproduire les effets de la récupération active. Pour ce faire, des électrodes sont positionnées au niveau du mollet afin de provoquer des contractions à basse fréquence (2 Hz), activant ainsi la pompe musculaire et facilitant le retour veineux. De plus, cette méthode permet de prolonger les effets d'une séance en maintenant l'activité musculaire, tout en stimulant la sécrétion d'endorphines par l'hypothalamus, ce qui contribue à réduire la perception de la douleur. En général, un programme d'électrostimulation dure environ vingt minutes. (Hauswirth, 2013)

#### **6.4.7. La récupération active :**

La récupération active consiste en un exercice de faible intensité visant à faciliter la récupération après un entraînement plus intense. Elle repose sur un retour au calme, souvent réalisé par une course lente ou une séance de vélo avec une résistance modérée (environ 40 % de la Vitesse Maximale Aérobie). Cette approche favorise le retour progressif à l'homéostasie de repos. Le retour veineux est assuré par plusieurs mécanismes physiologiques : la force motrice du ventricule gauche, ainsi que l'action des pompes abdomino-diaphragmatique, palmo-plantaire et veinomusculaire des mollets. Lors de la récupération active, la contraction des mollets joue un rôle clé en facilitant le retour du sang désoxygéné vers le cœur et en éliminant les déchets issus du catabolisme musculaire. Par ailleurs, l'amélioration de la circulation sanguine permet une meilleure réoxygénation des muscles et un apport optimal en nutriments essentiels à la récupération. L'oxygène inspiré contribue également à la resynthèse du glycogène à partir de l'acide lactique via le cycle de

Cori. En général, une durée d'environ dix minutes est recommandée pour optimiser ces effets. (Oletchia, 2014, p. 14)

#### **6.4.8. Les vêtements de compression :**

Les méthodes de contention ont depuis longtemps prouvé leur efficacité dans le traitement des insuffisances veineuses. Étant donné que l'activité sportive sollicite fortement le système veineux et peut altérer son bon fonctionnement, il semblait logique d'extrapoler ces bénéfices au domaine du sport. Partant de cette hypothèse, de nombreux fabricants ont conçu des vêtements de compression spécifiquement adaptés aux sportifs. Aujourd'hui, ces équipements techniques sont largement adoptés par les athlètes de diverses disciplines, qui espèrent en tirer des bénéfices tant en termes de performance que de récupération. (Hauswirth, 2013, p. 221)

Les vêtements de compression, disponibles sous forme de chaussettes, cuissards, pantalons et bas, sont largement utilisés dans le milieu sportif. De nombreuses études ont été menées pour évaluer leurs effets. Bien que l'optimisation de la performance reste une priorité pour les athlètes et les chercheurs, leur principal intérêt pourrait résider dans leur capacité à améliorer et accélérer la récupération après un effort intense. (Hauswirth, 2013) Pour être efficaces, les vêtements de compression doivent exercer une pression supérieure à 30 mmHg avec un gradient de compression centripète. Leur impact physiologique demeure limité, se traduisant principalement par une réduction de l'inflammation et une amélioration du retour veineux. Toutefois, sur le plan psychologique, ils semblent apporter un bénéfice en réduisant la perception de la douleur et en atténuant la sensation de diminution des capacités physiques.

#### **6.4.9. La presso-thérapie :**

Cette technique repose sur l'utilisation de bottes cruro-pédieuses équipées de plusieurs compartiments dans lesquels de l'air est insufflé de manière séquentielle, créant ainsi un gradient de pression centripète. Bien que son impact sur les marqueurs sanguins soit limité, elle favorise un drainage efficace qui contribue à une réduction de la sensation de fatigue, offrant ainsi un bénéfice perçu par l'athlète, à l'image des effets observés avec les chaussettes de compression. (Oletchia, 2014, p. 15)

#### **6.4.10. La cryothérapie du corps entier (CCE) :**

Les premiers traitements par exposition à des chambres de froid extrême ont été introduits dans les années 1980 par Yamauchi, qui a développé la première chambre cryogénique au Japon pour traiter les rhumatismes. La cryothérapie corps entier (CCE) est aujourd'hui couramment utilisée pour atténuer l'inflammation, traiter les arthrites et polyarthrites rhumatoïdes, ainsi que pour ses effets bénéfiques sur certaines pathologies comme la sclérose en plaques ou le psoriasis. Des études ont démontré que de courtes expositions (deux à trois minutes) induisent des réactions physiologiques favorisant une analgésie et une diminution des œdèmes. Récemment, il a été établi qu'une exposition à  $-110^{\circ}\text{C}$  entraîne une baisse de la température corporelle interne de  $0,63^{\circ}\text{C}$  cinq minutes après l'exposition, avec un retour à la normale en vingt minutes. À des températures avoisinant  $-100^{\circ}\text{C}$ , la CCE est souvent recommandée pour le traitement des blessures et pourrait limiter les dommages musculaires. Son utilisation préventive avant des phases d'entraînement intensif pourrait également contribuer à réduire le risque de blessures. (Hausswirth & Bieuzen, 2011)

#### **6.4.11. Le sauna :**

Les premières cabanes de sudation remontent à la préhistoire et étaient présentes dans diverses cultures à travers le monde. Des traces en ont été retrouvées en Sibérie, chez les peuples amérindiens d'Amérique du Nord, ainsi que chez les Mayas et en Europe. À l'origine, ces structures étaient de simples huttes faites de branchages. Avec le temps, elles ont évolué, certaines étant partiellement enterrées pour mieux conserver la chaleur. L'amélioration des techniques de travail du bois a ensuite permis la construction de cabanons plus élaborés, ressemblant à ceux que nous connaissons aujourd'hui. (Scanditours, 2024)

Construite en pin du Nord, la cabine de sauna est équipée de bancs disposés sur plusieurs niveaux ainsi que d'un calorifère contenant des pierres volcaniques chauffées. Un seau d'eau est à disposition pour humidifier ces pierres, ce qui permet d'ajuster l'humidité ambiante. Contrairement au hammam, le sauna diffuse une chaleur particulièrement sèche, avec un taux d'humidité variant entre 3 et 20 % selon la position dans la cabine. La température y est également plus élevée, oscillant entre  $80$  et  $100^{\circ}\text{C}$ . (ecolodgeoiseauparadis, 2024) Il existe plusieurs types de sauna, chacun présentant des caractéristiques spécifiques. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés plus particulièrement au sauna sec.

➤ **Bienfaits du sauna :**

- **Soulagement des douleurs musculaires :** La chaleur intense favorise la relaxation musculaire, atténue les tensions et contribue à la réduction des douleurs, notamment les courbatures et les symptômes de l'arthrose.
- **Purification de la peau :** L'élévation de la température corporelle stimule la transpiration, facilitant l'élimination des toxines et assurant un nettoyage profond de la peau.
- **Amélioration de la circulation sanguine :** L'alternance entre chaleur et douche froide provoque une vasoconstriction qui dynamise la circulation sanguine et améliore l'oxygénation des tissus.
- **Renforcement du système immunitaire :** L'élévation de la température corporelle simule une fièvre artificielle, ce qui stimule les défenses immunitaires et pourrait contribuer à une meilleure résistance aux infections. (Clairazur, 2022)
- tonique et relaxant.
- stimule la fonction cardiaque.

➤ **Les contre-indications et précautions d'usage sauna :**

Les risques associés à l'utilisation du sauna sont faibles si des précautions adéquates sont prises. Voici une liste non exhaustive des contre-indications et précautions à respecter :

- **Durée d'exposition :** Ne pas dépasser 15 minutes par séance afin d'éviter les syncopes liées à la baisse de la pression sanguine. Pour les débutants, commencer par des sessions de 5 minutes, entrecoupées de douches fraîches.
- **Maladies cardiovasculaires :** Déconseillé aux personnes souffrant d'insuffisance coronaire, d'antécédents d'infarctus du myocarde ou d'autres troubles cardiaques, en raison des variations de la volémie et du risque de spasme coronaire lié aux douches froides.
- **Hypertension et hypotension :** L'hypertension bien contrôlée n'est pas une contre-indication, mais il faut éviter les douches froides. L'hypotension orthostatique est un facteur de risque.
- **Insuffisance veineuse :** Les personnes souffrant de varices doivent éviter le sauna, bien que ce ne soit pas une contre-indication absolue.
- **Affections respiratoires et inflammatoires :** L'asthme n'est pas une contre-indication, mais la polyarthrite rhumatoïde en phase aiguë l'est, tout comme la fièvre sous toutes ses formes.

- **Maladies de peau** : À éviter en cas d'abrasions cutanées, d'éruptions suintantes et d'urticaire cholinergique, bien qu'il puisse être bénéfique pour le psoriasis.
- **Médicaments et conditions neurologiques** : Les médicaments affectant le système nerveux, la claustrophobie, l'épilepsie et la prise de nicotine (patches) sont des contre-indications.
- **Fertilité** : Aucune preuve d'altération de la fertilité après des expositions répétées. (Hausswirth, 2013, pp. 338-339)

#### **6.4.12. Le hammam :**

L'utilisation des eaux thermales à des fins thérapeutiques remonte à l'Antiquité, constituant un phénomène à la fois médical et socio-économique. Depuis les premières civilisations, l'homme a recherché ces sources d'eau chaude pour leurs bienfaits sur la santé. Les premières traces écrites sur les pratiques thermales datent de 3000 ans avant J.-C. Plus tard, au VIII<sup>e</sup> siècle, les bains islamiques ont vu le jour en s'inspirant des thermes romains. Leur usage débute par un bain à air chaud, qui évolue ensuite en un bain de vapeur, favorisant ainsi la relaxation et l'élimination des toxines. (Ait Hocine & Mokrani, 2016) Tlemcen, ancienne capitale du Maghreb central, est l'une des villes d'Algérie ayant connu un essor socio-culturel majeur. À l'époque médiévale, le hammam entrait dans son âge d'or, jouant un rôle central dans les pratiques d'hygiène et de purification. Il s'imposait comme un lieu social incontournable, où se mêlaient traditions et rituels. Cette institution, connue sous différentes appellations – bain maure pour certains, bain turc pour d'autres – conserve encore aujourd'hui une place importante dans le patrimoine culturel. (Guenou, 2018) Dans le hammam, l'air est saturé en humidité, atteignant près de 100 %, tandis que la température demeure modérée, ne dépassant pas 45 °C. Contrairement au sauna, où la transpiration est favorisée par l'évaporation, le mécanisme de refroidissement y est différent : l'humidité ambiante empêche l'évaporation de la sueur. Sous l'effet de la vapeur, les pores de la peau se dilatent et les glandes sudoripares s'activent, facilitant l'élimination des toxines. Toutefois, la sensation de sudation est en grande partie due à la condensation des fines gouttelettes de vapeur sur la peau plus froide. Par ailleurs, la chaleur humide assouplit la couche cornée et fluidifie les substances grasses, favorisant ainsi l'évacuation des cellules mortes et contribuant à un nettoyage en profondeur de la peau. (Hausswirth, 2013, p. 347) Pour profiter pleinement d'une séance de hammam, il est essentiel de respecter certaines règles de base. Le rituel commence par une douche préalable afin de nettoyer la peau et la préparer à la chaleur humide. Ensuite, il convient de s'installer confortablement dans la salle

de vapeur et de laisser la chaleur envelopper progressivement le corps. L'ajout d'huiles essentielles, telles que l'eucalyptus, renforce les bienfaits du hammam grâce à ses propriétés apaisantes et décongestionnantes. Cette atmosphère favorise la relaxation, permettant ainsi une véritable libération de l'esprit et une sensation de lâcher-prise. (escale détente, 2002)

Avant de profiter d'une première séance de hammam, il peut être judicieux de consulter un médecin afin d'éliminer toute contre-indication, notamment en cas d'insuffisance cardiaque, d'hypertension ou d'insuffisance veineuse. De plus, le hammam est déconseillé aux femmes enceintes en raison de la chaleur intense et de l'humidité élevée, qui pourraient entraîner des inconforts ou des risques pour la santé.

➤ **Bienfait du hammam :**

- Il est recommandé de fréquenter le hammam une fois par semaine, avec des séances de 10 à 20 minutes, suivies d'une douche froide pour éliminer la sueur et les impuretés.
- La chaleur intense aide à relâcher les tensions musculaires et à apaiser les courbatures. Sous l'effet de la vapeur, les glandes sudoripares activent l'élimination des déchets, favorisant ainsi un nettoyage en profondeur de la peau.
- En plus de ses bienfaits physiques, le hammam procure une sensation de détente et de bien-être, contribuant à la relaxation générale du corps et de l'esprit. (Hausswirth, 2013, p. 348)
- **Nettoyage en profondeur de la peau :** La vapeur du hammam, bien que moins chaude que celle du sauna, est beaucoup plus humide. Elle ouvre les pores, favorisant l'élimination des toxines, des bactéries et des cellules mortes. Elle contribue également à la réparation et à la tonification des cheveux.
- **Relaxation et soutien à la perte de poids :** Associé à une activité physique régulière, le hammam constitue un excellent moyen de relaxation tout en stimulant la perte de poids. La transpiration entraîne une perte d'eau, élève la température corporelle et améliore la circulation sanguine, renforçant ainsi le métabolisme.
- **Réduction du stress :** Grâce à la chaleur et à la vapeur, la respiration s'approfondit et les muscles se détendent naturellement. Le hammam agit comme un véritable antistress, procurant une profonde sensation de bien-être.
- **Effet revigorant ou effet somnifère :** Une douche froide après la séance stimule le métabolisme et procure une sensation de vitalité. À l'inverse, un bain chaud après le hammam plonge le corps dans un état de relaxation intense, favorisant un sommeil réparateur. Il est conseillé de prendre ce bain une à deux heures avant le coucher pour optimiser ses bienfaits. (Clairazur, 2024)

➤ **Conseils pour un bienfait optimal :**

- **Préparation :** Prendre une douche tiède et s'envelopper dans une serviette pour préparer le corps à la chaleur.
- **Première entrée dans le hammam :** S'installer au sol, où la température est plus douce, et rester dans le bain de vapeur pendant 10 minutes maximum.
- **Pause :** Sortir dans la salle de repos pour permettre au corps de s'habituer aux variations de température.
- **Nettoyage et exfoliation :** Se savonner sous une douche tiède ou froide, puis effectuer un gommage pour éliminer les peaux mortes. Rincer soigneusement la peau.
- **Deuxième entrée dans le hammam :** S'installer sur un banc ou s'allonger pour une nouvelle séance de 10 minutes.
- **Fin de la séance :** Sortir du hammam, se doucher une dernière fois et terminer par un massage pour prolonger la sensation de bien-être.

➤ **Prévention santé :**

- **Écouter son corps :** Ne jamais dépasser ses limites. Il est préférable de faire plusieurs courtes séances plutôt qu'une seule trop longue.
- **Se lever lentement :** Cela permet d'éviter les vertiges liés à la chaleur et à la vasodilatation.
- **Bien s'hydrater :** Après la séance, il est essentiel de boire de l'eau pour compenser la perte hydrique due à la transpiration.
- **Alimentation légère :** Privilégier un repas léger après la séance pour éviter la sensation de lourdeur.
- **Fréquence recommandée :** 1 à 2 séances par semaine pour profiter des bienfaits sans fatiguer l'organisme. (La perle d'eau, 2022)

➤ **Les contre-indications et précautions d'usage hammam :**

Les contre-indications du hammam sont similaires à celles du sauna.

#### **6.4.13. L'immersion en eau :**

➤ **Historique d'utilisation :**

Depuis des millénaires, l'eau est employée à des fins thérapeutiques à travers le monde. Son utilisation a varié selon les époques et les civilisations. D'abord exploitée sous forme de bains passifs, elle a ensuite été intégrée à des protocoles de rééducation par l'hydrothérapie, notamment dans les années 1930 pour le traitement des patients atteints de poliomyélite.

(Ardain, Richard, & Bruyneel, 2018) L'usage L'hydrothérapie pour optimiser la récupération des athlètes est une approche relativement récente. Introduite aux États-Unis, cette technique était perçue comme innovante au début des années 2000. Aujourd'hui, elle s'est largement démocratisée et s'intègre depuis plus de 15 ans dans de nombreux centres d'entraînement et sites de compétition, sous diverses formes. (Escurat, 2016, p. 6)

➤ **Propriétés de l'eau :**

L'hydrothérapie repose sur des propriétés physiques fondamentales à considérer lors d'une rééducation, tout en présentant certaines contre-indications à ne pas négliger.

- a. **Pression hydrostatique** : La pression exercée par un liquide sur un corps immergé est équivalente au poids de la colonne d'eau située au-dessus de celui-ci. Proportionnelle à la profondeur et à la densité du liquide, cette pression assure une résistance uniforme à tous les groupes musculaires immergés. De plus, l'absence de position stationnaire dans l'eau engage une activation musculaire continue pour maintenir la stabilité corporelle.
- b. **Principe d'Archimède** : Selon ce principe, « tout corps immergé, totalement ou partiellement, dans un fluide subit une poussée verticale dirigée vers le haut, égale au poids du volume de fluide déplacé ». Cette poussée réduit le poids apparent du corps, dont la diminution varie en fonction du niveau d'immersion. En eau douce, cette réduction s'étend de 7 à 100 % du poids réel, selon que l'immersion atteint le cou ou les tibias.
- c. **Viscosité** : La viscosité, c'est-à-dire la résistance à l'écoulement d'un fluide, influence la friction entre les molécules d'eau. Plus la température de l'eau est élevée, plus sa viscosité diminue. Associée à la pression hydrostatique, elle favorise les stimuli sensoriels externes, améliorant ainsi la perception du corps dans l'espace et optimisant la conscience du schéma corporel.
- d. **Flottabilité** : La flottabilité correspond à l'équilibre statique du corps dans l'eau, dépendant de la capacité pulmonaire et de la densité corporelle. Cette force peut être utilisée pour faciliter, soutenir ou opposer une résistance aux mouvements réalisés en milieu aquatique.
- e. **Résistance hydrodynamique** : L'eau oppose une résistance au mouvement du corps immergé, cette opposition variant en fonction de la vitesse et de la surface exposée au déplacement.
- f. **Effets psychologiques** : Bien que des appréhensions initiales, comme la peur ou la pudeur, puissent constituer des freins, elles sont souvent surmontées au fil des séances. L'hydrothérapie génère alors des effets positifs, procurant un sentiment de sécurité et de relaxation. Elle peut également offrir une sensation de liberté en réduisant temporairement

la perception d'un handicap grâce à l'amélioration des capacités fonctionnelles. (Ardain, Richard, & Bruyneel, 2018, pp. 12-13)

➤ **Les mécanismes en réponse à l'immersion :**

L'impact de l'immersion sur la récupération repose sur trois mécanismes principaux : la pression hydrostatique, les fluctuations de la température corporelle et les modifications de la vasomotricité.

a. **La pression hydrostatique :**

La pression hydrostatique (P) est déterminée par l'accélération de la pesanteur (g), la masse volumique du liquide ( $\rho$ ) et la profondeur d'immersion (h), selon la formule :

$$P = P_{atm} + g \times \rho \times h$$

Au niveau de la mer, la pression hydrostatique exercée par l'eau est bien supérieure à celle de l'air sur l'ensemble du corps, la masse volumique de l'eau étant environ 800 fois plus élevée que celle de l'air. Cette augmentation de pression favorise le déplacement des gaz, substances et fluides vers le thorax, facilitant ainsi le drainage des métabolites et contribuant à la diminution des œdèmes post-effort. De plus, elle exerce une compression sur les muscles et les nerfs, pouvant ainsi atténuer l'influx nerveux et favoriser la récupération.

b. **Les variations de la température corporelle induites :**

Selon la température de l'eau, des modifications de la température corporelle peuvent être induites, entraînant différents effets physiologiques :

• **Effets d'une application de froid :**

- Réduction de l'activité métabolique.
- Vasoconstriction des capillaires, limitant l'accumulation des métabolites et l'inflammation, ce qui réduit la formation d'œdèmes ainsi que la douleur et l'inconfort perçus lors des mouvements. Une vasodilatation réflexe peut survenir après l'exposition au froid (effet rebond).
- Diminution de la conduction nerveuse, pouvant expliquer une atténuation de la sensation de fatigue.
- Réduction de l'élasticité musculaire.

• **Effets d'une application de chaleur :**

- Augmentation de l'activité métabolique.

- Vasodilatation, favorisant l'apport en oxygène, en nutriments et en anticorps.
- Diminution de l'activité des fuseaux neuromusculaires et de la sensibilité à l'étirement, contribuant ainsi à une meilleure relaxation musculaire.

**c. Les variations de la vasomotricité des capillaires sanguins :**

Ce phénomène est particulièrement marqué lors de l'immersion en contraste thermique, qui consiste à alterner des immersions en eau froide et en eau chaude (voir paragraphe Les différentes modalités d'immersion).

L'alternance de températures provoque une succession de vasoconstrictions et de vasodilatations capillaires, ce qui aurait pour effet de stimuler le flux sanguin tout en réduisant l'inflammation et la durée de celle-ci. Ce mécanisme, appelé vaso-pumping, favoriserait l'évacuation des métabolites, accélérerait la réparation musculaire après l'effort et limiterait les processus métaboliques au sein du muscle sollicité.

L'augmentation du flux sanguin favoriserait également les échanges métaboliques avec le milieu extracellulaire en optimisant les gradients de pression. De plus, cette stimulation circulatoire entraînerait une augmentation du volume d'éjection systolique (VES) due à une augmentation de la précharge cardiaque. Cela induirait une réduction des résistances périphériques, contribuant à accroître le débit sanguin sans augmentation significative de la fréquence cardiaque (FC). (Ecurat, 2016, pp. 6-7)

➤ **Les différentes modalités d'immersion :**

Il existe quatre principales modalités d'immersion décrites dans la littérature, classées selon la température de l'eau. Toutefois, il convient de noter que leur classification peut varier selon les auteurs, notamment en ce qui concerne la durée d'immersion :

**a. Immersion en eau tempérée (IET) :**

L'eau est considérée comme tempérée lorsqu'elle permet le maintien de la température corporelle pendant une immersion d'une heure (environ 35°C), soit une température comprise entre 30°C et 34°C selon la quantité de graisse sous-cutanée du sujet. Cette modalité est souvent utilisée pour isoler l'effet de la pression hydrostatique sur la récupération, sans interférence des variations de température corporelle ou cutanée.

**b. Immersion en eau chaude (IEC) :**

Cette méthode consiste à immerger le sujet dans une eau à une température supérieure à 42°C pendant dix à vingt minutes. L'élévation de la température des tissus superficiels entraîne une vasodilatation, augmentant le débit sanguin cutané ainsi que la fréquence cardiaque (FC). Cette élévation de la FC pourrait prolonger le temps nécessaire à une récupération complète. De plus, l'hyperthermie excessive peut provoquer une dénaturation des protéines et accentuer la réponse inflammatoire, ce qui favoriserait l'augmentation du volume de l'œdème et ralentirait la récupération.

**c. Immersion en eau froide (IEF) :**

Cette technique consiste à immerger le sujet dans une eau dont la température est comprise entre 4°C et 16°C, pendant quinze à vingt minutes. L'immersion en eau froide favoriserait une vasoconstriction, limitant ainsi la perméabilité des vaisseaux aux cellules immunitaires, ce qui réduirait l'œdème et l'inflammation tout en atténuant la perception de la douleur. De plus, une diminution de l'activité nerveuse induite par le froid pourrait réduire la sensation de fatigue et améliorer la capacité des athlètes à maintenir un effort prolongé ou à optimiser leurs performances post-récupération.

**d. Immersion par contraste de température (IECT) :**

Cette méthode repose sur l'alternance entre immersion en eau froide et immersion en eau chaude. Les cycles d'immersion varient généralement entre trente et cent-vingt secondes, avec deux à cinq répétitions, pour une durée totale de deux à dix minutes. L'alternance thermique entraîne des variations successives de vasoconstriction et de vasodilatation, un phénomène appelé vaso-pumping, qui favoriserait la circulation sanguine et accélérerait l'élimination des déchets métaboliques. Ce mécanisme imite les effets bénéfiques d'une récupération active à faible intensité, en optimisant le drainage des fluides intracellulaires sans nécessiter d'apport énergétique supplémentaire.

➤ **Contre-indications de l'immersion :**

L'autorisation médicale est indispensable avant d'entreprendre une séance d'immersion, que ce soit pour un patient ou un joueur. Il existe des contre-indications absolues et relatives à cette pratique, bien que leur classification puisse varier selon les auteurs.

**a. Contre-indications absolues :**

• **Contre-indications générales :**

- Toute infection en cours, qu'elle soit cutanée (plaie ouverte, escarre infectée, mycose), oculaire (conjonctivite virale) ou localisée au niveau des voies respiratoires et urinaires (otite, angine, sinusite, bronchite, infection urinaire).
- Présence d'une incontinence urinaire ou fécale.
- **Contre-indications vasculaires et respiratoires :**
  - Insuffisance respiratoire sévère.
  - Ulcères variqueux.
  - Coronaropathies instables avec accès angineux fréquents.
  - Insuffisance cardiaque majeure non contrôlée médicalement.
  - Hypertension artérielle sévère et instable.
  - Hypotension artérielle.
- **Contre-indications liées à l'état du patient :**
  - Affections aiguës avec fièvre, asthénie et hyperalgie (grippe, entéocolopathie, bronchite, rhumatismes inflammatoires en poussée).
  - Maladies neurologiques et neuromusculaires évolutives.
  - Cancers avec localisations ouvertes à la peau ou aux muqueuses.
  - Tuberculose.
  - Infestation par la gale ou les poux.
  - Brûlures sévères.
  - Rupture précoce de la membrane placentaire pendant la grossesse.
  - Présence d'un cathéter supra-pubien ou intraveineux.
  - État général très déficient.
  - Asthénie sévère.
  - Sénilité.
  - Intolérances à la chaleur élevée, érythermalgies, pathologies phlébologiques (varices, hémorroïdes) et troubles majeurs de la coagulation.
  - Réactions au froid extrême, comme la maladie de Raynaud.
  - Allergie à un désinfectant, comme le chlore.
  - Maladies pouvant provoquer des pertes de connaissance, comme l'épilepsie (même en rémission).

**b. Les contre-indications relatives :**

Elles sont temporaires et dépendent de l'évolution de la maladie, sous réserve de l'avis du médecin. Certaines précautions spécifiques peuvent être mises en place. Ces contre-indications incluent :

- Toute maladie en cours, en particulier accompagnée de fièvre.
- Infections broncho-pulmonaires et ORL (sinusite, otite, rhino-pharyngite) ainsi que l'asthme en crise.
- Épisodes aigus de pathologies gastro-intestinales (nausées, vomissements, coliques, diarrhées).
- Pathologies cutanées (infections, éruptions...), plaies, cicatrices et sutures chirurgicales récentes (moins de trois semaines, sauf autorisation médicale avec pansement étanche occlusif).
- Traumatismes musculaires récents avec hématome et épanchements articulaires importants.
- Syndromes menstruels douloureux ou avec saignements abondants.
- Certaines hyperthyroïdies.
- Troubles de la thermorégulation liés à la prise de Ditropan.
- Dysphagie (troubles de la déglutition).
- Perforation tympanique.
- Hydrophobie ou refus catégorique de l'immersion, lié à une peur intense de l'eau ou une pudeur excessive.
- Présence d'une poche de colostomie pouvant causer des désagréments liés à l'odeur ou la décoloration de l'eau (prévoir de vider le collecteur avant la séance). (Kemoun, Watelain, & Carette, 2006)

**Chapitre 3 :**  
**Quantification de la**  
**charge**  
**d'entraînement, de**  
**la fatigue et de la**  
**récupération**

## **1. La charge d'entraînement :**

L'exercice constitue un facteur de stress qui déclenche diverses réponses psychophysiologiques, entraînant ainsi des adaptations cellulaires au sein de nombreux systèmes organiques. Afin d'optimiser cette réponse adaptative, il est essentiel que les entraîneurs et les scientifiques surveillent et ajustent précisément la charge de stress imposée à chaque athlète de manière individualisée. (Impellizzeri, Marcora, & Coutts, 2018) L'un des enjeux majeurs est d'appliquer une charge d'entraînement suffisamment élevée pour développer les qualités ciblées, tout en maîtrisant l'intensité de la fatigue afin d'éviter d'atteindre le seuil critique menant à la blessure. Dans cette optique, le suivi de la charge d'entraînement constitue un outil essentiel pour comprendre l'apparition de la fatigue chez les athlètes. Une quantification précise permet de s'assurer que l'athlète s'adapte efficacement à l'entraînement sans dépasser le seuil du surmenage non fonctionnel. (Halsón S. L., 2014). La quantification de la charge d'entraînement repose sur l'évaluation de ses composantes interne et externe. Elle ne peut être mesurée à travers un seul indicateur, mais plutôt par un ensemble de paramètres complémentaires. Ainsi, la gestion optimale de la charge d'entraînement s'appuie sur deux grandes catégories de paramètres :

### **1.1. La charge externe :**

La charge externe correspond au « plan d'entraînement » et permet de mesurer le travail physique accompli, en se basant sur des paramètres tels que la fréquence, l'intensité et la durée des exercices. Elle ne prend pas en compte les caractéristiques individuelles de l'athlète, mais offre une évaluation objective du volume et de l'intensité de l'entraînement prescrit. (Impellizzeri, Marcora, & Coutts, 2018) (Halsón S. L., 2014) La charge externe peut être mesurée à l'aide de plusieurs paramètres, tels que la distance totale parcourue, le temps total d'entraînement, le volume de charge soulevé (en tonnes), le pourcentage d'une répétition maximale (%RM), ainsi que le nombre et l'intensité des sprints. De plus, les avancées technologiques ont permis l'utilisation de nouveaux outils comme les accéléromètres tridimensionnels, les systèmes GPS, les capteurs de puissance, le tracking vidéo et les gyroscopes, offrant ainsi une analyse plus fine et objective de la charge de travail imposée à l'athlète. (Sedeaud, et al., 2018) Sur le terrain comme dans certains protocoles de recherche, la technologie GPS est couramment employée pour analyser les mouvements spécifiques des athlètes, mesurer les distances parcourues et évaluer les variations de vitesse. Cet outil est particulièrement utile dans les sports intermittents, où il

permet d'obtenir des données précises sur l'intensité et la répartition des efforts au cours d'une séance ou d'une compétition. (Coutts, Crowcroft, & Kempton, 2018) En effet, Bekraoui, Cazorla et Léger (2010) ont souligné l'intérêt du GPS dans le football, mettant en évidence sa capacité à fournir des données précises sur la distance parcourue par chaque joueur ainsi que sur la manière dont elle est répartie en fonction des différentes intensités d'effort. Cette technologie permet ainsi de mieux comprendre les exigences physiques du jeu et d'adapter les charges d'entraînement de manière individualisée, en prenant en compte le profil du joueur et les spécificités de son poste. (Aouir & ouddai, 2020) Et puis il y a Les accéléromètres, désormais intégrés à certains dispositifs GPS, permettent une quantification plus complète de la charge biomécanique en incluant le nombre d'accélération, de décélération et de changements de direction, non mesurables par le GPS seul. (Hoppe, Baumgart, & Freiwald, 2019) Nous disposons aussi la technique de la capture de mouvement permet de recueillir avec précision les positions d'un objet, d'un segment corporel ou d'un visage, en modélisant les mouvements dans un environnement virtuel sur ordinateur. (Phomsoupha, Le Truedic, & Le Bars, 2021) De nombreux logiciels de capture de mouvement sont utilisés dans l'entraînement sportif à travers différentes disciplines. Toutefois, en raison de son coût élevé, cette technologie semble difficilement envisageable pour une quantification quotidienne de l'entraînement.

## **1.2. La charge interne :**

La charge interne représente la réponse psychologique et physiologique à la charge externe, combinée à celle des activités de la vie courante et autres facteurs environnementaux et biologiques. (Soligard, et al., 2016) Elle représente le stress physiologique imposé à un athlète en réponse à un stimulus d'entraînement (par exemple, évaluation perceptive de l'intensité, fréquence cardiaque et mesures hématologiques), et des modèles de charge d'entraînement interne intégrant des paramètres perceptuels et physiologiques ont été largement utilisés dans les sports d'équipe. (Casamichana, Castellano, Calleja, San Román, & Castagna, 2013) Pour la quantifiée on utilise plusieurs catégories de variables tel que : les mesures physiologiques, les mesures biologiques, les mesures perceptives.

### **1.2.1. Mesures physiologiques et biologiques :**

**Les variations de la fréquence cardiaque et de la consommation d'oxygène** étant proportionnelles à l'intensité de l'exercice, elles constituent des indicateurs fiables et réguliers pour quantifier l'intensité de l'effort fourni (Borresen & Lambert, 2008) La

fréquence cardiaque permet également d'estimer la consommation d'oxygène lors d'un exercice d'intensité légère à maximale, ces deux paramètres étant liés de manière linéaire. (Hopkins, 1991) La fréquence cardiaque est sans doute la variable la plus utilisée pour mesurer la charge interne, en raison de sa praticité sur les plans financier et matériel. Elle permet de quantifier et de suivre les effets physiologiques à différents moments : pendant l'exercice avec la FC<sub>ex</sub>, le pourcentage de la FC<sub>max</sub> (%FC<sub>max</sub>) et le pourcentage de la FC de réserve (%FC<sub>res</sub>) ; juste après l'exercice avec la fréquence cardiaque de récupération (FCR) ; et au repos pour évaluer les niveaux de fatigue et de récupération avec la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) et la fréquence cardiaque de repos (FCr). (Dellal, et al., 2012) La fréquence cardiaque est le paramètre physiologique le plus couramment utilisé en football, car elle a été validée comme un indicateur précis de la charge de travail lors de divers types d'entraînement et d'exercices spécifiques à ce sport. (Castagna, Impellizzeri, Chaouachi, Bordon, & Manzi, 2011) En général, une fréquence cardiaque plus basse est associée à une meilleure condition physique du joueur. (Borresen & Lambert, 2008) En effet, cela signifie qu'à l'effort ou au repos, un cœur battant plus lentement est plus efficace dans ses mécanismes de pompage, grâce à une meilleure fraction d'éjection systolique, une hypertrophie myocardique et une optimisation des mécanismes de transport de l'oxygène. (Azevedo, et al., 2014) De même, après l'exercice, une fréquence cardiaque plus basse peut indiquer une récupération plus rapide pour une même intensité d'effort. Parmi les mesures de la FC, les variations de la VFC ont été étudiées et synthétisées par plusieurs auteurs, démontrant que la VFC constitue un indicateur pratique et fiable pour surveiller la charge d'entraînement et l'état de fatigue des sportifs. (Buchheit, Simpson, Al Haddad, Bourdon, & Méndez-Villanueva, 2011). Cependant, il est nécessaire de mesurer en même temps la consommation d'oxygène.

Pour quantifier la contribution aérobie, de nombreux auteurs ont étudié la **consommation maximale d'oxygène** (VO<sub>2</sub>max), conduisant au développement de tests spécifiques ces dernières années. La VO<sub>2</sub> est généralement estimée en laboratoire ou en conditions réelles (match ou entraînement) par l'analyse des échanges gazeux. (Smekal, et al., 2001) Il est difficile de déterminer avec précision les valeurs maximales de VO<sub>2</sub>max au cours d'un match de football. Des spiromètres portables sont parfois utilisés pour des tests sur le terrain afin d'estimer la consommation d'oxygène en conditions réelles. (Martínez-Lagunas & Hartmann, 2014) À l'entraînement lors de jeux réduits (Impellizzer, Rampinini, & Marcora,

2005) Cependant, leur utilisation en situation de match pourrait perturber la performance des joueurs. (Ogushi, Ohashi, Nagahama, Isokawa, & Suzuki, 1993)

**La concentration sanguine en lactate** est l'une des méthodes biologiques les plus couramment utilisées pour évaluer la charge interne, et elle a été rapportée comme étant sensible aux variations de la charge externe. (Pyne, Lee, & Swanwick, 2001) La mesure de la concentration sanguine en lactate n'est pas toujours adaptée pour quantifier l'intensité de l'effort dans toutes les disciplines, car elle reflète indirectement la contribution de la filière anaérobie glycolytique. De plus, son utilisation présente certaines limites, étant influencées par divers facteurs externes (conditions environnementales, statut hydrique) ainsi que par des variables liées à son prélèvement (moment et zone de prélèvement). (Borresen & Lambert, 2008) La mesure de la lactatémie sanguine peut se faire par une prise de sang intraveineuse analysée en laboratoire ou par un prélèvement capillaire au bout du doigt à l'aide d'un analyseur portable, offrant ainsi une évaluation rapide et fiable directement sur le terrain. (Pyne, Boston, Martin, & Logan, 2000) La lactatémie sanguine est étroitement corrélée à d'autres indicateurs de l'intensité de l'exercice, tels que les perceptions subjectives de l'effort (RPE) et les mesures de la FC. (Coutts, Slattery, & Wallace, 2007) La concentration en lactate sanguin constitue un outil pertinent pour le suivi et la quantification de la charge d'entraînement ainsi que de la fatigue. Toutefois, elle est fortement influencée par l'activité réalisée dans les cinq minutes précédant le prélèvement. (Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006) En outre, son utilisation quotidienne peut s'avérer inadaptée, car seuls les professionnels de santé qualifiés sont habilités à réaliser ce test. Ainsi, le prélèvement de lactate sanguin présente plusieurs limitations pratiques, le rendant moins populaire que l'RPE et la FC, notamment chez les footballeurs de très haut niveau.

Il est possible de quantifier la charge interne à l'aide d'autres variables biologiques, notamment **la concentration sanguine en créatine kinase (CK)**, qui reflète indirectement les dommages musculaires induits par l'exercice. Toutefois, il convient de considérer la cinétique de libération de la CK dans la circulation sanguine. (Paulsen, Mikkelsen, Raastad, & Peake, 2012) Cet indice est considéré comme un marqueur plus représentatif de la fatigue structurelle. Les principes de sa mesure sont détaillés dans la section consacrée à la quantification de la fatigue et de la récupération. Par ailleurs, un autre déterminant physiologique réside dans les réponses systématiques qui surviennent au cours de l'activité physique, telles que la régulation hormonale ou l'élévation de la température corporelle. En

effet, de manière générale, plus la température corporelle augmente pendant l'exercice, plus l'effort perçu est intense et éprouvant. (Coquart, 2016, p. 31)

*Tableau 1 : Principaux outils de mesure physiologique et biologique de la charge interne spécifique au football*

Variable	Outils	
Fréquence cardiaque (FC) à l'exercice	Cardio-fréquence mètre	Marqueur de l'intensité de l'exercice
Consommation d'oxygène	Test incrémental en laboratoire (appareils portatifs)	Méthode standard de mesure de la contribution aérobie
Concentration en Lactate	Prélèvements sanguins par capillarité	Marqueur de la contribution anaérobie glycolytique

### 1.2.2. Mesures perceptives :

Pendant un exercice physique, ces adaptations physiologiques jouent un rôle essentiel dans la perception de l'effort. Le cerveau les interprète en permanence afin d'ajuster la force musculaire produite. Pour augmenter la tension musculaire et la force développée, le cortex moteur émet une commande anticipatrice sous forme d'influx nerveux envoyés aux muscles, leur ordonnant de recruter davantage d'unités motrices et/ou d'accroître leur fréquence d'activation. Simultanément, une copie de cette décharge est transmise au cortex sensoriel, qui la perçoit comme une intensification de l'effort. L'intégration de ces signaux efférents avec les informations proprioceptives issues des muscles et des articulations permet ainsi une évaluation précise de l'effort fourni. (Coquart, 2016, p. 31) Le concept de perception de l'effort a été introduit à la fin des années 1950 à travers des méthodes évaluant la fatigue musculaire et l'essoufflement. Cette mesure psychophysiologique, développée par le chercheur suédois Gunnar Borg, est généralement définie comme « l'intensité subjective de l'effort, de la contrainte, de l'inconfort et/ou de la fatigue ressentie par un individu lors d'un exercice ». (Coquart, 2016, p. 28) La mesure de l'effort perçu à l'aide des différentes échelles de Borg (CR-10, 6-20 points) repose sur l'évaluation du stress

physiologique et psychologique ressenti par l'athlète pendant l'exercice. Selon Borg, l'effort perçu correspond à « la réaction d'un individu, à la fois physique et psychologique, en réponse à un effort ». (Swart, Lindsay, Lambert, Brown, & Noakes). Initialement définie sur une échelle de 6 à 20 points, l'échelle de Borg a été modifiée en 1982 par son créateur, qui a introduit une version simplifiée allant de 1 à 10 (CR-10). Cette nouvelle échelle permet une évaluation plus intuitive de l'effort perçu, avec un score de « 10 » correspondant à une intensité maximale jamais ressentie auparavant. (Borg, 1998) Deux médecins physiologistes ont proposé une adaptation de l'échelle RPE6-20 pour les francophones en 1990, (figure 8).

<b>Comment percevez-vous de l'effort effectué ?</b>	
•	<b>6</b>
•	<b>7 très très léger</b>
•	<b>8</b>
•	<b>9 très léger</b>
•	<b>10</b>
•	<b>11 léger</b>
•	<b>12</b>
•	<b>13 ni léger ni dur</b>
•	<b>14</b>
•	<b>15 dur</b>
•	<b>16</b>
•	<b>17 très dur</b>
•	<b>18</b>
•	<b>19 très très dur</b>
•	<b>20</b>

*Figure 18 : Figure 8 : Traduction française de l'échelle de perception de l'effort de (Borg, 1970)*

En 1995, le professeur américain Carl Foster et ses collaborateurs ont adopté une version révisée d'une échelle perceptive de Borg, vraisemblablement la CR-10. Ils ont toutefois ajusté certains descriptifs verbaux afin de mieux correspondre à leur objectif. Cette version modifiée a été spécifiquement conçue pour évaluer la charge d'entraînement de manière plus précise. (Foster, et al., 1995) L'échelle CR10 a été récemment traduite en français par Haddad. (Haddad, et al., 2013)

<b>cotation</b>	<b>Description verbale</b>
<b>0</b>	<b>Repos</b>
<b>1</b>	<b>Très faible</b>
<b>2</b>	<b>Facile</b>
<b>3</b>	<b>Modéré</b>
<b>4</b>	<b>Légèrement difficile</b>
<b>5</b>	<b>Difficile</b>
<b>6</b>	
<b>7</b>	<b>Très difficile</b>
<b>8</b>	
<b>9</b>	
<b>10</b>	<b>Similaire à ma compétition la plus difficile</b>

*Figure 19: L'échelle CR10 traduisit par (Haddad M, 2013), de l'échelle d'intensité subjective de la charge (CR10) de Foster.*

Ces résultats suggèrent que les valeurs perceptuelles obtenues avec l'échelle RPE CR-10 révisée sont étroitement corrélées aux variables physiologiques centrales et périphériques, validant ainsi la version française de cette échelle. Elle peut être utilisée pour mesurer la CE dans diverses disciplines, qu'il s'agisse d'activités d'endurance, de musculation ou de force.

La méthode sRPE de Carl Foster (séance RPE-CR10) a été largement appliquée dans le football par plusieurs chercheurs afin de quantifier la charge d'entraînement. Sa validité a été confirmée par des corrélations significatives avec différents marqueurs objectifs de la charge (fréquence cardiaque, VO<sub>2</sub>max, lactate). Cette méthode est aujourd'hui reconnue comme un outil efficace pour contrôler la charge d'entraînement, optimiser la programmation, prévenir les blessures et ajuster la charge dans le cadre d'une rééducation sportive post-blessure. (Ben Belgith, Ahmaidi, Maille, Noirez, & Desgorces, 2012)

## **2. Fatigue et récupération :**

L'évaluation de la récupération peut se faire à travers un indicateur de performance spécifique à la discipline. Cependant, une analyse plus approfondie nécessite de mesurer les mécanismes sous-jacents de la fatigue, qui, comme évoqué précédemment, est multifactorielle. Les techniques de récupération influencent différemment les divers systèmes psychophysiologiques liés à la fatigue. Ainsi, quantifier ces mécanismes permet

d'évaluer l'efficacité de chaque méthode de récupération sur des composantes spécifiques de la fatigue. Cette approche optimise le choix des stratégies de récupération en les adaptant au type de fatigue généré par l'entraînement. En ce sens, il apparaît évident que l'état de récupération est intrinsèquement lié au niveau de fatigue. Par conséquent, quantifier le continuum fatigue-récupération implique une évaluation large et multi-temporelle, prenant en compte la cinétique de l'applicabilité pratique des indices de récupération constitue des critères essentiels pour une gestion efficace de l'entraînement et de la performance.

### **2.1. Physiologique :**

Les variables physiologiques sont fréquemment utilisées pour évaluer la fatigue et la récupération après un effort intermittent de haute intensité. Parmi elles, la FC constitue un indicateur clé de l'état de récupération d'un athlète. Plus spécifiquement, la FCR et VFC sont largement employées pour analyser la récupération physiologique et ajuster les programmes d'entraînement en fonction de l'état de forme et de la charge accumulée. (Daanen, Lamberts, Kallen, Jin, & Van Meeteren, 2012) Bien que couramment utilisée dans les disciplines à dominante anaérobie, l'évaluation de la fatigue par la mesure de la concentration de lactate fait encore l'objet de débats. Son applicabilité aux sports intermittents, comme le tennis, reste limitée, car elle ne reflète pas toujours fidèlement l'état de fatigue global de l'athlète. (Girard & Millet, 2012) Par ailleurs, les dommages musculaires induits par les contractions excentriques répétées dans ce type de discipline font de la concentration de CK un marqueur biologique largement utilisé. Son activité, qui atteint un pic entre 12 et 48 heures après l'exercice, est généralement considérée comme proportionnelle à la gravité des lésions musculaires causées par l'effort. (Paulsen, Mikkelsen, Raastad, & Peake, 2012) (Brancaccio, Lippi, & Maffulli, 2010) Des marqueurs hormonaux, comme le ratio testostérone/cortisol ou le taux de cortisol salivaire, ainsi que certains marqueurs immunologiques, peuvent être utilisés pour évaluer la fatigue. Toutefois, en raison de leur variabilité et de la complexité de leur mesure, aucun marqueur spécifique n'a encore été clairement identifié comme référence pour quantifier la fatigue. (Poignard, 2020, p. 44)

### **2.2. Analyse de la fonction neuromusculaire :**

La fatigue neuromusculaire, qu'elle soit d'origine centrale ou périphérique, est difficile à quantifier, notamment dans des conditions de pratique réelle. Son évaluation repose sur des

méthodes complexes, parfois invasives, qui nécessitent des protocoles rigoureusement standardisés pour garantir la fiabilité des mesures.

### **2.3. Cas spécifique de la mesure simultanée d'un indice de charge externe et interne :**

L'évaluation simultanée de la charge interne et de la charge externe permet de mieux comprendre la réponse physiologique de l'athlète face à un même stimulus d'entraînement. Une diminution de la charge interne pour une charge externe identique traduit une amélioration des capacités physiques. À l'inverse, une augmentation de la charge interne dans des conditions similaires peut indiquer une fatigue accrue ou une diminution des performances. (Impellizzeri, Marcora, & Coutts, 2018) L'association d'indicateurs physiologiques et psychologiques permet d'identifier l'origine de la fatigue chez un athlète. Une fatigue musculaire physiologique se traduit généralement par une augmentation de la FC et de la sRPE, tandis qu'une fatigue mentale se manifeste uniquement par une élévation de la perception de l'effort. (Marcora, 2009)

### **2.4. Performances fonctionnelles et spécifiques :**

Les paramètres fonctionnels reflètent une capacité physique dépendant de systèmes physiologiques sollicités. Un marqueur fonctionnel de fatigue/récupération n'est pertinent que s'il représente une qualité physique essentielle sur le terrain. Les plus couramment utilisés incluent les paramètres de puissance développée lors de mouvements tels que le Squat Jump (SJ), le Contremouvement Jump (CMJ) et le Drop Jump (DJ), ainsi que les paramètres de vitesse mesurés sur des sprints de 5, 10 et 20 mètres. (Poignard, 2020, p. 46)

### **2.5. Perceptifs :**

Bien que la fatigue soit principalement d'origine physiologique, la dimension psychologique joue également un rôle crucial. Dans le cadre du continuum fatigue-récupération, les stress « non liés à l'entraînement », tels que l'état émotionnel ou les facteurs sociaux, peuvent influencer la réponse de l'athlète. Ainsi, pour une même charge d'entraînement, la fatigue ressentie peut varier selon les périodes en raison de ces facteurs externes. (Kenttä & Hassmen, 1998) En effet, la perception qu'a un athlète de son état physique et de sa capacité de performance influence directement sa récupération après une charge d'entraînement. Ces dernières années, cette dimension subjective a pris une importance croissante, notamment grâce aux recherches sur les symptômes du surmenage, qui ont mis en évidence l'impact des facteurs psychologiques sur la fatigue et la récupération. (Kenttä & Hassmen, 1998) (Meeusen, et al., 2013) Ces études ont montré que

ces symptômes étaient systématiquement corrélés à des altérations psychologiques, telles qu'une humeur perturbée ou des signes de dépression. Ces états sont généralement évalués à l'aide de questionnaires d'auto-évaluation perceptifs, permettant aux athlètes de quantifier leur ressenti face à la charge d'entraînement et à la fatigue accumulée. (Saw, Main, & Gastin, 2016) (Meeusen, et al., 2013) Ces mesures sont désormais employées pour suivre la fatigue même en l'absence de symptômes cliniques. De plus, les évaluations perceptives se révèlent sensibles aux variations de la charge d'entraînement et constituent un outil précieux pour anticiper les performances des athlètes. (Thorpe, et al.) (Govus, Coutts, Duffield, Murray, & Fullagar, 2017) (Saw, Main, & Gastin, 2016) Ces questionnaires, basés sur l'auto-évaluation, offrent une approche simple et rapide pour suivre l'état de récupération des athlètes. Toutefois, l'absence de consensus sur les facteurs influençant la fatigue perçue rend leur interprétation parfois complexe. Malgré cela, ces outils sont largement utilisés pour ajuster les charges d'entraînement et optimiser la récupération. (Kallus & Kellmann, 2016) . Ces questionnaires évaluent à la fois l'état de récupération et le niveau de fatigue de l'athlète. Ils intègrent différents facteurs, notamment physiques, psychologiques et émotionnels, en se basant sur la perception de l'athlète pour fournir une analyse globale de son état. Leur utilisation présente plusieurs avantages : ils sont simples à administrer, rapides à compléter et permettent une évaluation complète du processus de récupération et de la fatigue. (Kellmann & Beckmann, 2003) Aujourd'hui, De nombreux questionnaires développés spécifiquement pour le sport de haut niveau sont aujourd'hui disponibles : RESTQ-Sport, POMS. (Kellmann & Beckmann, 2017) MTDS (Main, Warmington, Korn , & Gas, 2016) ou encore l'ARSS ou le SRSS (Nässi, Ferrauti, Meyer, Pfeiffe, & Kellmann, 2017) Ces questionnaires validés offrent une évaluation multidimensionnelle de la fatigue et de la récupération grâce à plusieurs échelles perceptives. Par exemple, le questionnaire RESTQ-Sport comporte 76 items distincts. Pour une quantification régulière ou quotidienne, il est généralement admis de sélectionner un nombre restreint d'échelles afin de favoriser l'adhésion des athlètes, garantissant ainsi la fiabilité et la reproductibilité des données recueillies. (Coutts, Crowcroft, & Kempton, 2018)

Le questionnaire de Hooper est un autre outil largement utilisé pour évaluer l'état de fatigue et de récupération des athlètes. Il repose sur une approche multidimensionnelle en prenant en compte plusieurs facteurs tels que la qualité du sommeil, le niveau de stress, la perception de la fatigue et les douleurs musculaires. Chaque facteur est évalué sur une échelle de 1 à

7, permettant ainsi une analyse globale et intégrée de l'état de l'athlète. Son utilisation régulière offre un suivi précis de l'évolution de la fatigue et de la récupération, facilitant ainsi l'ajustement des charges d'entraînement. (Hooper & Mackinnon, 1995) Ce questionnaire d'auto-évaluation, simple et rapide à administrer, comprend un item sur la perception des douleurs musculaires ainsi que trois autres variables déclaratives : la fatigue, le stress et la qualité du sommeil. Comme la plupart des questionnaires, il a été initialement conçu pour détecter les signes et symptômes liés au surmenage. Cependant, son utilisation s'est élargie et a été validée par l'auteur comme un outil d'auto-évaluation de la fatigue dans le suivi de l'entraînement. Les paramètres subjectifs de ce questionnaire ont montré une corrélation avec certains marqueurs objectifs, témoignant de modifications physiologiques induites par l'exercice, telles que la concentration de catécholamines ou la numération des leucocytes. De plus, ils peuvent également servir de prédicteurs pour certains indicateurs de performance. (Hooper & Mackinnon, 1995)

Au cours de nos recherches sur les outils et méthodes permettant d'évaluer la récupération, nous avons découvert une approche innovante appelée « Total Quality Recovery » (TQR), développée par **Goran Kenttä** et **Peter Hassmén** en 1998. Ces chercheurs suédois ont introduit cette échelle dans leur article intitulé « Overtraining and Recovery: A Conceptual Model ». Cette méthode subjective et pratique permet de surveiller l'état de récupération des athlètes en intégrant à la fois des facteurs physiques et psychologiques. (Kenttä & Hassmen, 1998) L'équipe de (Osiecki, et al., 2015) a étudié la corrélation entre le TQR et des marqueurs biologiques tels que la créatine kinase (CK). Leurs conclusions indiquent que le TQR est un outil valide pour évaluer la récupération, en lien avec des indicateurs objectifs de la fatigue musculaire. (Osiecki, et al., 2015) Il permet d'obtenir une évaluation rapide et fiable de la récupération, contribuant à une planification optimale de l'entraînement (Bishop, Jones, & Woods, 2008), et c'est un outil essentiel pour surveiller l'état de récupération et ajuster les interventions d'entraînement en sport de haute intensité. (Cottrill, 2008)

L'échelle TQR utilise une échelle de 6 à 20 comme il est démontré à la **figure20** :

<b>Total quality recovery (TQR)</b>	<b>Qualité totale de récupération (TQR)</b>
6	6
7 Very, very poor recovery	7 Récupération très, très mauvaise
8	8
9 Very poor recovery	9 Très mauvaise récupération
10	10
11 Poor recovery	11 Mauvaises récupérations
12	12
13 Reasonable recovery	13 Récupération raisonnable
14	14
15 Good recovery	15 Bonne récupération
16	16
17 Very Good recovery	17 Très bonne récupération
18	18
19 Very Very Good recovery	19 Très très bonne récupération
20	20

*Figure 20: Echelle TQR*

Après une séance d'entraînement ou une compétition, les joueurs évaluent leur état global de récupération en prenant en compte plusieurs facteurs, tels que la fatigue physique, l'état mental, la qualité du sommeil et la satisfaction générale. Ils attribuent ensuite une note unique entre 6 et 20 sur l'échelle TQR en fonction de leur ressenti.

En conclusion, il est pertinent et souvent recommandé de combiner un indicateur subjectif avec un indicateur objectif pour évaluer l'état de récupération. L'indicateur objectif permet de mesurer des paramètres physiologiques concrets et quantifiables, tandis que l'indicateur subjectif reflète l'expérience personnelle de l'athlète, en intégrant les aspects mentaux, émotionnels et physiques non directement mesurables.

Il est essentiel de rappeler que la période de mesure de l'indice est déterminante. Pendant un exercice (match ou séance d'entraînement), cet indice peut être utilisé comme un indicateur de charge (interne ou externe), voire comme un indice de performance dans

certaines contextes. En revanche, lorsqu'il est mesuré après l'entraînement et comparé à la valeur pré-entraînement, il devient un indicateur de l'état de fatigue et de récupération.

**Chapitre 4 : Charge  
spécifique du  
football de haut  
niveau**

Cette section vise à présenter les spécificités de l'activité footballistique ainsi que les divers stress auxquels les joueurs sont soumis lors d'un match ou d'une séance d'entraînement. L'objectif est d'analyser les caractéristiques globales de l'activité, sa nature et les facteurs de variabilité influençant la relation entre les charges de travail externes et internes imposées aux joueurs.

Dans la mesure du possible, nous nous appuyerons sur les données issues des groupes d'élite, lorsque celles-ci sont disponibles. En raison des conditions et restrictions spécifiques à leur entraînement, ces joueurs nécessitent une planification rigoureuse de la charge d'entraînement afin d'optimiser leur performance. L'attention portée à ces aspects permet également de mieux comprendre l'impact des stratégies de récupération sur leur état physiologique et leur capacité de performance.

### **1. Profil de l'activité de joueur de football :**

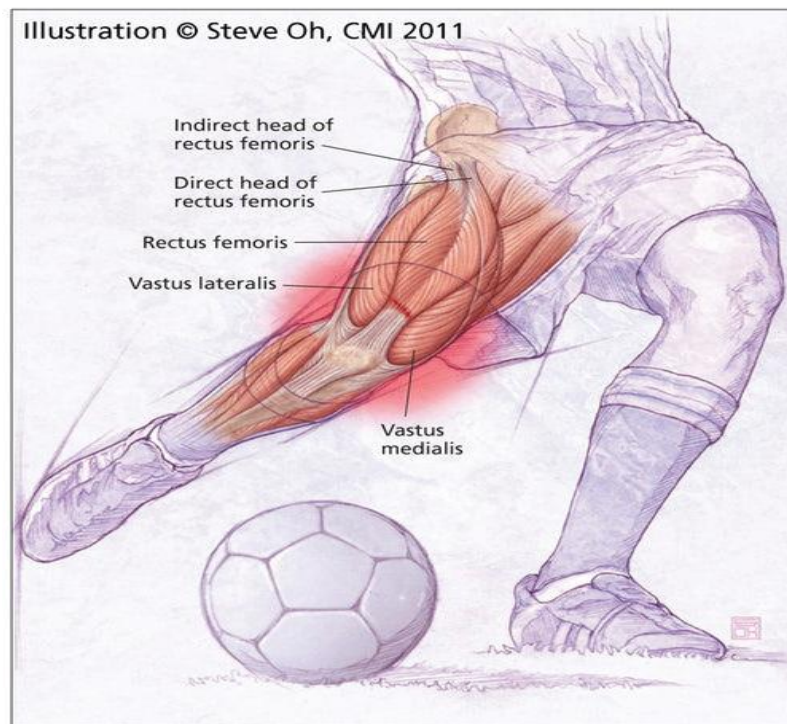
Cette section met en évidence la nature intermittente du football, caractérisée par une alternance entre efforts intenses et phases de récupération, qu'elles soient actives ou passives. Ces efforts comprennent des sprints, des accélérations, des changements de direction ainsi que des actions techniques et tactiques exigeantes, imposant une charge spécifique qui varie selon les postes, les styles de jeu et les conditions du match (Salvo, et al., 2007). Sur le plan énergétique, les systèmes phosphagène (ATP-PCr) et glycolytique jouent un rôle fondamental. Les actions explosives telles que les sprints et accélérations rapides dépendent principalement de l'ATP disponible via la phosphocréatine, tandis que les efforts prolongés, comme les courses soutenues, sollicitent davantage la glycolyse, pouvant entraîner une accumulation de lactate et contribuer à la fatigue (Bangsbo, 1994) (Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2005). Le système aérobie intervient lors des périodes de moindre intensité, telles que la marche ou les courses lentes entre les phases de jeu intenses. Il favorise la récupération en oxydant le lactate accumulé et en régénérant l'ATP, limitant ainsi la fatigue musculaire et permettant le maintien d'un niveau de performance optimal tout au long du match (Bangsbo, 1994). De fait, plusieurs études ont démontré que la capacité aérobie est un facteur déterminant pour soutenir une performance élevée sur l'ensemble d'un match (Krstrup, et al., 2006). En raison de la nature intermittente du jeu, l'intensité des efforts varie considérablement, entraînant des fluctuations de la  $\dot{V}O_2$  et de la FC au fil du match. La FC des joueurs est fortement influencée par leur poste et l'intensité du jeu, atteignant des valeurs élevées lors des actions intenses avant de redescendre durant

les phases de récupération (Rampinini, et al., 2007). Ce passage met en évidence l'interaction entre les différentes filières énergétiques et les exigences biomécaniques du football. Bien que les efforts explosifs soient principalement soutenus par les systèmes anaérobies, la filière aérobie joue un rôle fondamental pour assurer la répétition de ces actions tout au long du match. Lors des phases de récupération entre les sprints et les séquences de jeu moins intenses, le métabolisme oxydatif fournit l'énergie nécessaire à la resynthèse de la PCr et à l'élimination des sous-produits métaboliques tels que le lactate. Cette capacité aérobie est donc déterminante pour maintenir une performance optimale sur la durée (Krustrup, et al., 2006). La fatigue en fin de match est généralement associée à une diminution des réserves de glycogène musculaire et à une altération des processus énergétiques. Cette baisse énergétique affecte directement la capacité des joueurs à répéter des sprints à haute intensité, ce qui peut influencer leur performance lors des dernières phases du match.

Sur le plan biomécanique, la performance d'un joueur repose sur sa capacité à enchaîner des mouvements explosifs sollicitant divers groupes musculaires. Ces actions incluent les accélérations, les changements de direction rapides, les frappes puissantes et les sauts en duel aérien. Elles nécessitent une coordination neuromusculaire optimale ainsi qu'une activation synchronisée des muscles des membres inférieurs et du tronc (Bangsbo, 1994) (Lees, Asai, Andersen, Nunome, & Sterzing, 2010).

Au-delà des contraintes biomécaniques liées aux frappes de balle, la réussite d'un joueur dépend aussi de sa capacité à se repositionner rapidement sur le terrain, à couvrir de longues distances à haute intensité et à maintenir l'efficacité de ses mouvements tout au long des 90 minutes de jeu (Mohr, Krustrup, & Bangsbo, 2003).

Les accélérations et les sprints sollicitent principalement les quadriceps, les ischio-jambiers et les fessiers, qui génèrent la force motrice nécessaire. Les changements de direction impliquent fortement les abducteurs et adducteurs de la hanche, qui assurent la stabilité du bassin. Enfin, lors des frappes de balle, l'ensemble de la chaîne cinématique est mobilisé : les membres inférieurs produisent la force initiale, transmise au tronc qui assure la stabilisation et la précision du geste (Nunome, Asai, Ikegami, & Sakurai). La précision et la puissance de la frappe dépendent de la coordination entre les segments corporels, particulièrement entre les hanches et le membre inférieur frappant. (Lees, Asai, Andersen, Nunome, & Sterzing, 2010)



*Figure 21 : exercice de tir au football-puissance et techniques de précision-muscles impliqués*

Une grande partie des efforts physiques en football repose sur le cycle "étirement-raccourcissement" (Stretch-Shortening Cycle) (SSC). Par exemple : Les sauts pour un duel aérien utilisent l'énergie élastique stockée dans les muscles et les tendons. Les sprints rapides nécessitent une contraction musculaire rapide après un étirement préalable des muscles (Komis, 2000). L'efficacité du cycle d'étirement-raccourcissement (SSC) est essentielle pour effectuer des mouvements explosifs comme les sprints, les sauts et les changements rapides de direction. Cette capacité dépend fortement des qualités neuromusculaires des joueurs et de leur niveau d'entraînement spécifique. (Markovic & Mikulic, 2010)

## **2. Caractéristiques d'une saison professionnelle : planification de l'entraînement et des périodes de compétition :**

Le football professionnel est marqué par un calendrier exigeant, alternant des périodes de compétition et d'entraînement, avec une saison qui s'étend généralement sur 10 à 11 mois. Ce cycle annuel impose une organisation rigoureuse pour optimiser la performance et minimiser les risques de blessures.

## **2.1. Densité et enchaînement des compétitions :**

La charge compétitive des joueurs professionnels est particulièrement élevée, nécessitant une gestion rigoureuse de la récupération pour éviter l'accumulation de fatigue et préserver la performance tout au long de la saison. En Europe, une équipe de haut niveau dispute en moyenne :

- 38 matchs de championnat national, comme en Premier League ou en Liga (en Algérie, le championnat compte 30 matchs).
- 6 à 13 matchs dans les compétitions internationales telles que la Ligue des champions ou la Ligue Europa.
- 3 à 8 matchs dans les coupes nationales.

À cela s'ajoutent d'éventuelles rencontres en sélection nationale (Coupe du monde, Euro, Coupe d'Afrique des Nations, matchs de qualification) ainsi que des matchs amicaux et de préparation.

Cette densité de matchs impose aux équipes une planification minutieuse, avec des ajustements constants en fonction du calendrier, des déplacements et des performances des joueurs. La gestion de la fatigue devient donc un enjeu majeur pour limiter les risques de blessures, optimiser la récupération et maintenir un niveau de performance élevé tout au long de la saison.

## **2.2. Planification annuelle et structuration de l'entraînement :**

La planification d'une saison de football repose sur un équilibre entre les périodes de préparation et les périodes compétitives. Le macrocycle annuel est structuré en plusieurs mésocycles (périodes de plusieurs semaines) et microcycles (périodes hebdomadaires) afin de répondre aux exigences physiques, techniques et tactiques spécifiques à chaque phase de la saison (Bompa & Haff, 2009).

### **2.2.1. Période préparatoire (pré-saison) :**

Elle dure généralement 4 à 8 semaines et vise à développer les qualités physiques fondamentales (force, endurance, vitesse) tout en instaurant les bases tactiques et collectives. L'accent est mis sur l'augmentation progressive de la charge d'entraînement pour préparer les joueurs aux exigences de la saison (Reilly, Bangsbo, & Franks, 2000).

### 2.2.2. Période compétitive :

Étendue sur 8 à 10 mois, elle est marquée par un ajustement de la charge d'entraînement en fonction du calendrier des matchs. La récupération, la gestion de la fatigue et la préparation spécifique à l'adversaire sont primordiales pour maintenir la performance tout au long de la saison (Dellal, Peñas, Rey, Chamari, & Orhant, 2013).

### 2.2.3. Période de transition (post-saison) :

Après la fin des compétitions, cette phase permet une régénération complète grâce à une diminution progressive de l'intensité et à des périodes de repos actif. Elle favorise la récupération physique et mentale en vue d'une nouvelle préparation (Bahr & Krosshaug, 2005).

Type de période		Objectifs	Durée conseillée
Périodes préparatoires	<b>1ère phase : préparatoire générale</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Développement des fondations physiques : capacité aérobie, endurance de base et renforcement général</li><li>• Entraînement en force musculaire (circuit training, musculation)</li><li>• Travail technique de base (passes, contrôle, dribbles)</li></ul>	2 à 4 semaines
	<b>2ème phase préparatoire spécifique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Augmentation progressive de l'intensité des entraînements</li><li>• Développement des qualités spécifiques au football : vitesse, puissance, agilité</li><li>• Travail tactique de base (organisation défensive, transitions, jeu collectif)</li><li>• Matchs d'entraînement pour mettre en application les principes tactiques</li></ul>	2 à 4 semaines
<b>Période compétitive</b>		<ul style="list-style-type: none"><li>• Maintien des qualités physiques et techniques</li><li>• Entraînements adaptés à l'intensité et au calendrier des matchs (volume réduit, intensité élevée)</li><li>• Préparation tactique spécifique à chaque adversaire</li></ul>	Durée variable selon la saison

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion de la récupération (travail de régénération : sauna, cryothérapie, massages)</li> </ul>	
<b>Période de récupération/repos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Récupération active : exercices physiques légers pour maintenir la condition générale (natation, yoga, footing léger)</li> <li>• Arrêt des entraînements intensifs et des matchs</li> <li>• Réévaluation des objectifs et planification de la prochaine saison</li> </ul>	2 à 4 semaines

*Figure 22 : Description du contenu et de la durée des différentes périodes d'entraînement et de compétition pour un joueur de football professionnel.*

### **3. Charges de travail associées aux périodes de compétition :**

Cette variabilité inhérente au football complique la planification de l'entraînement et la gestion de la récupération. Contrairement aux sports individuels ou fermés, où l'intensité et la durée des efforts peuvent être précisément contrôlées, le football impose une charge fluctuante, influencée par des éléments imprévisibles.

Les entraîneurs et préparateurs physiques doivent ainsi adapter continuellement les charges d'entraînement en tenant compte :

- Des caractéristiques des joueurs (âge, poste, condition physique).
- Des conditions externes (climat, surface de jeu).
- Des aspects tactiques et stratégiques (style de jeu de l'équipe et de l'adversaire).
- De la densité du calendrier (enchaînement des matchs, déplacements).

Cette complexité souligne l'importance d'un suivi rigoureux de la charge d'entraînement et de la récupération, afin d'optimiser la performance tout en minimisant les risques de blessure et de fatigue excessive.

#### **3.1. Charge externe :**

##### **3.1.1. Fréquence des matchs :**

La fréquence des matchs en football est étroitement liée aux performances de l'équipe, notamment dans les tournois à élimination directe, où la qualification dépend des résultats

obtenus. En championnat, les joueurs disputent généralement un match par semaine, mais cette cadence s'intensifie lors des compétitions internationales comme la Ligue des champions, où les rencontres peuvent avoir lieu chaque semaine, voire deux fois par semaine lors des phases finales (Gabbett, 2016).

Les joueurs doivent également faire face à un calendrier chargé, alternant entre compétitions nationales et internationales. Lors des périodes où les matchs s'enchaînent rapidement, un joueur peut être amené à disputer jusqu'à trois rencontres en une semaine, rendant la gestion de la récupération essentielle. Cela implique un équilibre entre repos, entraînement, soins et récupération active. L'intensification de la charge de travail durant ces périodes de forte compétition influence directement la gestion de la fatigue et la prévention des blessures.

### **3.1.2. Caractéristiques temporelles :**

Le football est un sport à efforts intermittents, alternant des phases de haute intensité avec des périodes de récupération active ou passive. Les joueurs enchaînent déplacements, accélérations, décélérations et changements de direction, ce qui entraîne d'importantes sollicitations biomécaniques et physiologiques (Rampinini, Coutts, Castagna, Sassi, & Impellizzeri, 2007). Un joueur de haut niveau parcourt en moyenne entre 10 et 13 km par match, avec des variations selon le poste et le style de jeu (Salvo, Gregson, Atkinson, Tordoff, & Drust, 2009). Environ 20 à 25 % de cette distance est couverte à haute intensité (>19 km/h), tandis que 150 à 250 mètres sont effectués à des vitesses de sprint (>25 km/h) (Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2003).

Durant un match, les joueurs réalisent entre 1 200 et 1 400 actions distinctes, incluant courses, sprints, sauts et changements de direction (Bangsbo, 1994). Plus spécifiquement, ils effectuent entre 30 et 40 sprints sur des distances moyennes de 15 à 20 mètres. (Faude, Koch, & Meyer, 2012) Ces efforts intenses sont déterminants dans les moments clés du jeu, notamment lors des actions offensives et défensives. Un joueur enchaîne également entre 500 et 700 accélérations et décélérations par match, atteignant des pics de 3 à 5 m/s<sup>2</sup> (Varley, Fairweather, & Aughey, 2012). Ces mouvements explosifs sollicitent particulièrement les muscles des membres inférieurs, notamment les quadriceps et les ischio-jambiers, augmentant le risque de fatigue et de blessures musculaires (Harper, Carling, & Kiely, 2019). Les distances parcourues et l'intensité des efforts varient selon le poste des joueurs. Par exemple, les milieux de terrain couvrent les plus grandes distances (jusqu'à 13 km), tandis que les attaquants et défenseurs centraux parcourent légèrement moins mais réalisent

davantage d'actions explosives (Dellal, Peñas, Rey, Chamari, & Orhant, 2013). Les joueurs de couloir, qu'il s'agisse des ailiers ou des latéraux, enchaînent un grand nombre de sprints et de courses à haute intensité en raison de leur rôle clé dans les phases de transition offensive et défensive.

La surface de jeu, qu'elle soit en gazon naturel ou synthétique, peut influencer la distance totale parcourue ainsi que la fréquence des accélérations et décélérations. Par ailleurs, l'intensité des matchs varie en fonction du contexte compétitif : les rencontres internationales, souvent plus exigeantes, impliquent généralement des distances parcourues plus importantes et une intensité de jeu plus élevée que les matchs amicaux ou de championnat local (Andrzejewski, Chmura, Pluta, Strzelczyk, & Kasprzak, 2012). Bien que le football implique des déplacements modérés sur de longues distances, il demeure une discipline extrêmement exigeante sur le plan physiologique, en raison de la succession rapide de mouvements explosifs. L'alternance entre accélérations, décélérations et actions techniques (tirs, passes, dribbles) entraîne une charge externe significative et une fatigue musculaire accrue. Lors d'un match de haut niveau, un joueur réalise en moyenne entre 250 et 300 actions spécifiques (tirs, passes longues, duels), nécessitant une forte sollicitation musculaire et neuromusculaire (Harper, Carling, & Kiely, 2019).

### **3.1.3. Caractéristiques gestuelles :**

Le football est une discipline exigeante sur les plans gestuel et physiologique, impliquant une large variété d'actions. Celles-ci comprennent des courses à haute intensité, des accélérations, des changements de direction brusques, des frappes puissantes et des duels physiques, nécessitant une coordination optimale et une sollicitation musculaire importante.

#### ➤ **Sprints et courses :**

Un joueur de football professionnel couvre en moyenne entre 9 et 12 km par match, en effectuant entre 1 500 et 2 000 actions distinctes (Bangsbo, Mohr, & Krustup, 2006). Parmi ces actions, environ 200 à 400 mètres sont parcourus en sprints à haute intensité (> 25 km/h), avec une fréquence de 40 à 70 sprints par rencontre (Di Salvo, et al., 2007). Ces efforts sont entrecoupés de phases de récupération passive ou active, soulignant ainsi le rôle essentiel de l'endurance aérobie et anaérobie dans la performance des joueurs.

#### ➤ **Accélérations et décélérations :**

Un match de football comprend entre 200 et 300 accélérations et décélérations, dont environ 15 à haute intensité ( $> 2,5 \text{ m/s}^2$ ) toutes les 90 secondes (Varley & Aughey, 2012). Ces efforts explosifs sollicitent fortement les muscles des membres inférieurs, augmentant le risque de microtraumatismes et contribuant à la fatigue musculaire.

➤ **Passes et tirs :**

La maîtrise technique joue un rôle fondamental dans la performance des joueurs. En moyenne, un joueur réalise entre 30 et 50 passes par match, dont environ 20 % sur de longues distances ( $> 25 \text{ m}$ ). Le volume de tirs varie selon le poste : un attaquant tente généralement 4 à 8 frappes par match, tandis qu'un milieu de terrain ou un défenseur en réalise entre 1 et 3. La vitesse moyenne d'un tir se situe entre 90 et 120 km/h, avec des frappes pouvant dépasser 130 km/h dans des conditions optimales (Dörge, Andersen, Sørensen, & Simonsen, 2002).

➤ **Duel et jeu aérien :**

Les joueurs sont également impliqués dans 15 à 20 duels physiques par match, avec une sollicitation plus marquée pour les défenseurs et les milieux récupérateurs. Les duels aériens sont particulièrement fréquents chez les défenseurs, qui en disputent environ 5 à 10 par match, tandis que les attaquants en réalisent entre 3 et 7. Lors des sauts, la hauteur moyenne se situe entre 30 et 50 cm, générant une force d'impact pouvant atteindre 5 à 7 fois le poids corporel lors de l'atterrissage.

➤ **Temps de jeu effectif :**

Le temps de jeu effectif correspond à environ 50 à 65 % de la durée totale du match, soit entre 55 et 60 minutes sur 90. Durant cette période, les joueurs directement impliqués dans le jeu réalisent en moyenne entre 0,7 et 1 action par seconde (Carling, Le Gall, & Dupont, 2012).

➤ **Différences selon le poste :**

- Les attaquants réalisent un plus grand nombre de sprints courts (5 à 20 m) et tentent fréquemment des frappes au but.
- Les milieux de terrain parcourent les distances les plus longues (10 à 12 km) en enchaînant des efforts modérés.
- Les défenseurs sont davantage sollicités dans les duels physiques et les jeux aériens, avec des déplacements courts mais intenses.

- Les gardiens de but effectuent principalement des déplacements latéraux et réalisent environ 20 plongeons par match.

➤ **Différences selon la surface :**

La surface de jeu influence directement les exigences gestuelles des joueurs. Sur un terrain lourd (pluie, boue), le coût énergétique des déplacements et des actions augmente en raison d'une résistance accrue. En revanche, sur un terrain sec, les appuis sont plus stables, favorisant des actions rapides et des frappes plus efficaces grâce à une meilleure adhérence.

**3.2. Charge interne :**

La réponse psychophysiological d'un joueur est directement liée à la charge externe qu'il subit, laquelle dépend de l'intensité, de la fréquence et du type d'actions réalisées, comme les sprints, les sauts, les changements de direction ou les frappes (Bangsbo, Mohr, & Krustup, 2006). Cette variabilité est influencée par plusieurs facteurs, notamment le niveau de compétition, le poste occupé, la stratégie de l'équipe et les conditions environnementales (Di Salvo, et al., 2007). De plus, la surface de jeu (pelouse naturelle ou synthétique) ainsi que la durée des efforts, notamment en cas de prolongations, modulent les contraintes physiologiques, neuromusculaires et psychologiques auxquelles les joueurs sont soumis.

**3.2.1. Sollicitation fonctionnelle et physiologique :**

La dépense énergétique moyenne lors d'un match de football professionnel est estimée entre 6 et 8 MJ (1500-2000 kcal) (Bangsbo, 1994). Un joueur parcourt généralement entre 10 et 13 km par match, avec des variations significatives selon le poste occupé (Mohr, Krustup, & Bangsbo, 2003). Les phases d'efforts intenses, incluant les sprints, accélérations et changements de direction, représentent environ 10 à 20 % de cette distance totale (Stolen, Chamari, Castagna, & Wisloff, 2005). L'apport énergétique repose sur trois systèmes principaux : le système phosphagène (ATP-PCr) pour les actions explosives, le système glycolytique lors des efforts répétés, et le système oxydatif pour les efforts prolongés et la reconstitution des réserves énergétiques (Krustup, et al., 2006). Par exemple, lors d'un sprint, environ 90 % de l'énergie provient du système phosphagène, tandis que la phase de récupération mobilise principalement le métabolisme oxydatif pour restaurer les stocks de phosphocréatine.

➤ **Consommation d'oxygène :**

Le football exige une capacité aérobie importante. La consommation maximale d'oxygène ( $VO_2\text{max}$ ) des joueurs professionnels varie entre 55 et 70  $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  (Helgerud, Engen, Wisloff, & Hoff, 2001), avec des valeurs légèrement plus basses observées chez les gardiens de but et les défenseurs centraux. Pendant un match, la consommation d'oxygène moyenne ( $VO_2\text{moy}$ ) représente environ 70 à 80% du  $VO_2\text{max}$  (Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006), bien que des pics proches de 100% soient enregistrés lors des sprints intenses ou des efforts de pressing. (Krstrup, et al., 2006)

➤ **Fréquence cardiaque (FC) :**

La fréquence cardiaque moyenne d'un joueur de football professionnel pendant un match se situe entre 150 et 170 bpm, correspondant à environ 75 à 85% de la  $FC\text{max}$ . (Reilly & Williams, 2003) Lors des sprints ou efforts intenses, la FC peut atteindre des valeurs proches de 190 à 200 bpm, correspondant à 95-100% de la  $FC\text{max}$ . Les variations de la FC dépendent des phases de jeu (attaque, défense, récupération), des rôles individuels, ainsi que de l'intensité du match.

Les périodes de récupération active ou passive permettent une réduction partielle de la FC, mais celle-ci reste élevée en raison de la nature intermittente de l'activité. (Krstrup, et al., 2003) De plus, des facteurs comme le stress psychologique, les conditions environnementales (chaleur, humidité), et l'état d'hydratation influencent directement la FC.

➤ **Lactatémie :**

Dans le football, les concentrations de lactate sanguin mesurées après un match ou un entraînement intense varient généralement entre 2,0 et 6,0 mmol/L chez les joueurs professionnels. Ces valeurs reflètent une sollicitation modérée à élevée du système glycolytique, en fonction de l'intensité de l'effort et de la durée des actions. (Bangsbo, Mohr, & Krstrup, 2006) Lors de phases de jeu très intenses, comme des sprints répétés ou des périodes de pressing élevé, les concentrations de lactate peuvent atteindre 8 à 10 mmol/L. (Krstrup, et al., 2006) Ces pics sont souvent observés lors de matchs compétitifs ou d'entraînements à haute intensité.

Les efforts intermittents, typiques du football (sprints, accélérations, changements de direction), sollicitent fortement le système glycolytique. Plus les efforts sont intenses et prolongés, plus la production de lactate augmente. (Bangsbo, 1994) Une corrélation positive a été observée entre la durée des efforts de haute intensité et les concentrations de lactate

sanguin ( $r \approx 0,7-0,8$ ). (Krustrup, et al., 2006) Comme au tennis, les temps de récupération entre les efforts influencent l'accumulation de lactate. Des temps de récupération courts entre les sprints ou les actions intenses entraînent une accumulation plus importante de lactate. (Ferrauti, Pluim, & Weber, 2001) En match, les pauses naturelles (arrêts de jeu, mi-temps) permettent une élimination partielle du lactate, mais celle-ci reste limitée en raison de la nature intermittente du sport. Bien que moins étudié qu'au tennis, le type de surface (herbe, synthétique, terre battue) peut influencer l'intensité de l'effort et donc la production de lactate. Par exemple, les surfaces plus lentes (comme un terrain lourd) peuvent augmenter la durée des efforts et la sollicitation du système glycolytique. Les styles de jeu basés sur un pressing intense ou un jeu direct avec de nombreux sprints favorisent également une accumulation plus importante de lactate. (Bradley, et al., 2009) Les milieux de terrain et les attaquants ont tendance à présenter des concentrations de lactate plus élevées que les défenseurs, en raison de leur implication plus fréquente dans des efforts de haute intensité (sprints, dribbles, pressing). (Mohr, Krustrup, & Bangsbo, 2003) Entraînement : La mesure de la lactatémie est utilisée pour évaluer l'intensité des séances d'entraînement et adapter les charges de travail. Par exemple, des exercices intermittents (comme des séries de sprints avec récupération incomplète) sont souvent utilisés pour améliorer la tolérance au lactate et la capacité glycolytique. Récupération : Une lactatémie élevée après un match ou un entraînement peut indiquer un besoin de récupération accrue, notamment par des stratégies comme l'hydratation, l'étirement ou des techniques de récupération active.

➤ **Perception de l'effort (RPE) :**

En football, la RPE est souvent mesurée à l'aide de l'échelle de Borg, soit l'échelle CR6-20 (15 points) soit l'échelle CR10 (10 points). Les études montrent que les valeurs de RPE varient en fonction de l'intensité de l'effort, de la position du joueur, de la durée du match et des conditions de jeu. Les valeurs de RPE lors de matchs de football se situent généralement entre 4 et 7 sur l'échelle CR10. (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi, & Marcora, 2004) Ces valeurs peuvent augmenter en fonction de l'intensité du match, de la fatigue accumulée et des conditions environnementales (chaleur, humidité, etc.). Les joueurs de milieu de terrain et les attaquants rapportent souvent des valeurs de RPE plus élevées que les défenseurs, en raison de leur implication plus importante dans les actions de haute intensité (sprints, courses répétées). (Mohr, Krustrup, & Bangsbo, 2003) La RPE tend à augmenter progressivement au cours d'un match de football, reflétant l'accumulation de fatigue physique et mentale. (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi, & Marcora, 2004)

Cette augmentation est particulièrement notable en deuxième mi-temps, où les joueurs peuvent ressentir une fatigue accrue due à la déplétion des réserves énergétiques. Les actions de haute intensité, telles que les sprints, les duels et les changements de direction, sont associées à une augmentation significative de la RPE. Ces actions sollicitent fortement les systèmes énergétiques anaérobies et entraînent une perception d'effort plus élevée. (Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2003) Des études ont montré que la RPE est significativement plus élevée lors de matchs joués dans des conditions de chaleur et d'humidité, en raison de la charge thermique supplémentaire imposée aux joueurs (Mohr, Nybo, Grantham, & Racinais, 2012). La RPE en football est fortement corrélée avec des marqueurs physiologiques tels que :

- **La fréquence cardiaque** : une augmentation de la FC est souvent associée à une RPE plus élevée.
- **La lactatémie** : des niveaux plus élevés de lactate sanguin sont liés à une perception d'effort accrue, en particulier après des efforts anaérobies intenses.
- **La fatigue musculaire** : la RPE augmente avec la fatigue musculaire, en particulier dans les muscles des membres inférieurs sollicités pendant les courses et les sauts.

La RPE est largement utilisée par les entraîneurs et les staffs médicaux pour :

- **Surveiller la charge d'entraînement** : en combinant la RPE avec la durée de l'entraînement, on peut calculer la charge d'entraînement ( $RPE \times \text{durée}$ ) pour ajuster les programmes et éviter le surentraînement.
- **Évaluer la récupération** : une RPE élevée après un match ou un entraînement peut indiquer un besoin de récupération accrue.
- **Adapter les stratégies de jeu** : en comprenant comment la RPE évolue pendant un match, les entraîneurs peuvent mieux gérer les remplacements et les tactiques en fonction de la fatigue des joueurs.

### 3.2.2. Sollicitations neuromusculaires :

Les sollicitations neuromusculaires dans le football, comme dans le tennis, sont un aspect crucial de la performance et de la fatigue, mais elles ont été moins étudiées que les contraintes physiologiques et énergétiques. La majorité des recherches se concentrent sur les charges externes (distance parcourue, nombre de sprints, vitesse maximale, etc.), tandis

que les charges neuromusculaires internes restent moins bien comprises et mesurées en contexte réel de match.

La répétition d'actions explosives, comme les sprints, les accélérations et les décélérations, induit une charge neuromusculaire importante. Ces actions sollicitent les fibres musculaires à contraction rapide (type II) et entraînent une fatigue neuromusculaire, qui se manifeste par une diminution de la force maximale, de la puissance et de la capacité à produire des efforts explosifs. (Rampinini, et al., 2007) (Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2005) Cette fatigue peut également affecter la coordination et la précision des mouvements, ce qui est critique pour des actions techniques comme les passes, les dribbles et les tirs.

Les techniques de laboratoire pour évaluer la fonction neuromusculaire (par exemple, la force maximale volontaire, l'électromyographie, ou les tests de saut) sont difficiles à mettre en œuvre dans des conditions réelles de match, surtout pour les joueurs professionnels. Par conséquent, les indices de charge externe (nombre de sprints, distance parcourue à haute intensité, etc.) sont souvent utilisés comme indicateurs indirects de la charge neuromusculaire. (Impellizzeri, Marcora, & Coutts, 2018) Cependant, certaines études ont montré que la fatigue neuromusculaire dans le football peut être évaluée par des tests de performance sur le terrain, comme les tests de saut (countermovement jump, CMJ) ou les tests de sprint répétés. Par exemple, une diminution de la hauteur de saut ou une augmentation du temps de sprint après un match ou un entraînement intense est souvent interprétée comme un signe de fatigue neuromusculaire. (Rampinini, et al., 2007) (Nedelec, et al., 2012)

La fatigue neuromusculaire dans le football peut être d'origine centrale (diminution de l'activation nerveuse des muscles) ou périphérique (dommages musculaires, accumulation de métabolites, etc.). Après un match ou un entraînement, les joueurs peuvent présenter une diminution de l'activation centrale, ainsi que des dommages musculaires localisés, en particulier dans les muscles des membres inférieurs. (Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2005) (Nedelec, et al., 2012) Ces dommages musculaires sont souvent associés à une augmentation des sensations de douleurs musculaires (courbatures) et à une réduction de la performance physique dans les 24 à 48 heures suivant le match.

La perception de l'effort (échelle de Borg) et les sensations de douleurs musculaires sont souvent utilisées comme indicateurs subjectifs de la fatigue neuromusculaire dans le football. Une augmentation de la perception de l'effort et des douleurs musculaires après un

match ou un entraînement intense est souvent corrélée avec une diminution de la performance physique et une altération de la fonction neuromusculaire. (Nedelec, et al., 2012)

# **Côté pratique de la recherche**

**Chapitre 5 :**  
**Méthodes et**  
**organisation de la**  
**recherche**

## **1. Moyens et Méthodes :**

Cette étude vise à examiner l'impact de différents moyens de récupération sur la performance et l'état physique des footballeurs U19 en Algérie, après une séance d'entraînement intense. La question de la récupération demeure un sujet encore peu exploré dans ce contexte, en particulier chez les jeunes joueurs évoluant à un niveau compétitif. L'objectif de cette recherche est non seulement d'analyser l'efficacité des méthodes de récupération utilisées – telles que le hammam, le sauna et d'autres techniques – mais aussi d'apporter des éléments de réponse quant à leur influence sur les capacités physiques et athlétiques des joueurs. En fournissant des données objectives et subjectives sur la récupération post-effort, cette étude entend contribuer à une meilleure gestion de la charge d'entraînement et à l'optimisation des stratégies de récupération dans le football de haut niveau en Algérie.

## **2. Moyens humains :**

### **2.1. Population d'étude :**

La population cible de cette étude est constituée de footballeurs U19 titulaires d'une licence fédérale valide, évoluant dans le championnat national « Jeunes Élite » en Algérie.

Dans le but d'identifier et de délimiter précisément cette population, une démarche officielle a été effectuée auprès de la Ligue Régionale de Football d'Alger, qui encadre ce championnat au niveau régional. Cette démarche a permis de recenser l'ensemble des équipes U19 engagées au cours de la saison concernée.

Ainsi, treize (13) équipes U19 ont été officiellement identifiées, regroupant un effectif total de 276 joueurs titulaires d'une licence fédérale valide, constituant la population théorique accessible pour la présente étude, comme indiqué dans le tableau correspondant.

Equipes	MCA	PAC	CRB	NAHD	ESB	USMH	JSK	RCK	IBK	JSB	USMA	O Akbou	ESG
Nombres	23	22	23	20	21	21	22	20	20	21	22	20	20
Totale	275												

## **2.2. Échantillonnage :**

Un échantillonnage non probabiliste de convenance a été retenu pour la présente étude. Ce choix s'explique par les contraintes organisationnelles liées au calendrier sportif, à la disponibilité des joueurs, ainsi qu'à l'accessibilité des équipes durant la saison sportive 2023/2024.

La sélection des participants s'est également appuyée sur des critères d'inclusion précis, notamment l'âge (U19), la possession d'une licence fédérale valide, la participation régulière aux séances d'entraînement et l'absence de blessure ou de pathologie empêchant la pratique du football au moment de l'étude.

## **2.3. Echantillon de l'étude :**

Dans le cadre de cette étude menée au cours de la saison 2023/2024, une présentation détaillée du protocole de recherche a été effectuée auprès des responsables techniques des équipes de football du **RC Kouba** et du **NA Hussein Dey**. À l'issue de cette démarche, 32 joueurs masculins U19, titulaires d'une licence fédérale valide, ont accepté volontairement de participer à l'étude. Cet effectif représente environ 11,6 % de la population théorique accessible (32 joueurs sur un total de 275 joueurs). La sélection des participants a été réalisée en tenant compte de critères physiques et sportifs spécifiques, garantissant leur aptitude à suivre l'ensemble du protocole expérimental. Cette méthodologie vise à assurer la fiabilité des données recueillies et à analyser de manière pertinente l'impact des différents moyens de récupération post-effort chez de jeunes footballeurs évoluant à un niveau compétitif.

## **3. Moyens matériels :**

L'application des moyens de récupération a été réalisée dans des spas disposant d'un hammam, d'un sauna et de piscines adaptées aux différentes méthodes d'immersion. Afin d'assurer le bon déroulement des séances, nous avons présenté aux responsables toutes les modalités et conditions à respecter pour l'application des protocoles de récupération.

De plus, les saunas et hammams étant équipés de thermomètres intégrés pour surveiller la température ambiante et d'un hygromètre pour mesurer le taux d'humidité, ces paramètres ont été contrôlés avec précision. Pour des mesures plus précises, nous avons également utilisé un thermomètre numérique instantané externe, notamment pour contrôler la température de l'eau des piscines d'immersion. Le contrôle du temps a été effectué à l'aide d'un chronomètre.

#### 4. Les Méthode de recherches :

##### 4.1. Méthode de tests pédagogiques :

Notre modeste étude a été réalisée sur la période du 1er février 2024 au 31 mars 2024. Après la séance la plus intense du microcycle (le pic de la semaine), les joueurs se sont directement déplacés pour l'application des différents moyens de récupération. Afin de quantifier la charge d'entraînement des séances précédant l'utilisation des protocoles de récupération, nous avons utilisé l'échelle de l'effort perçu de Borg (RPE 6-20)

L'analyse des données a révélé que l'intensité de l'entraînement a systématiquement atteint ou dépassé **85 % de l'intensité maximale** au cours des sept séances étudiées. Les valeurs spécifiques d'intensité pour chaque séance, selon le moyen de récupération appliqué par la suite, sont présentées dans le tableau 1 :

*Tableau 2 : Intensité des séances d'entraînement précédant l'application des moyens de récupération*

Séances précédant l'utilisation	Récupération passive	Hammam	Sauna	IEC	IET	IECT	IEF
% de l'intensité maximale	88.3%	85.7%	89.2%	88.6%	88.6%	88.7%	88.9%

Ces résultats confirment que les séances d'entraînement étaient toutes d'intensité élevée. Afin d'évaluer l'état de récupération des joueurs, nous avons utilisé deux indicateurs complémentaires :

- Le questionnaire de Qualité Totale de Récupération (TQR), permettant une évaluation subjective de la récupération.
- La Fréquence Cardiaque de Repos (FCR), un indicateur physiologique objectif de récupération.

Sur le questionnaire de TQR, les joueurs devaient coter leur sensation de récupération, permettant ainsi une évaluation subjective de leur état après l'application des moyens de récupération. En complément, la (FCR) a été mesurée le matin au réveil, en position allongée, afin d'obtenir une valeur de référence, appelée **FCR initiale**. Elle a ensuite été relevée aux mêmes intervalles que le TQR (**1 heure, 12 heures et 24 heures**) pour suivre l'évolution du processus de récupération.

#### **4.2. Analyses statistiques :**

Pour l'exploitation des données, le tableur Excel® et le logiciel SPSS ont été utilisés. Les résultats sont exprimés sous forme de moyennes et d'écart types.

Pour analyser les données, le test de Shapiro-Wilk a été utilisé afin de vérifier la normalité de la distribution des variables. Les résultats ont indiqué une distribution non normale des données. Par conséquent, un test non paramétrique, le test de Wilcoxon, a été appliqué pour comparer les moyennes. Le seuil de significativité retenu pour toutes les analyses statistiques a été fixé à  $p < 0.05$ .

#### **4.3. Protocole :**

Pour les protocoles des moyens de récupération utilisés, le hammam, également appelé bain de vapeur, présente une température qui dépasse les 50°C, avec une humidité saturée à 90%. Dans cette atmosphère chaude et humide, les joueurs doivent rester 20 minutes.

À la différence du hammam, le sauna offre une chaleur beaucoup plus sèche, avec un taux d'humidité variant entre 3 et 20%, selon l'installation et la position des joueurs sur les bancs. La température y est plus élevée, oscillant entre 80 et 100°C. Avant d'entrer dans le sauna, les joueurs doivent d'abord prendre une douche tiède à froide et se sécher correctement. Ils pénètrent ensuite dans la cabine et y restent pour une première exposition de 5 minutes. À leur sortie, ils prennent une seconde douche tiède à froide, en commençant par les pieds afin d'activer la circulation sanguine, tout en évitant de mouiller la tête et le cou. Après 5 minutes de repos, ils retournent dans le sauna pour une nouvelle exposition de 5 minutes. Ce cycle alternant exposition au sauna, douche froide et repos est répété trois fois au total afin d'optimiser les effets de récupération.

Pour l'immersion en eau, les joueurs doivent s'immerger dans une piscine située dans un spa, en respectant le protocole propre à chaque modalité. L'immersion en eau tempérée (IET) se réalise dans une eau entre 30°C et 34°C pendant 15 minutes. L'immersion en eau chaude (IEC) s'effectue dans une eau à plus de 42°C durant 15 minutes. L'immersion en eau froide (IEF) consiste à rester 15 minutes dans une eau entre 4°C et 16°C. Enfin, l'immersion par contraste de température (IECT) alterne cinq cycles de 90 secondes entre une eau chaude à 42°C et une eau froide entre 10°C et 16°C.

## 5. Organisation de la recherche :

Les variables de la recherche :

- a. **Variable indépendante :** la variable indépendante est celle qu'on manipule pour en mesurer l'effet sur la variable dépendante. On pourrait aussi l'appeler *variable cause, antécédente, active ou expérimentale*, on parle aussi de *variable stimulus* lorsque la variable indépendante commande une réponse au sujet.
- b. **Variable dépendante :** la variable dépendante, qu'on pourrait aussi appeler la *variable passive, conséquent ou résultante*, est celle sur laquelle s'exerce l'action dans le but de mesurer des variations. Dans la méthode expérimentale, elle est associée aux sujets de l'expérience qui sont soumis à différentes conditions de la variable indépendante. (Angers, 2015)

## 6. Maitrise des variables :

Dans le cadre d'une recherche scientifique, il est essentiel pour le chercheur d'identifier et de contrôler les différentes variables afin d'assurer la validité des résultats.

- a. **Variable indépendante :** Dans le cadre de notre étude, la variable indépendante correspond aux moyens de récupération appliqués après l'entraînement, à savoir le hamman, le sauna et les différentes formes d'immersion en eau (froide, chaude, tempérée, contrastée), ainsi qu'à l'intensité de la séance d'entraînement qui précède leur utilisation. Ces variables sont manipulées afin d'observer leur effet sur la récupération des joueurs.
- b. **Variable dépendante :** l'évolution de la récupération après l'effort, évaluée à travers des indicateurs physiologiques (FCR) et subjectifs (TQR).
- c. **Variable parasites :** Dans votre étude, les variables parasites sont les facteurs extérieurs qui pourraient influencer la récupération des joueurs en dehors des moyens de récupération testés. Voici quelques exemples :

- **L'alimentation et l'hydratation** des joueurs avant et après la séance intense.
- **Le sommeil** des joueurs entre les mesures à 1h, 12h et 24h.
- **Les différences individuelles** (niveau de condition physique, capacité de récupération, génétique).
- **L'environnement** (température ambiante, humidité, qualité de l'air dans les espaces de récupération).
- **Les charges d'entraînement antérieures** des joueurs (fatigue accumulée sur plusieurs jours).
- **L'heure des tests et des séances de récupération**, qui doit être standardisée pour éviter des variations liées au rythme circadien.
- **La motivation et l'implication des joueurs** dans le protocole, qui pourraient influencer leurs réponses subjectives (TQR)

**Chapitre 6 :**  
**Présentation et**  
**discussion des**  
**résultats**

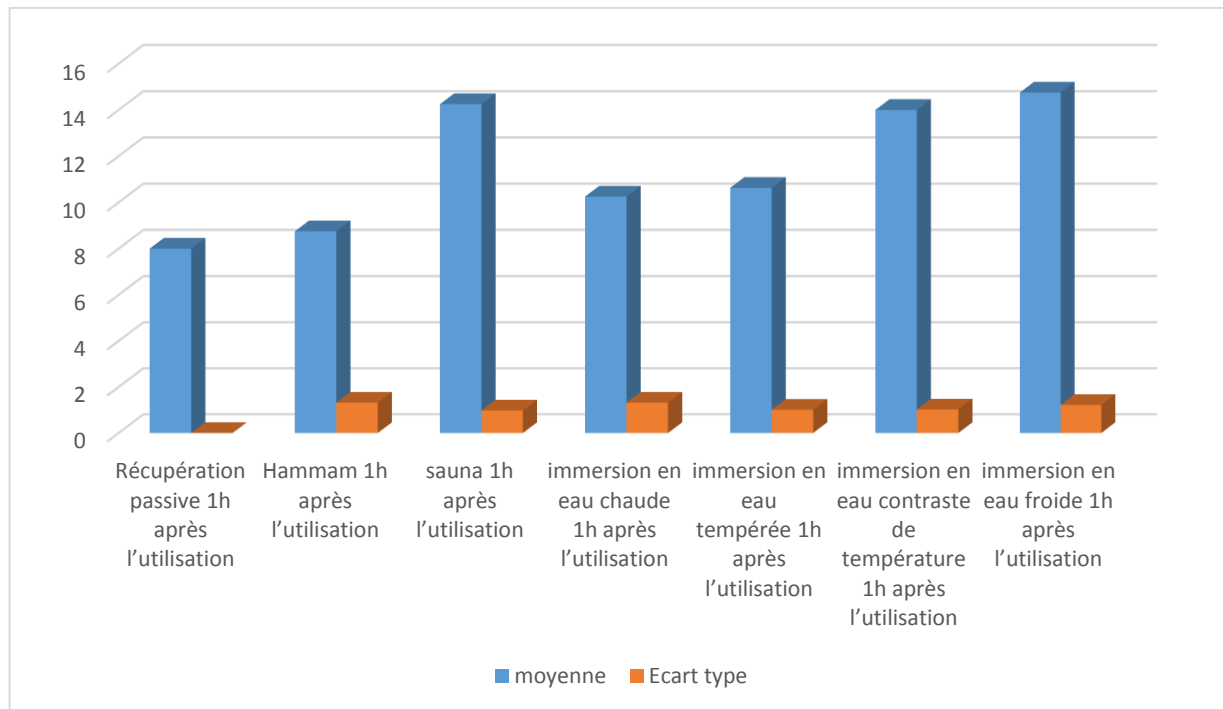
## 1. Présentation des résultats :

### 1.1. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 1h après l'application : (TQR)

*Tableau 3 : Scores du test TQR pour les différentes méthodes de récupération comparées à la récupération passive 1 heures après utilisation.*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
Récupération passive	08	00	0.000	0.01*	0.52
Hammam	8.75	1.32	0.000		
Récupération passive	08	00	0.000	0.000*	0.90
sauna	14.25	0.98	0.000		
Récupération passive	08	00	0.000	0.000*	0.87
IEC	10.25	1.32	0.000		
Récupération passive	08	00	0.000	0.000*	0.90
IET	10.63	1.01	0.000		
Récupération passive	08	00	0.000	0.000*	0.89
IECT	14	1.02	0.000		
Récupération passive	08	00	0.000	0.000*	0.89
IEF	14.75	1.22	0.000		

\* : statistiquement significatif :



*Figure 23 : Comparaison des valeurs des moyennes arithmétiques et des écarts types (TQR) 1 heure après l'utilisation de différents moyens de récupération*

Nous avons appliqué le test Shapiro-Wilk afin d'évaluer la normalité de la distribution des scores de TQR obtenus après chaque moyen de récupération, car il est adapté aux petits échantillons ( $n=32$ ). À travers le **tableau 2**, on observe que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les scores de TQR 1h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, Cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale (distribution non normale). Par conséquent, nous avons appliqué le test de Wilcoxon afin d'évaluer les différences entre les méthodes de récupération. Une p-value inférieure à 0,05 indique une différence statistiquement significative entre les deux conditions, tandis qu'une p-value supérieure à 0,05 suggère l'absence de différence statistiquement significative, ce qui implique une efficacité comparable entre les méthodes comparées :

- La comparaison entre la **récupération passive** et le **hammam** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du hammam, dont la moyenne des scores de TQR est de 8.75, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 8. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.52
- La comparaison entre la **récupération passive** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence

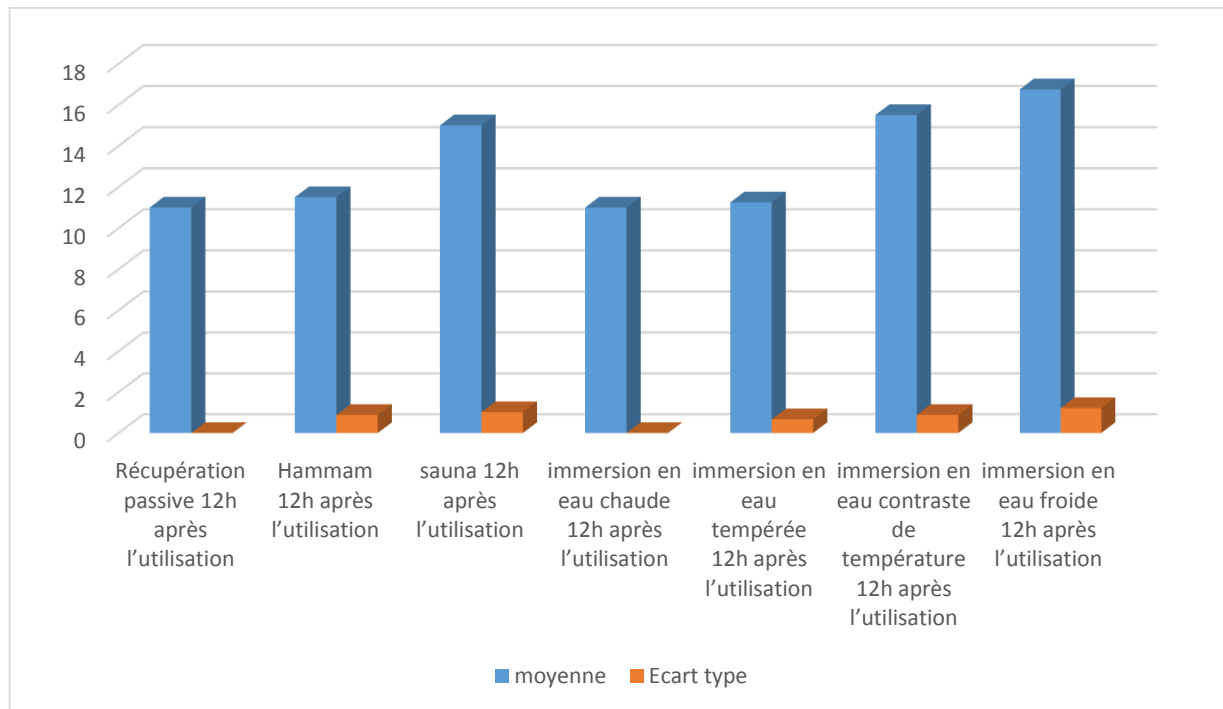
statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 14.25, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 8. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90

- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en l'IEC, dont la moyenne des scores de TQR est de 10.25, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 8. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.87
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur de l'IET, dont la moyenne des scores de TQR est de 10.63, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 8. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur de l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 14, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 8. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur de l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 14.75, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 8. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89

## **1.2. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 12h après l'application : (TQR)**

*Tableau 4 : Scores du test TQR pour les différentes méthodes de récupération comparées à la récupération passive 12 heures après utilisation*

Moyens de récupération	Moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
Récupération passive	11	00	0.000	0.01*	0.52
Hamam	11.50	0.88	0.000		
Récupération passive	11	00	0.000	0.000*	0.90
sauna	15	1.02	0.000		
Récupération passive	11	00	0.000	01	/
IEC	11	00	0.000		
Récupération passive	11	00	0.000	0.051	/
IET	11.25	0.67	0.000		
Récupération passive	11	00	0.000	0.000*	0.90
IECT	15.50	0.88	0.000		
Récupération passive	11	00	0.000	0.000*	0.89
IEF	16.75	1.22	0.000		



*Figure 24 : Figure : Comparaison des valeurs des moyennes arithmétiques et des écarts types (TQR) 12 heures après l'utilisation de différents moyens de récupération*

À travers le **tableau 3**, on observe que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les scores de TQR 12h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale (distribution non normale). De plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les scores de TQR 12h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

- La comparaison entre la **récupération passive** et le **hammam** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du hammam, dont la moyenne des scores de TQR est de 11.5, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 11. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.52
- La comparaison entre la **récupération passive** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 15, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 11. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 1, supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique l'absence de différence

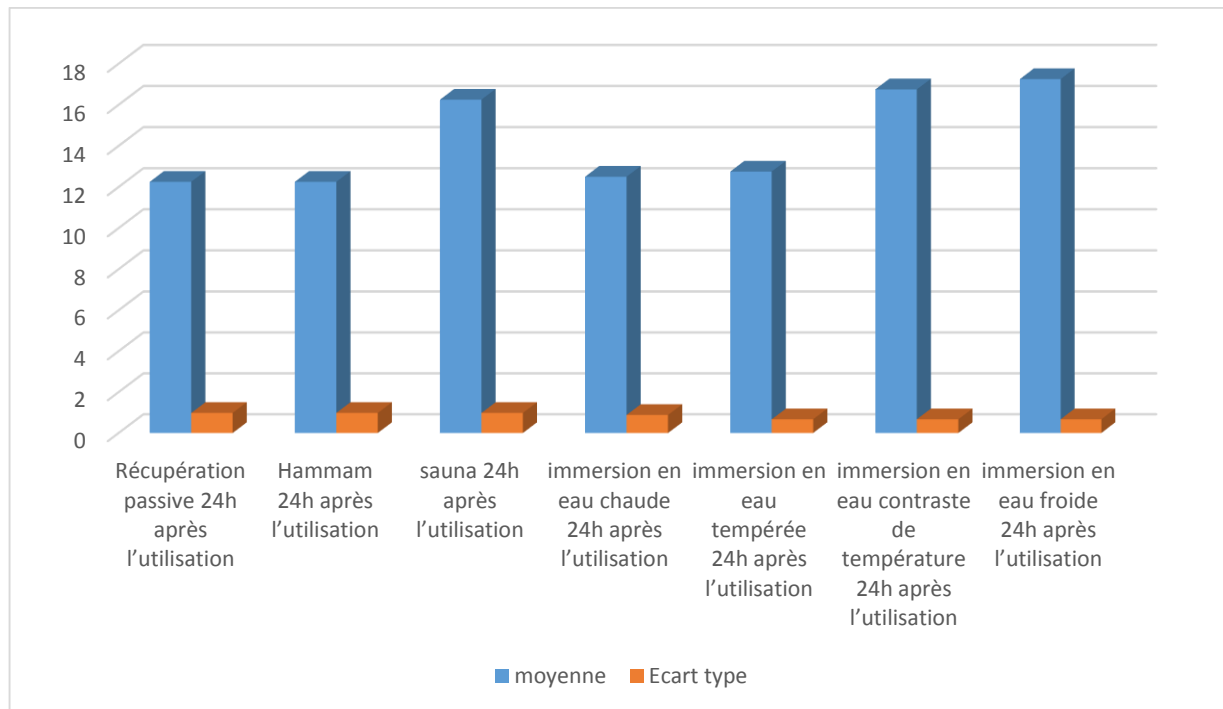
statistiquement significative entre les scores de TQR. En effet, les moyennes des scores de TQR sont identiques pour les deux conditions, avec une valeur de 11. Cela met en évidence l'absence d'effet différentiel entre ces deux moyens de récupération.

- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.051. légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les scores de TQR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 11 pour la récupération passive et de 11.25 pour l'**IET**.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur de l'**IECT**, dont la moyenne des scores de TQR est de 15.5, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 11. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur de l'**IEF**, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 11. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89.

### **1.3. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 24h après l'application : (TQR)**

*Tableau 5 : Scores du test TQR pour les différentes méthodes de récupération comparées à la récupération passive 24 heures après utilisation*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
Récupération passive	12.25	0.98	0.000	01	/
Hammam	12.25	0.98	0.000		
Récupération passive	12.25	0.98	0.000	0.000*	0.89
sauna	16.25	0.98	0.000		
Récupération passive	12.25	0.98	0.000	0.25	/
IEC	12.50	0.88	0.000		
Récupération passive	12.25	0.98	0.000	0.051	/
IET	12.75	0.67	0.000		
Récupération passive	12.25	0.98	0.000	0.000*	0.86
IECT	16.75	0.67	0.000		
Récupération passive	12.25	0.98	0.000	0.000*	0.89
IEF	17.25	0.67	0.000		



*Figure 25 : Figure : Comparaison des valeurs des moyennes arithmétiques et des écarts types (TQR) 24 heures après l'utilisation de différents moyens de récupération*

À travers le **tableau 4**, on observe que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les scores de TQR 24 h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale (distribution non normale). De plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les scores de TQR 24 h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

- La comparaison entre la **récupération passive** et le **hammam** donne une valeur de **p** égale à 1. Cette valeur, supérieure au seuil de signification de 0.05, Cela indique l'absence de différence statistiquement significative entre les scores de TQR. En effet, les moyennes des scores de TQR sont identiques pour les deux conditions, avec une valeur de 12.25. Cela met en évidence l'absence d'effet différentiel entre ces deux moyens de récupération.
- La comparaison entre la **récupération passive** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.25, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 12.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.25, supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique l'absence de différence

statistiquement significative entre les scores de TQR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 12.25 pour la récupération passive et de 12.50 pour l'IEC.

- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.051, légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les scores de TQR, bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 12.25 pour la récupération passive et de 12.75 pour l'IET.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur de l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle de la récupération passive, qui est de 12.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.86.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur de l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 17.25, contre 12.25 pour la récupération passive. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89.

#### **1.4. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 1h après l'utilisation : (TQR)**

*Tableau 6 : Comparaison des scores du test TQR entre les différentes méthodes de récupération 1 heure après utilisation*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
Hamмам	8.75	1.32	0.000	0.000*	0.88
sauna	14.25	0.98	0.000		
Hamмам	8.75	1.32	0.000	0.001*	0.63
IEC	10.25	1.32	0.000		
Hamмам	8.75	1.32	0.000	0.000*	0.84
IET	10.63	1.01	0.000		
Hamмам	8.75	1.32	0.000	0.000*	0.88
IETC	14	1.02	0.000		
Hamмам	8.75	1.32	0.000	0.000*	0.86
IEF	14.75	1.22	0.000		
Sauna	14.25	0.98	0.000	0.000*	0.88
IEC	10.25	1.32	0.000		
Sauna	14.25	0.98	0.000	0.000*	0.89
IET	10.63	1.01	0.000		
Sauna	14.25	0.98	0.000	0.25	/
IECT	14	1.02	0.000		
Sauna	14.25	0.98	0.000	0.051	/
IEF	14.75	1.22	0.000		
IEC	10.25	1.32	0.000	0.051	/
IET	10.63	1.01	0.000		
IEC	10.25	1.32	0.000	0.000*	0.87
IECT	14	1.02	0.000		
IEC	10.25	1.32	0.000	0.000*	0.86
IEF	14.75	1.22	0.000		
IET	10.63	1.01	0.000	0.000*	0.89
IECT	14	1.02	0.000		
IET	10.63	1.01	0.000	0.000*	0.88
IEF	14.75	1.22	0.000		
IECT	14	1.02	0.000	0.001*	0.69
IEF	14.75	1.22	0.000		

À travers le **tableau 5**, on observe que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les scores de TQR 1 h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale (distribution non normale). De plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les scores de TQR 1 h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

- La comparaison entre le **hammam** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 14.25, supérieure à celle de le hammam, qui est de 8.75. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.88
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.001. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du l'IEC, dont la moyenne des scores de TQR est de 10.25, supérieure à celle de le hammam, qui est de 8.75. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.63
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du l'IET, dont la moyenne des scores de TQR est de 10.63, supérieure à celle de le hammam, qui est de 8.75. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.84
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 14, supérieure à celle de hammam, qui est de 8.75. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.88
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 14.75, supérieure à celle de le hammam, qui est de 8.75. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.86
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement

significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 14.25, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 10.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.88

- La comparaison entre le **sauna** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 14.25, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 10.63. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.25. Cette valeur, supérieure au seuil de signification de 0.05, Cela indique l'absence de différence statistiquement significative entre les scores de TQR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 14.25 pour la sauna et de 14 pour l'IECT.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.051. Cette valeur est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les scores de TQR, bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 14.25 pour le sauna et de 14.75 pour l'IEF.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.051. Cette valeur est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les scores de TQR, bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 10.25 pour l'IEC et de 10.63 pour l'IET.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 14, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 10.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.87
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 14.75, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 10.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.87

- La comparaison entre l'IET et l'IECT donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 14, supérieure à celle de l'IET, qui est de 10.63. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre l'IET et l'IEF donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 14.75, supérieure à celle de l'IET, qui est de 10.63. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.88
- La comparaison entre l'IECT et l'IEF donne une valeur de **p** égale à 0.001. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 14.75, supérieure à celle de l'IET, qui est de 14. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.69.

**1.5. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 12 h après l'utilisation : (TQR)**

*Tableau 7 : Comparaison des scores du test TQR entre les différentes méthodes de récupération 12 heure après utilisation*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
Hamмам	11.50	0.88	0.000	0.000*	0.85
sauna	15	1.02	0.000		
Hamмам	11.50	0.88	0.000	0.01*	0.52
IEC	11	00	0.000		
Hamмам	11.50	0.88	0.000	0.25	/
IET	11.25	0.67	0.000		
Hamмам	11.50	0.88	0.000	0.000*	0.89
IETC	15.50	0.88	0.000		
Hamмам	11.50	0.88	0.000	0.000*	0.89
IEF	16.75	1.22	0.000		
Sauna	15	1.02	0.000	0.000*	0.89
IEC	11	00	0.000		
Sauna	15	1.02	0.000	0.000*	0.89
IET	11.25	0.67	0.000		
Sauna	15	1.02	0.000	0.09	/
IECT	15.50	0.88	0.000		
Sauna	15	1.02	0.000	0.000*	0.83
IEF	16.75	1.22	0.000		
IEC	11	00	0.000	0.051	/
IET	11.25	0.67	0.000		
IEC	11	00	0.000	0.000*	0.90
IECT	15.50	0.88	0.000		
IEC	11	00	0.000	0.000*	0.89
IEF	16.75	1.22	0.000		
IET	11.25	0.67	0.000	0.000*	0.89
IECT	15.50	0.88	0.000		
IET	11.25	0.67	0.000	0.000*	0.89
IEF	16.75	1.22	0.000		
IECT	15.50	0.88	0.000	0.000*	0.89
IEF	16.75	1.22	0.000		

À travers le **tableau 6**, on observe que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les scores de TQR 12 h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale (distribution non normale).de plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les scores de TQR 12 h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

- La comparaison entre le **hammam** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 15, supérieure à celle de le hammam, qui est de 11.5. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.85
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du hammam, dont la moyenne des scores de TQR est de 11.5, supérieure à celle de le hammam, qui est de 11. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.52
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.25. Cette valeur est supérieure au seuil de signification de 0.05, Cela indique l'absence de différence statistiquement significative entre les scores de TQR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 11.5 pour le hammam et de 11.25 pour l'IET.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 15.5, supérieure à celle de hammam, qui est de 11.5. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle de le hammam, qui est de 11.5. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement

significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 15, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 11. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89

- La comparaison entre le **sauna** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 15, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 11.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.09. Cette valeur est supérieure au seuil de signification de 0.05, Cela indique l'absence de différence statistiquement significative entre les scores de TQR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 15 pour la sauna et de 15.5 pour l'IECT.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur de l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle du sauna, qui est de 15. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.83
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.051. Cette valeur est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les scores de TQR, bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 11 pour l'IEC et de 11.25 pour l'IET.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 15.5, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 11. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 11. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89

- La comparaison entre l'IET et l'IECT donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 15.5, supérieure à celle de l'IET, qui est de 11.5. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre l'IET et l'IEF donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle de l'IET, qui est de 11.5. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.88
- La comparaison entre l'IECT et l'IEF donne une valeur de **p** égale à 0.001. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle de l'IET, qui est de 15.5. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89.

**1.6. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 24 h après l'utilisation : (TQR)**

*Tableau 8 : Comparaison des scores du test TQR entre les différentes méthodes de récupération 24 heure après utilisation*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
Hammam	12.25	0.98	0.000	0.000*	0.90
sauna	16.25	0.98	0.000		
Hammam	12.25	0.98	0.000	0.37	/
IEC	12.50	0.88	0.000		
Hammam	12.25	0.98	0.000	0.051	/
IET	12.75	0.67	0.000		
Hammam	12.25	0.98	0.000	0.000*	0.89
IECT	16.75	0.67	0.000		
Hammam	12.25	0.98	0.000	0.000*	0.89
IEF	17.25	0.67	0.000		
Sauna	16.25	0.98	0.000	0.000*	0.89
IEC	12.50	0.88	0.000		
Sauna	16.25	0.98	0.000	0.000*	0.89
IET	12.75	0.67	0.000		
Sauna	16.25	0.98	0.000	0.051	/
IECT	16.75	0.67	0.000		
Sauna	16.25	0.98	0.000	0.000*	0.79
IEF	17.25	0.67	0.000		
IEC	12.50	0.88	0.000	0.051	/
IET	12.75	0.67	0.000		
IEC	12.50	0.88	0.000	0.000*	0.89
IECT	16.75	0.67	0.000		
IEC	12.50	0.88	0.000	0.000*	0.90
IEF	17.25	0.67	0.000		
IET	12.75	0.67	0.000	0.000*	0.90
IECT	16.75	0.67	0.000		
IET	12.75	0.67	0.000	0.000*	0.90
IEF	17.25	0.67	0.000		
IECT	16.75	0.67	0.000	0.01*	0.52
IEF	17.25	0.67	0.000		

À travers le **tableau 7**, on observe que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les scores de TQR 24 h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution

normale (distribution non normale).de plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les scores de TQR 24 h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

- La comparaison entre le **hammam** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.25, supérieure à celle de le hammam, qui est de 12.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.37. Cette valeur est supérieure au seuil de signification de 0.05, Cela indique l'absence de différence statistiquement significative entre les scores de TQR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 12.25 pour le hammam et de 12.50 pour l'IECT.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.051. Cette valeur est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05, Cela indique l'absence de différence statistiquement significative entre les scores de TQR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 12.25 pour le hammam et de 12.75 pour l'IET.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle de hammam, qui est de 12.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 17.25, supérieure à celle de le hammam, qui est de 12.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.25, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 12.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89

- La comparaison entre le **sauna** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.25, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 12.75. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.051. Cette valeur est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05, Cela indique l'absence de différence statistiquement significative entre les scores de TQR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 16.25 pour la sauna et de 16.75 pour l'IECT.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur de l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 17.25, supérieure à celle du sauna, qui est de 16.25. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.79
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.051. Cette valeur est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les scores de TQR, bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des scores de TQR sont de 12.50 pour l'IEC et de 12.75 pour l'IET.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du l'IECT, dont la moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 12.50. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 17.25, supérieure à celle de l'IEC, qui est de 12.50. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90
- La comparaison entre l'**IET** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR. Cette différence est en faveur du l'IECT, dont la

moyenne des scores de TQR est de 16.75, supérieure à celle de l'IET, qui est de 12.75. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90

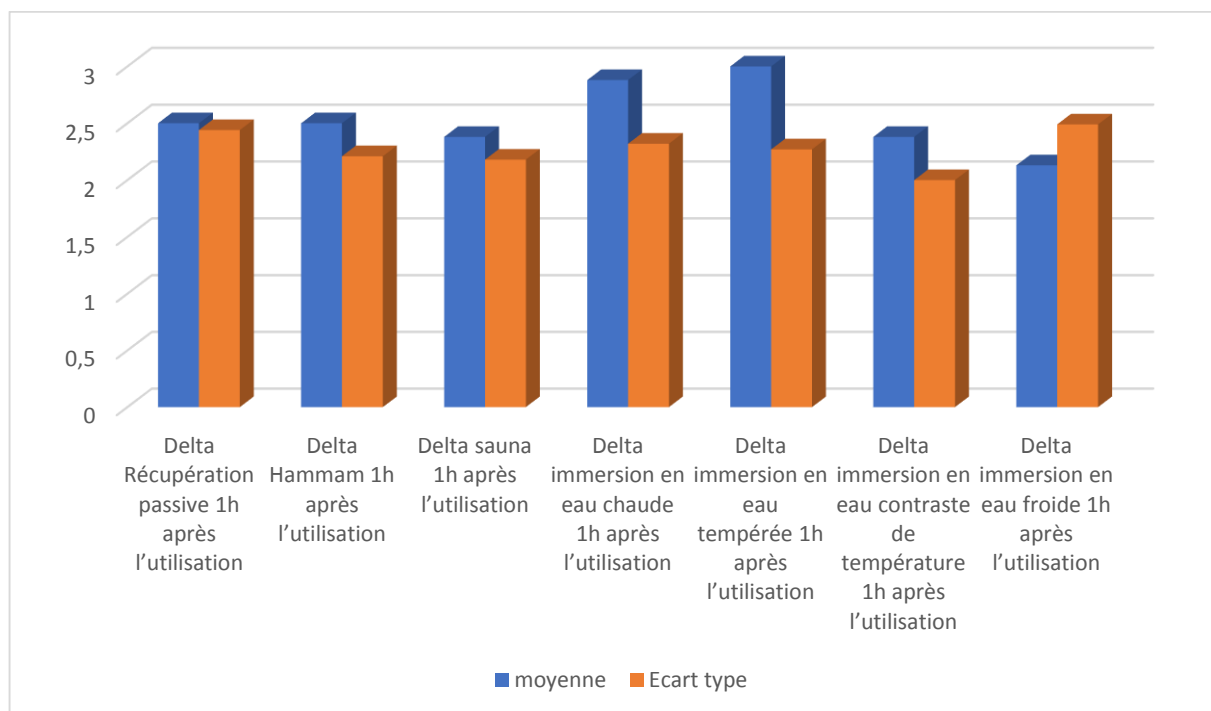
- La comparaison entre l'IET et l'IEF donne une valeur de **p** égale à 0.000. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 17.25, supérieure à celle de l'IET, qui est de 12.75. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.90
- La comparaison entre l'IECT et l'IEF donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les scores de TQR Cette différence est en faveur du l'IEF, dont la moyenne des scores de TQR est de 17.25, supérieure à celle de l'IECT, qui est de 16.75. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.52.

**1.7. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 1 h après l'application : (FCR)**

*Tableau 9 : Comparaison des valeurs de  $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les différents moyens de récupération 1 h après leur application*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
$\Delta$ FCR Récupération passive	2.50	2.44	0.000	01	/

$\Delta$ FCR Hammam	2.50	2.21	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	2.50	2.44	0.000	0.83	/
$\Delta$ FCR sauna	2.38	2.18	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	2.50	2.44	0.000	0.08	/
$\Delta$ FCR IEC	2.88	2.32	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	2.50	2.44	0.000	0.051	/
$\Delta$ FCR IET	03	2.27	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	2.50	2.44	0.000	0.71	/
$\Delta$ FCR IECT	2.38	02	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	2.50	2.44	0.000	0.26	/
$\Delta$ FCR IEF	2.13	2.49	0.000		



*Figure 26 : Comparaison des moyennes et écarts types des valeurs de  $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les moyens de récupération utilisée 1h après l'application*

À travers le **tableau 8**, nous observons que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 1h après l'utilisation des moyens de récupération est de

0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale. Par conséquent, nous avons utilisé le test de Wilcoxon afin d'évaluer les différences entre les méthodes de récupération. De plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 1h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

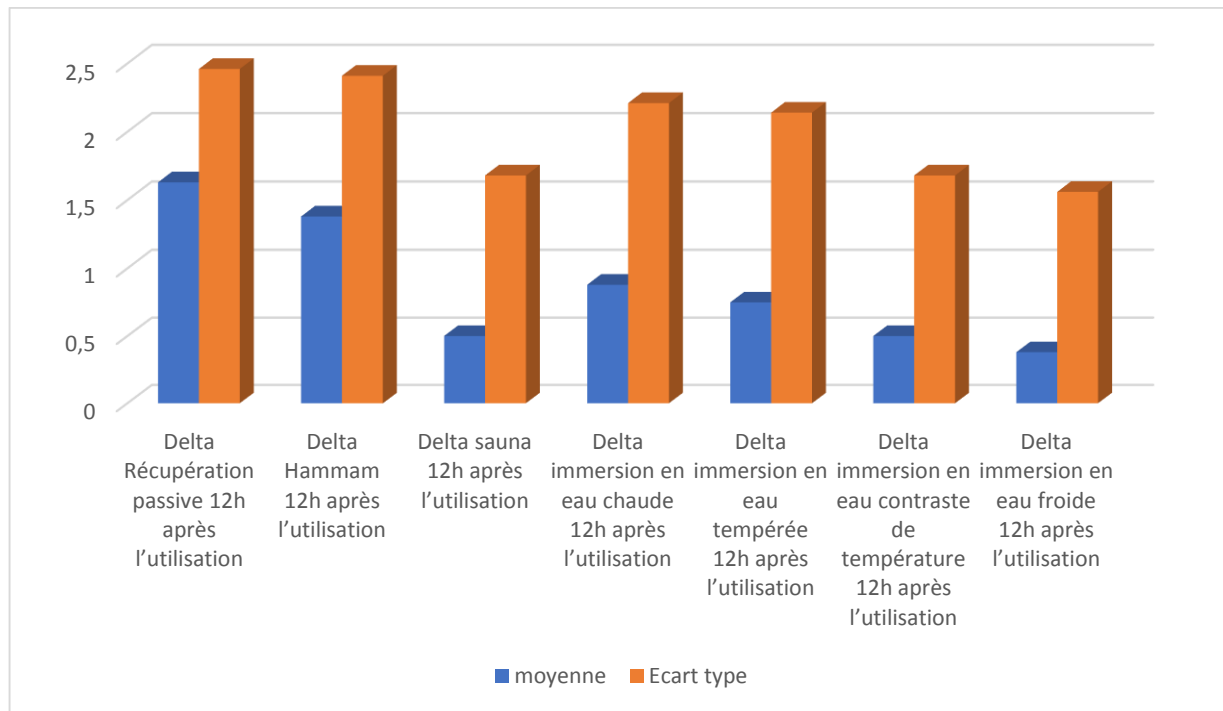
- La comparaison entre la **récupération passive** et le **hammam** donne une valeur de **p** égale à 1, supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique l'absence de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont identiques pour les deux conditions, avec une valeur de 2.50. Cela met en évidence l'absence d'effet différentiel entre ces deux moyens de récupération.
- La comparaison entre la **récupération passive** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.83, ce qui est supérieur au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR, bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour la récupération passive et de 2.38 pour le sauna.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.08, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour la récupération passive et de 2.88 pour l'IEC.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.051, elle est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour la récupération passive et de 3 pour l'IET.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.71, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour la récupération passive et de 2.38 pour l'IECT.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.26. ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance

puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour la récupération passive et de 2.13 pour l'IEF.

**1.8. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 12 h après l'application : (FCR)**

*Tableau 10 : Comparaison des valeurs de  $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les différents moyens de récupération 12 h après leur application*

Moyens de récupération	moyen	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
$\Delta$ FCR Récupération passive	1.63	2.46	0.000	0.16	/
$\Delta$ FCR Hammam	1.38	2.41	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	1.63	2.46	0.000	0.003*	0.75
$\Delta$ FCR sauna	0.50	1.68	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	1.63	2.46	0.000	0.01*	0.79
$\Delta$ FCR IEC	0.88	2.21	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	1.63	2.46	0.000	0.01*	0.83
$\Delta$ FCR IET	0.75	2.14	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	1.63	2.46	0.000	0.003*	0.75
$\Delta$ FCR IECT	0.50	1.68	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	1.63	2.46	0.000	0.002*	0.89
$\Delta$ FCR IEF	0.38	1.56	0.000		



*Figure 27 : Figure : Comparaison des moyennes et écarts types des valeurs de  $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les moyens de récupération utilisée 12 h après l'application*

À travers le **tableau 9**, nous observons que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 12 h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale. Par conséquent, nous avons utilisé le test de Wilcoxon afin d'évaluer les différences entre les méthodes de récupération. De plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 12 h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

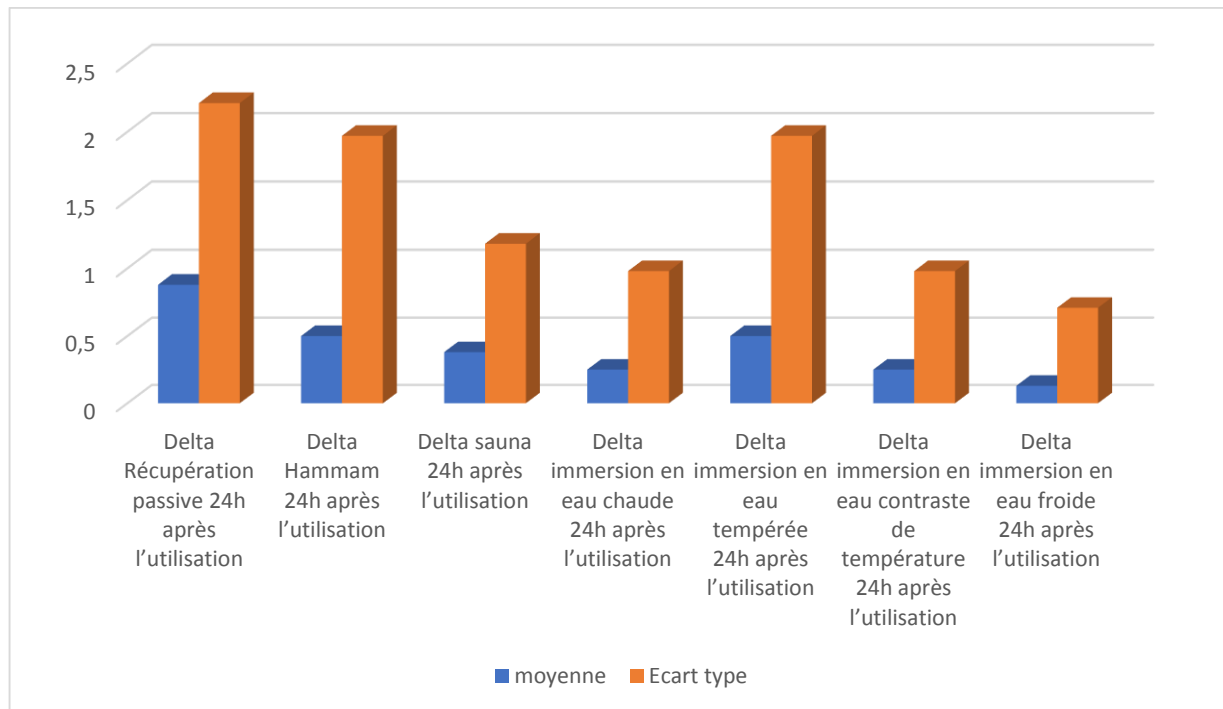
- La comparaison entre la **récupération passive** et le **hammam** donne une valeur de **p** égale à 0.16. ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 1.63 pour la récupération passive et de 1.38 pour le hammam.
- La comparaison entre la **récupération passive** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.003. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.50, inférieur à celle de la récupération passive, qui est de 1.63. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.75

- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur du IEC, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.88, inférieur à celle de la récupération passive, qui est de 1.63. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.79
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur de l'IET, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.75, inférieur à celle de la récupération passive, qui est de 1.63. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.83
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.002. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur de l'IECT, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.38, inférieur à celle de la récupération passive, qui est de 1.63. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.003. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur de l'IEF, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.50, inférieur à celle de la récupération passive, qui est de 1.63. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.75

**1.9. Comparaison entre les moyens de récupération utilisée et la récupération passive 24 h après l'application : (FCR)**

*Tableau 11 : Comparaison des valeurs de  $\Delta$ FCR entre la récupération passive et les différents moyens de récupération 24 h après leur application*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
$\Delta$ FCR Récupération passive	0.88	2.21	0.000	0.08	/
$\Delta$ FCR Hammam	0.50	1.97	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	0.88	2.21	0.000	0.21	/
$\Delta$ FCR sauna	0.38	1.18	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	0.88	2.21	0.000	0.08	/
$\Delta$ FCR IEC	0.50	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	0.88	2.21	0.000	0.08	/
$\Delta$ FCR IET	0.50	1.97	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	0.88	2.21	0.000	0.06	/
$\Delta$ FCR IECT	0.25	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR Récupération passive	0.88	2.21	0.000	0.08	/
$\Delta$ FCR IEF	0.13	0.71	0.000		



*Figure 28 : Comparaison des moyennes et écarts types des valeurs de  $\Delta FCR$  entre la récupération passive et les moyens de récupération utilisée 12 h après l'application*

À travers le **tableau 10**, nous observons que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les valeurs de  $\Delta FCR$  24 h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale. Par conséquent, nous avons utilisé le test de Wilcoxon afin d'évaluer les différences entre les méthodes de récupération. De plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les valeurs de  $\Delta FCR$  24 h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

- La comparaison entre la **récupération passive** et le **hammam** donne une valeur de **p** égale à 0.08, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta FCR$ . bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta FCR$  sont de 0.88 pour la récupération passive et de 0.50 pour le hammam.
- La comparaison entre la **récupération passive** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.21, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta FCR$ . bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta FCR$  sont de 0.88 pour la récupération passive et de 0.38 pour le sauna.

- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.08, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.88 pour la récupération passive et de 0.50 pour l'IEC.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.08, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.88 pour la récupération passive et de 0.50 pour l'IET.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.06, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.88 pour la récupération passive et de 0.25 pour l'IECT.
- La comparaison entre la **récupération passive** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.08, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.88 pour la récupération passive et de 0.13 pour l'IEF.

**1.10. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 1h après l'utilisation : ( $\Delta$ FCR)**

*Tableau 12 : Comparaison des valeurs de  $\Delta$ FCR entre les différents moyens de récupération 1h après leur application*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
$\Delta$ FCR Hammam	2.50	2.21	0.000	0.71	/
$\Delta$ FCR sauna	2.38	2.18	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	2.50	2.21	0.000	0.37	/
$\Delta$ FCR IEC	2.88	2.21	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	2.50	2.21	0.000	0.21	/
$\Delta$ FCR IET	03	2.27	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	2.50	2.21	0.000	0.76	/
$\Delta$ FCR IECT	2.38	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	2.50	2.21	0.000	0.44	/
$\Delta$ FCR IEF	2.13	2.49	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	2.38	2.18	0.000	0.11	/
$\Delta$ FCR IEC	2.88	2.21	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	2.38	2.18	0.000	0.02*	0.68
$\Delta$ FCR IET	03	2.27	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	2.38	2.18	0.000	01	/
$\Delta$ FCR IECT	2.38	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	2.38	2.18	0.000	0.48	/
$\Delta$ FCR IEF	2.13	2.49	0.000		
$\Delta$ FCR IEC	2.88	2.21	0.000	0.32	/
$\Delta$ FCR IET	03	2.27	0.000		
$\Delta$ FCR IEC	2.88	2.21	0.000	0.10	/
$\Delta$ FCR IECT	2.38	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR IEC	2.88	2.21	0.000	0.03*	0.56
$\Delta$ FCR IEF	2.13	2.49	0.000		
$\Delta$ FCR IET	03	2.27	0.000	0.03*	0.67
$\Delta$ FCR IECT	2.38	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR IET	03	2.27	0.000	0.01*	0.62
$\Delta$ FCR IEF	2.13	2.49	0.000		
$\Delta$ FCR IECT	2.38	0.98	0.000	0.48	/
$\Delta$ FCR IEF	2.13	2.49	0.000		

À travers le **tableau 11**, nous observons que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 24 h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale. Par conséquent, nous avons utilisé le test de Wilcoxon afin d'évaluer les différences entre les méthodes de récupération. De plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 1 h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

- La comparaison entre le **hammam** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.71, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour le hammam et de 2.38 pour le sauna.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.37, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour le hammam et de 2.88 pour l'IEC.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.21, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour le hammam et de 3 pour l'IET.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.76, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour le hammam et de 2.38 pour l'IECT.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.44, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.50 pour le hammam et de 2.13 pour l'IEF.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.11, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence

statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.38 pour le sauna et de 2.88 pour l'IEC.

- La comparaison entre le **sauna** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.02. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.38, inférieur à celle de la IET, qui est de 3. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.68
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 1, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont identiques pour les deux conditions, avec une valeur de 2.38. Cela met en évidence l'absence d'effet différentiel entre ces deux moyens de récupération.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.48, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.38 pour le sauna et de 2.13 pour l'IEF.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.48, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.88 pour l'IEC et de 3 pour l'IET.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.32, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.88 pour l'IEC et de 2.38 pour l'IECT.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.03. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur de l'IEF, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 2.13, inférieur à celle de l'IEC, qui est de 2.88. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.56

- La comparaison entre l'**IET** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.03. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur de l'**IECT**, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 2.38, inférieure à celle de l'**IET**, qui est de 3. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.67
- La comparaison entre l'**IET** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur de l'**IEF**, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 2.13, inférieure à celle de l'**IET**, qui est de 3. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.62.
- La comparaison entre l'**IECT** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.48, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. . bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 2.38 pour l'**IECT** et de 2.13 pour l'**IEF**.

**1.11. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 12 h après l'utilisation : ( $\Delta$ FCR)**

*Tableau 13 : Comparaison des valeurs de  $\Delta$ FCR entre les différents moyens de récupération 12 h après leur application*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du Shapiro	Signification de Wilcoxon	Taille de l'effet
$\Delta$ FCR Hammam	1.38	2.41	0.000	0.01*	0.75
$\Delta$ FCR sauna	0.50	1.68	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	1.38	2.41	0.000	0.051	/
$\Delta$ FCR IEC	0.88	2.21	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	1.38	2.41	0.000	0.03*	0.84
$\Delta$ FCR IET	0.75	2.14	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	1.38	2.41	0.000	0.01*	0.75
$\Delta$ FCR IECT	0.50	1.68	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	1.38	2.41	0.000	0.01*	0.89
$\Delta$ FCR IEF	0.38	1.56	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	0.50	1.68	0.000	0.08	/
$\Delta$ FCR IEC	0.88	2.21	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	0.50	1.68	0.000	0.16	/
$\Delta$ FCR IET	0.75	2.14	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	0.50	1.68	0.000	0.01	/
$\Delta$ FCR IECT	0.50	1.68	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	0.50	1.68	0.000	0.32	/
$\Delta$ FCR IEF	0.38	1.56	0.000		
$\Delta$ FCR IEC	0.88	2.21	0.000	0.32	/
$\Delta$ FCR IET	0.75	2.14	0.000		
$\Delta$ FCR IEC	0.88	2.21	0.000	0.08	/
$\Delta$ FCR IECT	0.50	1.68	0.000		
$\Delta$ FCR IEC	0.88	2.21	0.000	0.051	/
$\Delta$ FCR IEF	0.38	1.56	0.000		
$\Delta$ FCR IET	0.75	2.14	0.000	0.16	/
$\Delta$ FCR IECT	0.50	1.68	0.000		
$\Delta$ FCR IET	0.75	2.14	0.000	0.08	/
$\Delta$ FCR IEF	0.38	1.56	0.000		
$\Delta$ FCR IECT	0.50	1.68	0.000	0.32	/
$\Delta$ FCR IEF	0.38	1.56	0.000		

À travers le **tableau 12**, nous observons que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 12 h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale. Par conséquent, nous avons utilisé le test de Wilcoxon afin d'évaluer les différences entre les méthodes de récupération. De plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 12 h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

- La comparaison entre le **hammam** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur du sauna, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.50, inférieur à celle de hammam, qui est de 1.38. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.75
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.051, ce qui est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 1.38 pour le hammam et de 0.88 pour l'IEC.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur de l'IET, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.75, inférieur à celle de hammam, qui est de 1.38. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.84.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur de l'IECT, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.50, inférieur à celle de hammam, qui est de 1.38. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.75.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.01. Cette valeur, inférieure au seuil de signification de 0.05, indique une différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. Cette différence est en faveur de l'IEF, dont la moyenne des valeurs de  $\Delta$ FCR est de 0.38, inférieur à celle de hammam, qui est de 1.38. Par ailleurs, la taille de l'effet est de 0.89
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.08, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence

statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le sauna et de 0.88 pour l'IEC.

- La comparaison entre le **sauna** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.16, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le sauna et de 0.75 pour l'IET.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 1, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont identiques pour les deux conditions, avec une valeur de 0.50. Cela met en évidence l'absence d'effet différentiel entre ces deux moyens de récupération.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.32, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le sauna et de 0.38 pour l'IEF.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.32, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.88 pour l'IEC et de 0.75 pour l'IET.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.08, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.88 pour l'IEC et de 0.50 pour l'IECT.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.051, ce qui est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.88 pour l'IEC et de 0.38 pour l'IEF.

- La comparaison entre l'**IET** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.16, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.75 pour l'IET et de 0.50 pour l'IECT.
- La comparaison entre l'**IET** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.08, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.75 pour l'IET et de 0.38 pour l'IEF.
- La comparaison entre l'**IECT** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.32, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour l'IECT et de 0.38 pour l'IEF.

**1.12. Comparer les moyens de récupérations l'une par rapport aux autres 24 h après l'utilisation : ( $\Delta$ FCR)**

*Tableau 14 : Comparaison des valeurs de  $\Delta$ FCR entre les différents moyens de récupération 24 h après leur application*

Moyens de récupération	moyenne	Ecart type	Signification du shapiro	Signification de wilcoxon	Taille de l'effet
$\Delta$ FCR Hammam	0.50	1.97	0.000	0.71	/
$\Delta$ FCR sauna	0.38	1.18	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	0.50	1.97	0.000	1	/
$\Delta$ FCR IEC	0.50	1.97	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	0.50	1.97	0.000	1	/
$\Delta$ FCR IET	0.50	1.97	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	0.50	1.97	0.000	0.41	/
$\Delta$ FCR IECT	0.25	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR Hammam	0.50	1.97	0.000	0.28	/
$\Delta$ FCR IEF	0.13	0.71	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	0.38	1.18	0.000	0.71	/
$\Delta$ FCR IEC	0.50	1.97	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	0.38	1.18	0.000	0.71	/
$\Delta$ FCR IET	0.50	1.97	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	0.38	1.18	0.000	0.56	/
$\Delta$ FCR IECT	0.25	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR Sauna	0.38	1.18	0.000	0.16	/
$\Delta$ FCR IEF	0.13	0.71	0.000		
$\Delta$ FCR IEC	0.50	1.97	0.000	1	/
$\Delta$ FCR IET	0.50	1.97	0.000		
$\Delta$ FCR IEC	0.50	1.97	0.000	0.41	/
$\Delta$ FCR IECT	0.25	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR IEC	0.50	1.97	0.000	0.28	/
$\Delta$ FCR IEF	0.13	0.71	0.000		
$\Delta$ FCR IET	0.50	1.97	0.000	0.41	/
$\Delta$ FCR IECT	0.25	0.98	0.000		
$\Delta$ FCR IET	0.50	1.97	0.000	0.28	/
$\Delta$ FCR IEF	0.13	0.71	0.000		
$\Delta$ FCR IECT	0.25	0.98	0.000	0.56	/
$\Delta$ FCR IEF	0.13	0.71	0.000		

À travers le **tableau 13**, nous observons que la significativité (p-value) du test de Shapiro-Wilk pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 12 h après l'utilisation des moyens de récupération est de 0.000 pour chacun. Étant inférieure à 0.05, cela indique que les résultats ne suivent pas une distribution normale. Par conséquent, nous avons utilisé le test de Wilcoxon afin d'évaluer les différences entre les méthodes de récupération. De plus, nous observons que la significativité (p-value) du test de Wilcoxon pour les valeurs de  $\Delta$ FCR 12 h après l'utilisation des méthodes de récupération montre les résultats suivants :

- La comparaison entre le **hammam** et le **sauna** donne une valeur de **p** égale à 0.71, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le hammam et de 0.38 pour le sauna.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 1, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont identiques pour les deux conditions, avec une valeur de 0.50. Cela met en évidence l'absence d'effet différentiel entre ces deux moyens de récupération.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 1, ce qui est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont identiques pour les deux conditions, avec une valeur de 0.50. Cela met en évidence l'absence d'effet différentiel entre ces deux moyens de récupération.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.41, ce qui est légèrement supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 1.38 pour le hammam et de 0.88 pour l'IECT.
- La comparaison entre le **hammam** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.28, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le hammam et de 0.13 pour l'IEF.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEC** donne une valeur de **p** égale à 0.56, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence

statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.38 pour le sauna et de 0.50 pour l'IEC.

- La comparaison entre le **sauna** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 0.71, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.38 pour le sauna et de 0.50 pour l'IET.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.56, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.38 pour le sauna et de 0.25 pour l'IECT.
- La comparaison entre le **sauna** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.16, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le sauna et de 0.13 pour l'IEF.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IET** donne une valeur de **p** égale à 1, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont identiques pour les deux conditions, avec une valeur de 0.50. Cela met en évidence l'absence d'effet différentiel entre ces deux moyens de récupération
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.41, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le l'IEC et de 0.25 pour l'IECT.
- La comparaison entre l'**IEC** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.28, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le l'IEC et de 0.13 pour l'IEF.

- La comparaison entre l'**IET** et l'**IECT** donne une valeur de **p** égale à 0.41, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le l'IET et de 0.25 pour l'IECT.
- La comparaison entre l'**IET** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.28, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.50 pour le l'IET et de 0.13 pour l'IEF.
- La comparaison entre l'**IECT** et l'**IEF** donne une valeur de **p** égale à 0.56, ce qui est supérieure au seuil de signification de 0.05. Cela indique qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les valeurs de  $\Delta$ FCR. bien qu'une tendance puisse être observée. En effet, les moyennes des valeurs de  $\Delta$ FCR sont de 0.25 pour le l'IECT et de 0.13 pour l'IECT.

## **2. Discussion des résultats :**

### **2.1. Comparaison des moyens de récupérations utilisées par rapport à la récupération passive (TQR) :**

L'analyse des scores du TQR à 1h, 12h et 24h après l'application met en évidence une nette supériorité des moyens de récupération utilisés par rapport à la récupération passive.

À 1h après l'application, la récupération passive présente un score moyen de 8, nettement inférieur à celui du sauna (14.25), de l'IEF (14.75) et de l'IECT (14), avec des tailles d'effet élevées ( $\geq 0.87$ ). Ces résultats suggèrent que ces méthodes procurent une meilleure perception immédiate de la récupération. En revanche, le hammam (8.75), l'IEC (10.25) et l'IET (10.63) montrent des scores légèrement supérieurs mais proches de la récupération passive, indiquant une efficacité moindre à court terme.

À 12h après l'application, la récupération passive progresse légèrement (11) mais reste inférieure au sauna (15), à l'IECT (15.50) et surtout à l'IEF (16.75), qui affiche le score le plus élevé. Le hammam (11.50) et l'IET (11.25) restent proches de la récupération passive, suggérant une influence limitée sur la perception de récupération à moyen terme.

À 24h après l'application, la récupération passive atteint 12.25, mais reste en retrait face au sauna (16.25), à l'IECT (16.75) et à l'IEF (17.25), qui présentent toujours des écarts significatifs. L'IEC (12.50) et l'IET (12.75) se rapprochent davantage des valeurs de la récupération passive, confirmant leur effet modéré sur la perception de récupération à long terme.

## **2.2. Comparaison des moyens de récupérations utilisées par rapport à la récupération passive ( $\Delta$ FCR) :**

L'évolution de la fréquence cardiaque au repos ( $\Delta$ FCR) permet d'évaluer l'efficacité des différentes méthodes de récupération en termes de régulation du système cardiovasculaire. Une  $\Delta$ FCR plus faible est généralement associée à une meilleure récupération, car elle indique une stabilisation rapide de la fréquence cardiaque au repos après un effort intense.

À 1h post-intervention, la récupération passive présente une  $\Delta$ FCR moyenne de  $2.50 \pm 2.44$ . Comparée aux autres méthodes, les différences observées sont faibles et non significatives, suggérant que l'impact immédiat des moyens de récupération sur la régulation cardiovasculaire reste limité. Toutefois, l'immersion en eau chaude (IEC :  $2.88 \pm 2.32$ ) et l'immersion en eau tempérée (IET :  $3.00 \pm 2.27$ ) affichent des valeurs légèrement plus élevées, ce qui pourrait indiquer un effet stimulant transitoire sur le système cardiovasculaire. À l'inverse, l'IEF ( $2.13 \pm 2.49$ ) et l'IECT ( $2.38 \pm 2.00$ ) présentent des valeurs plus faibles que la récupération passive, suggérant une récupération légèrement plus rapide. Cependant, aucune de ces différences n'est significative, ce qui limite la portée de ces observations.

A 12h après l'application des protocoles, la récupération passive affiche une  $\Delta$ FCR de  $1.63 \pm 2.46$ , traduisant une tendance à la normalisation de la FCR. En comparaison, plusieurs méthodes montrent des  $\Delta$ FCR significativement plus faibles :

- Sauna :  $0.50 \pm 1.68$  ( $p = 0.003$ , taille d'effet = 0.75)
- L'IEC :  $0.88 \pm 2.21$  ( $p = 0.01$ , taille d'effet = 0.79)
- L'IET :  $0.75 \pm 2.14$  ( $p = 0.01$ , taille d'effet = 0.83)
- L'IECT :  $0.50 \pm 1.68$  ( $p = 0.003$ , taille d'effet = 0.75)
- L'IEF :  $0.38 \pm 1.56$  ( $p = 0.002$ , taille d'effet = 0.89)

Le hammam présente une  $\Delta$ FCR de  $1.38 \pm 2.41$ , légèrement inférieure à celle de la récupération passive, mais sans différence statistiquement significative. Cela suggère que

son effet sur la récupération cardiovasculaire à 12 h reste limité par rapport aux autres méthodes, qui montrent des réductions plus marquées et significatives de la  $\Delta$ FCR. Ces résultats indiquent que le sauna, l'IEC, l'IET, l'IECT et l'IEF permettent une réduction plus marquée de la  $\Delta$ FCR par rapport à la récupération passive, ce qui suggère une meilleure récupération du système cardiovasculaire. La taille d'effet élevée ( $>0.75$ ) renforce la pertinence de ces différences.

À 24h post-intervention, la  $\Delta$ FCR après récupération passive continue de diminuer ( $0.88 \pm 2.21$ ), traduisant une progression naturelle de la récupération. Cependant, les autres méthodes présentent des  $\Delta$ FCR encore plus faibles :

- Sauna :  $0.38 \pm 1.18$ .
- IEC et IET :  $0.50 \pm 0.98$ .
- IECT :  $0.25 \pm 0.98$
- IEF :  $0.13 \pm 0.71$

Même si ces méthodes affichent de meilleures valeurs de récupération, les différences avec la récupération passive ne sont pas statistiquement significatives, ce qui ne permet pas d'affirmer avec certitude une supériorité en termes d'efficacité à 24h.

### **2.3. Comparaison des moyens de récupération utilisés (TQR):**

Une heure après l'application des protocoles, les scores du TQR révèlent des différences marquées entre les différentes méthodes de récupération.

Le sauna ( $14.25 \pm 0.98$ ), l'IECT ( $14 \pm 1.02$ ) et l'IEF ( $14.75 \pm 1.22$ ) affichent les scores les plus élevés, indiquant une meilleure perception de récupération. L'IEF se distingue comme la méthode offrant la perception la plus favorable, bien que la différence entre le sauna, l'IECT et l'IEF ne soit pas significative ( $p = 0.25$  et  $p = 0.051$ , respectivement). En revanche, le hammam ( $8.75 \pm 1.32$ ) présente un score nettement inférieur à ces cinq méthodes, avec des différences hautement significatives ( $p \leq 0.001$ , tailles d'effet élevées :  $0.63$  à  $0.88$ ). De même, l'IEC ( $10.25 \pm 1.32$ ) et l'IET ( $10.63 \pm 1.01$ ) se situent en dessous des méthodes les plus efficaces, avec des différences significatives par rapport au sauna, à l'IECT et à l'IEF ( $p \leq 0.000$ , tailles d'effet entre  $0.86$  et  $0.89$ ). La comparaison entre l'IEC et l'IET montre une différence non significative ( $p = 0.051$ ), suggérant une efficacité similaire en matière de perception de récupération. Toutefois, ces deux méthodes restent significativement moins efficaces que l'IECT et l'IEF ( $p \leq 0.000$ , tailles d'effet  $\geq 0.86$ ).

En résumé, l'IEF, le sauna et l'IECT apparaissent comme les méthodes les plus efficaces une heure après utilisation, tandis que le hammam se révèle être la méthode la moins performante en termes de perception de récupération immédiate.

A 12 h après l'application des protocoles, les scores du TQR montrent des différences significatives entre les différentes méthodes de récupération.

L'IEF ( $16.75 \pm 1.22$ ) et l'IECT ( $15.50 \pm 0.88$ ) affichent les scores les plus élevés, indiquant une perception optimale de la récupération. L'IEF se distingue comme la méthode la plus efficace, avec une différence significative par rapport à toutes les autres méthodes ( $p \leq 0.000$ , tailles d'effet  $\geq 0.83$ ). Le sauna ( $15 \pm 1.02$ ) montre également une récupération perçue élevée, bien qu'inférieure à l'IEF et l'IECT. La différence entre le sauna et l'IECT est significative ( $p = 0.000$ , taille d'effet = 0.83), tandis que la comparaison avec l'IEF révèle une différence marquée en faveur de ce dernier ( $p = 0.000$ , taille d'effet = 0.89). En revanche, le hammam ( $11.50 \pm 0.88$ ), l'IEC ( $11 \pm 0.00$ ) et l'IET ( $11.25 \pm 0.67$ ) affichent des scores significativement inférieurs aux autres méthodes. L'IEC en particulier présente la récupération perçue la plus faible, avec une différence significative par rapport aux méthodes les plus efficaces ( $p \leq 0.000$ , tailles d'effet  $\geq 0.89$ ). La comparaison entre l'IEC et l'IET indique une différence significative en faveur de l'IET ( $p = 0.000$ , taille d'effet = 0.89), bien que ces deux méthodes restent inférieures aux autres.

En résumé, l'IEF et l'IECT sont les méthodes les plus efficaces après 12 heures, suivies du sauna. À l'inverse, le hammam, l'IEC et l'IET se révèlent moins performants en termes de perception de récupération.

A 24 h après l'application des protocoles, les scores du TQR continuent de montrer des différences significatives entre les méthodes de récupération. L'IEF ( $17.25 \pm 0.67$ ) et l'IECT ( $16.75 \pm 0.67$ ) affichent les meilleures perceptions de récupération, confirmant leur efficacité déjà observée à 12 heures. L'IEF présente la différence la plus marquée par rapport aux autres méthodes ( $p \leq 0.000$ , tailles d'effet  $\geq 0.79$ ), notamment par rapport au sauna ( $p = 0.000$ , taille d'effet = 0.79) et à l'IECT ( $p = 0.01$ , taille d'effet = 0.52). Le sauna ( $16.25 \pm 0.98$ ) reste une option efficace, avec une récupération perçue élevée, bien qu'inférieure à celle de l'IEF et de l'IECT. La comparaison avec l'IEF révèle une différence significative en faveur de ce dernier ( $p = 0.000$ , taille d'effet = 0.79). En revanche, le hammam ( $12.25 \pm 0.98$ ), l'IEC ( $12.50 \pm 0.88$ ) et l'IET ( $12.75 \pm 0.67$ ) affichent les scores les plus bas, traduisant une récupération perçue plus faible. L'IEC présente l'un des écarts

les plus marqués avec les meilleures méthodes ( $p \leq 0.000$ , tailles d'effet  $\geq 0.89$ ), de même que l'IET ( $p \leq 0.000$ , tailles d'effet  $\geq 0.90$ ).

Les résultats indiquent que l'IEF et l'IECT restent les méthodes les plus efficaces à long terme, suivies du sauna, tandis que le hammam, l'IEC et l'IET apparaissent comme moins performants. Ces différences suggèrent une supériorité des techniques basées sur l'immersion en eau froide et contrastée pour favoriser la récupération perçue sur 24 heures.

#### **2.4. Comparaison des moyens de récupération utilisés ( $\Delta$ FCR) :**

Une heure après l'application des protocoles de récupération, des différences significatives sont observées entre certaines méthodes en termes de restauration de la fréquence cardiaque au repos ( $\Delta$ FCR). L'IEF ( $2.13 \pm 2.49$ ) et l'IECT ( $2.38 \pm 0.98$ ) affichent les valeurs les plus faibles, traduisant une meilleure efficacité dans la récupération de la FCR à court terme. L'IEF se distingue particulièrement par rapport à l'IET ( $p = 0.01$ , taille d'effet = 0.62), confirmant son avantage en termes de stabilisation de la fréquence cardiaque après l'effort. Le hammam ( $2.50 \pm 2.21$ ) présente une  $\Delta$ FCR légèrement plus élevée que l'IECT et l'IEF, suggérant une efficacité intermédiaire. Aucune différence significative n'est observée entre le hammam et les autres méthodes ( $p > 0.05$ ), indiquant qu'il offre une récupération comparable au sauna et aux autres moyens étudiés. L'IEC ( $2.88 \pm 2.21$ ) présente une  $\Delta$ FCR significativement plus élevée que l'IECT ( $p = 0.03$ , taille d'effet = 0.56), suggérant que l'IECT permet une récupération plus rapide de la FCR qu'une immersion en eau contrastée classique. De même, l'IET ( $3.00 \pm 2.27$ ) affiche des valeurs plus élevées que l'IECT ( $p = 0.03$ , taille d'effet = 0.67) et que l'IEF ( $p = 0.01$ , taille d'effet = 0.62), indiquant une efficacité moindre par rapport aux méthodes impliquant une immersion en eau froide ou contrastée. Le sauna ( $2.38 \pm 2.18$ ), bien que proche des valeurs obtenues avec l'IECT et l'IEF, se distingue significativement de l'IET ( $p = 0.02$ , taille d'effet = 0.68), renforçant l'idée que l'exposition à la chaleur sèche entraîne une réponse physiologique plus favorable que certaines autres méthodes d'immersion.

En résumé, l'IEF et l'IECT apparaissent comme les méthodes les plus efficaces pour restaurer rapidement la fréquence cardiaque au repos après un effort intense, suivies du sauna et du hammam, qui offrent une récupération intermédiaire. En revanche, l'IET et l'IEC se révèlent moins performants, traduisant une récupération plus lente de la FCR. Ces résultats soulignent l'intérêt des techniques d'immersion en eau froide et contrastée pour favoriser une récupération physiologique optimale à court terme.

A 12h après l'application des protocoles, des différences significatives apparaissent entre certaines méthodes de récupération en termes de restauration de la fréquence cardiaque au repos ( $\Delta$ FCR). Les valeurs les plus faibles, indiquant une meilleure récupération physiologique, sont observées pour l'IEF ( $0.38 \pm 1.56$ ) et l'IECT ( $0.50 \pm 1.68$ ). Le hammam ( $1.38 \pm 2.41$ ) affiche la  $\Delta$ FCR la plus élevée, ce qui traduit une récupération plus lente de la fréquence cardiaque. Cette méthode est significativement moins efficace que plusieurs autres :

- Comparé à l'IEF, le hammam montre une différence significative ( $p = 0.01$ , taille d'effet = 0.89), soulignant l'avantage des immersions en eau froide pour restaurer la FCR.
- Comparé à l'IECT, une différence significative est aussi observée ( $p = 0.01$ , taille d'effet = 0.75), renforçant l'idée que l'eau contrastée est plus bénéfique pour la récupération cardiovasculaire.
- Comparé à l'IET ( $0.75 \pm 2.14$ ), le hammam présente une  $\Delta$ FCR significativement plus élevée ( $p = 0.03$ , taille d'effet = 0.84), indiquant une efficacité moindre.
- Comparé au sauna ( $0.50 \pm 1.68$ ), le hammam est significativement moins efficace ( $p = 0.01$ , taille d'effet = 0.75), montrant que le sauna permet une meilleure restauration de la FCR à 12h.

Le sauna ( $0.50 \pm 1.68$ ) affiche une  $\Delta$ FCR relativement faible, comparable à l'IECT et l'IEF, mais aucune différence significative avec les autres méthodes n'a été relevée ( $p > 0.05$ ), sauf avec le hammam, qui se révèle moins efficace.

Enfin, l'IEC ( $0.88 \pm 2.21$ ) et l'IET ( $0.75 \pm 2.14$ ) présentent des valeurs légèrement plus élevées que l'IECT et l'IEF, mais sans différences significatives avec ces méthodes ( $p > 0.05$ ).

En effet, L'IEF et l'IECT restent les méthodes les plus efficaces pour restaurer la fréquence cardiaque 12 heures après un effort intense. Le hammam se révèle le moins performant, avec des différences significatives par rapport à plusieurs autres méthodes, notamment le sauna ( $p = 0.01$ , taille d'effet = 0.75), l'IEF et l'IECT. Le sauna, bien qu'intermédiaire, est nettement plus efficace que le hammam, ce qui suggère que la chaleur sèche du sauna pourrait être plus bénéfique que l'humidité du hammam pour la récupération cardiovasculaire. Ces résultats confirment la supériorité des techniques d'immersion en eau froide et contrastée, tout en montrant que le sauna pourrait être un choix plus adapté que le hammam.

A 24h après l'application des protocoles de récupération, les différences entre les méthodes deviennent moins marquées, indiquant une tendance vers une normalisation de la fréquence cardiaque au repos. Cependant, certaines méthodes continuent de montrer de légères variations dans leur efficacité. Les meilleures récupérations sont observées pour l'IEF ( $0.13 \pm 0.71$ ) et l'IECT ( $0.25 \pm 0.98$ ), qui affichent les valeurs les plus faibles de  $\Delta$ FCR, suggérant une restauration plus rapide de l'équilibre physiologique. À l'inverse, des méthodes comme le hammam ( $0.50 \pm 1.97$ ), le sauna ( $0.38 \pm 1.18$ ), l'IEC ( $0.50 \pm 1.97$ ) et l'IET ( $0.50 \pm 1.97$ ) montrent des  $\Delta$ FCR légèrement plus élevées, bien que les différences entre elles ne soient pas toujours significatives.

En résumé, les écarts entre les méthodes de récupération s'atténuent, mais l'IEF et l'IECT restent les plus efficaces pour restaurer la FCR, tandis que le hammam, l'IEC et l'IET semblent moins performants. Toutefois, contrairement aux résultats observés à 1h et 12h, aucune différence statistiquement significative n'a été relevée entre les méthodes, ce qui indique que l'effet des différentes stratégies de récupération tend à s'équilibrer après une journée complète.

### **3. Conclusion**

Le présent travail avait pour objectif d'évaluer l'efficacité de trois moyens de récupération post-effort (le hammam, le sauna et l'immersion en eau) chez des jeunes joueurs algériens U19. Cette recherche s'inscrit dans un contexte où la charge d'entraînement est particulièrement intense, rendant la récupération un élément crucial pour maintenir la performance et prévenir les blessures. En outre, elle vise à proposer des solutions économiquement accessibles, adaptées aux contraintes budgétaires des clubs algériens.

Les résultats obtenus confirment que ces méthodes sont plus efficaces que la récupération passive, bien qu'elles diffèrent dans leurs effets selon les critères évalués et les délais post-application.

#### **3.1. Synthèse des Résultats :**

##### **3.1.1. Perception Subjective de la Récupération (TQR) :**

L'analyse des scores du TQR montre une nette supériorité des méthodes testées par rapport à la récupération passive :

- À 1 heure après l'application, l'immersion en eau froide (IEF), le sauna et l'immersion en eau chaude/tempérée combinée (IECT) se distinguent comme les plus efficaces, avec des scores significativement plus élevés. L'IEF affiche le score le plus favorable.
- À 12 heures, cette tendance se maintient, avec l'IEF toujours en tête, suivie du sauna et de l'IECT.
- À 24 heures, bien que les écarts diminuent, l'IEF reste la méthode la plus performante.

Le hammam, quant à lui, montre une efficacité moindre à court terme, avec des scores proches de ceux de la récupération passive.

### 3.1.2. Évolution Physiologique ( $\Delta$ FCR) :

L'évaluation de la fréquence cardiaque au repos ( $\Delta$ FCR) révèle également des différences significatives entre les méthodes :

- Immédiatement après l'application (1 heure), les différences ne sont pas statistiquement significatives, mais l'IEF et l'IECT montrent des signes encourageants.
- la  $\Delta$ FCR par rapport à la récupération passive, avec des tailles d'effet élevées ( $>0.75$ ). L'IEF reste la méthode la plus efficace.
- À 24 heures, toutes les méthodes actives convergent vers une récupération similaire, bien que l'IEF conserve légèrement l'avantage.

### 3.1.3. Comparaison des Méthode :

En comparant les différentes techniques utilisées :

- **Immersion en eau froide (IEF) :** Se démarque comme la méthode la plus efficace pour une récupération rapide, tant sur le plan subjectif (TQR) que physiologique ( $\Delta$ FCR).
- **Sauna et IECT :** Sont également très performants, notamment pour une récupération prolongée et une meilleure régulation cardiovasculaire.
- **Hammam :** Apparaît moins efficace, en particulier dans les premières heures suivant l'effort, bien qu'il puisse offrir des bénéfices psychologiques non mesurés dans cette étude.
- **Immersion en eau chaude (IEC) et tempérée (IET) :** Montrent des effets modérés, situés entre ceux du hammam et des autres méthodes.

#### **3.1.4. Réponse aux Objectifs :**

Nous avons pleinement atteint les objectifs fixés dans cette recherche :

- Du point de vue scientifique, nous avons prouvé que ces trois méthodes de récupération traditionnelles ont un impact positif significatif sur différents aspects de la récupération post-effort, surpassant largement la récupération passive.
- Sur le plan pratique, nous avons proposé des solutions économiques et accessibles adaptées aux besoins spécifiques des clubs algériens U19. Ces résultats offrent des recommandations concrètes pour choisir la méthode la mieux adaptée selon les objectifs (réduction rapide de la fatigue ou relaxation prolongée).

#### **3.1.5. Limite de l'Étude :**

Bien que nos résultats soient robustes, certaines limites doivent être reconnues :

- La taille limitée de l'échantillon (joueurs masculins U19) restreint la généralisation des conclusions à d'autres groupes d'âge ou disciplines sportives.
- Les mesures subjectives (TQR) peuvent être influencées par des facteurs externes, bien que leur combinaison avec des indicateurs objectifs ( $\Delta$ FCR) renforce la fiabilité des résultats.
- L'étude n'a pas exploré les effets combinés des différentes méthodes ni leurs impacts à long terme.

#### **3.1.6. Implications Pratiques :**

Les implications pratiques de cette recherche sont multiples :

- Pour les entraîneurs et les encadrements médicaux, ces résultats fournissent des recommandations claires pour optimiser la récupération des joueurs. Par exemple :
  - Utiliser l'immersion en eau froide après des efforts intenses nécessitant une récupération rapide.
  - Préférer le sauna ou l'IECT pour favoriser une relaxation plus prolongée et prévenir les blessures.
  - Considérer le hammam pour ses effets psychologiques et sociaux, notamment dans des contextes où la convivialité joue un rôle important.

- Ces solutions économiques permettent aux clubs amateurs et semi-professionnels de disposer d'outils performants sans investissements coûteux.

### **3.1.7. Comparaison avec les Études Antérieures :**

Les résultats que l'on a trouvés peuvent être mis en perspective avec plusieurs études précédentes ayant analysé l'efficacité des moyens de récupération après un effort intense.

#### **➤ Efficacité de l'Immersion en Eau Froide (CWI) :**

Les résultats que l'on a trouvés montrent que l'immersion en eau froide (IEF) est la méthode la plus efficace pour accélérer la récupération, aussi bien selon les indicateurs subjectifs (TQR) que physiologiques ( $\Delta$ FCR), avec une amélioration significative dès 1h post-application. Ces conclusions sont en accord avec celles de (Oletchia, 2014) et (Setaouti, Khiat, & Kasmi, 2021), qui confirment l'efficacité du CWI pour réduire la fatigue et restaurer la performance après l'effort. De même, (Hauswirth C. , Bieuzen, Barbiche, & Brisswalter, 2010) rapportent des bénéfices significatifs après des exercices à forte contrainte énergétique. Cette convergence des résultats renforce l'idée que l'IEF est un moyen de récupération optimal, particulièrement dans le cadre du football où les efforts explosifs et répétitifs sont fréquents.

#### **➤ Immersion en Eau Contrastée (CWT)**

Les résultats que l'on a trouvés indiquent que l'immersion en eau contrastée (IECT) est efficace, mais légèrement moins que l'IEF. Son efficacité est plus visible à moyen terme (12h-24h). Cependant, certaines études antérieures présentent des résultats mitigés. (Elias, Victoria L, Matthew C , Michael J, & Robert J. , 2013) montrent que l'IECT est moins efficace que l'IEF pour la récupération des footballeurs. De même, (Versey, Halson, & Dawson, 2011) observent une amélioration de la performance après un protocole court (6 min), mais pas pour des durées plus longues. À l'inverse, (Jaili, 2014) indique que l'IECT offre une récupération perçue plus durable par rapport à l'IEF, bien que les effets sur la performance restent incertains. Enfin, (Hauswirth C. , Bieuzen, Barbiche, & Brisswalter, 2010) rapportent des bénéfices similaires entre l'IEF et l'IECT, en particulier après des exercices à forte contrainte énergétique. Ces différences de résultats pourraient s'expliquer par la variabilité des protocoles expérimentaux et des populations étudiées. Cependant, les résultats que l'on a trouvés s'alignent avec la tendance générale suggérant que l'IECT offre

un bénéfice certain sur la récupération perçue mais reste en retrait par rapport à l'IEF pour une récupération rapide.

➤ **Effets du Sauna :**

Nos résultats montrent que le sauna est efficace pour une récupération prolongée, notamment à 12h et 24h, mais moins performant à court terme. Ces observations se situent entre deux tendances relevées dans la littérature. D'une part, (Skorski, et al., 2020) indiquent que le sauna diminue la performance des nageurs après un entraînement intense, suggérant qu'une récupération immédiate par cette méthode pourrait ne pas être optimale. D'autre part, (Dahlquist, Brad , James, & Michael, 2023) trouvent une amélioration des performances sur 5 et 10 km après un bain de sauna. Cette variabilité des résultats peut être attribuée à la nature des efforts (exercice anaérobie vs. aérobie), aux adaptations physiologiques et aux conditions environnementales. Toutefois, les résultats qu'on a trouvés confirment que le sauna peut être bénéfique pour une récupération plus étalée dans le temps.

➤ **Hamam et Autres Méthodes :**

Le hamam s'est révélé être la méthode la moins efficace à court terme, avec des effets comparables à ceux de la récupération passive. Toutefois, il pourrait présenter des bénéfices psychologiques, notamment en favorisant la relaxation et le bien-être. Le manque d'études approfondies sur son impact spécifique sur la récupération sportive limite les possibilités de comparaison avec d'autres méthodes. Néanmoins, ces résultats est davantage un outil de détente qu'un véritable moyen d'optimisation de la récupération physiologique après un effort intense.

**3.1.8. Standardisation des Protocoles et Perspectives :**

Les résultats que l'on a trouvés sont fondés sur une approche combinant des indicateurs subjectifs (TQR) et physiologiques ( $\Delta$ FCR), renforçant ainsi la robustesse de l'analyse. Une difficulté majeure rencontrée dans la comparaison avec la littérature réside dans la variabilité des protocoles expérimentaux, des durées d'application, des températures utilisées et des populations étudiées. Comme plusieurs études l'ont souligné, le manque de standardisation des méthodes d'évaluation et la taille réduite des échantillons (souvent entre 8 et 28 athlètes) compliquent l'interprétation des résultats et leur généralisation

Toutefois, les résultats que l'on a trouvés confirment plusieurs tendances de la littérature :

- L'immersion en eau froide est la méthode la plus efficace pour une récupération rapide.
- L'immersion en eau contrastée est utile à moyen terme, bien que son efficacité soit légèrement inférieure à celle de l'IEF.
- Le sauna offre des bénéfices à long terme, mais peut-être moins efficace juste après un effort intense.
- Le hammam pourrait être plus intéressant pour la relaxation que pour une récupération physiologique rapide.

### **3.1.9. Perspectives et Avenues de Recherche :**

Cette étude ouvre plusieurs pistes pour des recherches futures :

- Explorer les effets combinés des différentes méthodes de récupération afin de maximiser leurs bénéfices.
- Comparer ces techniques traditionnelles avec des technologies modernes (cryothérapie, massages mécaniques) pour enrichir nos connaissances.
- Étudier les impacts de ces méthodes sur des populations variées, telles que les femmes ou les adultes professionnels, afin d'élargir la portée des résultats.

En définitive, cette recherche contribue à mieux comprendre comment des moyens traditionnels et accessibles peuvent améliorer la récupération post-effort chez les jeunes joueurs algériens U19. Grâce à un protocole expérimental rigoureux, nous avons démontré que l'immersion en eau froide, le sauna et l'immersion en eau chaude/tempérée constituent des alternatives efficaces et économiquement viables pour accélérer le processus de récupération.

L'évaluation de la récupération perçue (TQR) a également révélé des différences notables dans la sensation de bien-être et de récupération des joueurs, mettant en évidence l'importance de la perception individuelle dans le choix d'une stratégie de récupération. Ces résultats soulignent que l'efficacité d'un moyen de récupération ne dépend pas uniquement des effets physiologiques mesurables, mais aussi du confort et de l'acceptation psychologique des joueurs. Cette dimension subjective est essentielle à prendre en compte pour maximiser l'impact des méthodes utilisées.

Cette étude apporte ainsi des éléments concrets sur l'utilisation de méthodes de récupération accessibles et économiques dans le contexte du football U19 en Algérie. Elle met en avant

la nécessité d'adapter ces moyens aux spécificités des joueurs, en tenant compte à la fois de leurs besoins physiologiques et de leur ressenti personnel. Les contraintes économiques et infra structurales propres au football algérien rendent ces solutions particulièrement pertinentes, offrant une réponse concrète aux défis rencontrés par les clubs amateurs et semi-professionnels.

Cependant, des recherches futures pourraient approfondir ces résultats en intégrant d'autres paramètres physiologiques tels que l'inflammation musculaire ou les marqueurs biochimiques de fatigue. De plus, tester des combinaisons optimisées de ces méthodes pourrait permettre d'améliorer encore davantage la récupération et la performance des athlètes. Enfin, il serait pertinent d'étendre cette étude à d'autres groupes d'âge et disciplines sportives pour élargir la portée des conclusions obtenues.

En conclusion, cette recherche offre des recommandations précieuses pour les entraîneurs, kinésithérapeutes et joueurs eux-mêmes, tout en ouvrant de nouvelles perspectives pour enrichir nos connaissances sur les meilleures pratiques de récupération dans le sport. Elle rappelle également l'importance d'adopter une approche holistique qui combine aspects scientifiques, pratiques et psychologiques pour optimiser la performance et préserver la santé des athlètes.

## Référence :

- Adda, G. (2011). L'impact de la préparation physique intégrée sur le niveau de performance physique chez les jeunes footballeurs (U-17). 17. Mostaganem.
- Ait Hocine, I., & Mokrani, S. (2016). *Ressource à Assif-El-Hammam : un patrimoine culturel pour un développement local durable*. TIZI-OUZOU: UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI.
- Andrzejewski, M., Chmura, J., Pluta, B., Strzelczyk, R., & Kasprzak, A. (2012). Analysis of Sprinting Activities of Professional Soccer Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(8), 2134-2140. doi:10.1519/JSC.0b013e318279423e
- Angers, M. (2015). *initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines*. Alger: Casbah-editions.
- Aouir, s., & ouddai, S. (2020). Utilisation d'outil GPS dans le cadre de compétition dans le championnat. *La revue « Le défi »*, 12(2), 154-158. doi:ISSN 9859-1112 EISSN2602-6619
- Ardain, D., Richard, B., & Bruyneel, A.-v. (2018). *Effets de l'hydrothérapie sur l'équilibre, la marche les activités fonctionnelles pour les patients POST-AVC*. Travail de bachelor , Haute école de santé, Genève.
- Avalos, M., Hellard , P., & Chatard , J.-C. (2003). Modélisation de la relation entraînement-performance à l'aide d'un modèle mixte chez les nageurs d'élite. *Exercice sportif Med Sci*, 35(5), 838-846. doi:10.1249/01.MSS.0000065004.05033.42
- Azevedo, L. F., Perlingeiro, P. S., Hachul, D., Santos, I. G., Brum, P. C., Allison, T., & Negrão, E. C. (2014). Sport modality affects bradycardia level and its mechanisms of control in professional athletes. *International Journal of Sports Medicine* , 35(11), 954–959. doi:10.1055/s-0034-1384589 .
- Babault, N., Cometti, C., Maffiuletti, N., & Deley, G. (2011). Does electrical stimulation enhance post-exercise performance recovery ? *European Journal of Applied Physiology*, 111(10), 2501-2507. doi:10.1007/s00421-011-2117-7

- Bahr, R., & Krosshaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: A key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 39(6), 324-329. doi:10.1136/bjism.2005.018341
- Bangsbo, J. (1994). Energy demands in competitive soccer. *Journal of Sports Sciences*, 12(1), s5-s12.
- Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum*, 619, 1-155.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665 – 674. doi:10.1080/02640410500482529
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Medicine*, 36(9), 781-796. doi:10.2165/00007256-200636090-00005
- Ben Belgith, A., Ahmaidi, S., Maille, P., Noirez, P., & Desgorces, F.-D. (2012). Quantification de la charge d'entraînement imposée au footballeur professionnel en phase de réhabilitation athlétique post-blessure. *Science & sports*, 27(3), 169-174. doi:10.1016/j.scispo.2011.06.012)
- Bishop, P. A., Jones, E., & Woods, A. K. (2008). Recovery from training: a brief review: brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 1015-1024. doi:10.1519/JSC.0b013e31816eb518
- Bompa, T. O., & Haff, G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology* (éd. Human Kinetics, Vol. 5). Human Kinetics.
- Borg, G. (1970). Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Journal of rehabilitation medicine*, 2(3), 92-98. doi:10.2340/1650197719702239298
- Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics*.
- Borresen, J., & Lambert, M. (2008). Quantifying Training Load: A Comparison of Subjective and Objective Methods. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 16-30. doi:10.1123/ijsp.3.1.16

- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise :measurements and implications for monitoring training status. *Sports Med*, 38(8), 633-646. doi:doi: 10.2165/00007256-200838080-00002
- bouzid, D. (2009). *football conceptios et méthodes*. Algeria: office des publications universitaires.
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., & Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League Soccer Matches. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 159-168. doi:10.1080/02640410802512775
- Brancaccio, P., Lippi, G., & Maffulli, N. (2010). Biochemical markers of muscular damage. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 48(6), 757-767. doi: 10.1515/CCLM.2010.179
- Brooks, G. A. (2009). Cell-cell intracellular lactate shuttles. *The Journal of Physiology*, 578(23), 5591-5600. doi:10.1113/jphysiol.2009.178350
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in physiology*, 5(73), 1-19. doi:10.3389/fphys.2014.00073
- Buchheit, M., Simpson, B. M., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., & Méndez-Villanueva, A. (2011). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer player. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 711–723. doi: 10.1007/s00421-011-2014-0
- CARBONE, P., HUMBERT-DROZ , G., & Nicolas, M. (2013). *Les effets de l'immersion en eau sur la récupération post-effort dans les sports acycliques: une revue systématique et une méta-analyse*. pour l'obtention du diplôme bachelor of science HES-SO IN PHYSIOTHERAPIE, HES-SO Valais Wallis Haute Ecole de Santé.
- Carling, C., Le Gall, F., & Dupont, G. (2012). Analysis of repeated high-intensity running performance in professional soccer. *Journal of Sports Sciences*, 30(4), 325-336. doi:10.1080/02640414.2011.652655
- Casamichana, D., Castellano, J., Calleja, J., San Román, J., & Castagna, C. (2013). RELATIONSHIP BETWEEN INDICATORS OF TRAINING LOAD IN SOCCER. *Journal of Strength and Conditioning Research Publish Ahead of Print*, 27(2), 369-374. doi:10.1519/JSC.0b013e3182548af1

- Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Chaouachi, A., Bordon, C., & Manzi, V. (2011). Effect of training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 66-71.  
doi:10.1519/JSC.0b013e3181fef3d3
- Chatard, J.-C. (2003). *Lutter contre le opage en gerant la récupération physique*. france: publication de l'université de saint-etienne.
- Chiha, F. (2023). *Le guide de preparateur physique*. Ain m'lila: Dar el houda.
- Chiu, L., & Barnes, J. (2003). The Fitness-Fatigue Model Revisited: Implications for Planning Short- and Long-Term Training. *Strength and Conditioning Journal*, 25(6), 42-51.
- Clairazur. (2022, 04 10). Récupéré sur les avantages et bienfaits du sauna:  
<https://clairazur.com/avantages-et-bienfaits/le-sauna/>
- Clairazur. (2024, 11 14). Récupéré sur Tous les avantages et bienfaits du hammam:  
<https://clairazur.com/avantages-et-bienfaits/les-bienfaits-du-hammam/>
- Cochrane, D. J. (2004). Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sport*, 5(1), 26–32. doi:10.1016/j.ptsp.2003.10.002
- Coquart, J. (2016). *Mesure de l'effort dans les activités physique* (éd. Amphora). paris: Amphora.
- Cottrill, N. (2008). *The effectiveness of the Total Quality Recovery (TQR) scale for elite badminton players during periods of intense training*. Englend: University of Chester.  
Récupéré sur <https://chesterrep.openrepository.com/handle/10034/134357>
- Coutts, A. J., Crowcroft, S., & Kempton, T. (2018). Développement de systèmes de surveillance des athlètes : fondements théoriques et applications pratiques. Dans J. Beckmann, M. Kellmann, & Routledge (Éd.), *sport, récupération et performance : perspectives interdisciplinaires* (pp. 19-32).
- Coutts, A. J., Slattery, K. M., & Wallace, L. K. (2007). Tests pratiques de suivi des performances, de la fatigue et de la récupération chez les triathlètes. *Journal des sciences et de la médecine du sport*, 10(6), 372-381. doi:10.1016/j.jsams.2007.02.007
- Daanen, H. A., Lamberts, R. P., Kallen, V. L., Jin, A., & Van Meeteren, N. L. (2012). A Systematic Review on Heart-Rate Recovery to Monitor Changes in Training Status in Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(3), 251-260.  
doi:10.1123/ijsp.7.3.251

- Dahlquist, D., Brad, D., James, B., & Michael, K. (2023). The effects of post-exercise sauna bathing on 5- and 10- km performance in university-level track athletes. *Journal of Sport and Human Performance*, 13-22. doi:<https://doi.org/10.12922/jshp.v11i1.189>
- Dehail, P., Duclos, C., & Barat, M. (2008). Electrical stimulation and muscle strengthening electrostimulation et gain de force musculaire. *Annales de readaptation et de médecine physique*, 51, 441–451. doi:10.1016/j.annrmp.2008.05.001
- Dellal, A., da Silva, C. D., Hill-Haas, S., Wong, P. P., Natali, A. J., De Lima, J. R., . . . Chamari, K. (2012). Heart rate monitoring in soccer: interest and limits during competitive match play and training, practical application. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2890–2906. doi:10.1519/JSC.0b013e3182429ac7
- Dellal, A., Peñas, L. C., Rey, E., Chamari, K., & Orhant, E. (2013). The effects of a congested fixture period on physical performance, technical activity and injury rate during matches in a professional soccer team. *British Journal of Sports Medicine*, 49(6), 390-394. doi:10.1136/bjsports-2012-091290
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschann, H., Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 222-227. doi:10.1055/s-2006-924294
- Dictionnaire Larousse maxi poche. (2012).
- Dörge, H. C., Andersen, T., Sørensen, H., & Simonsen, E. B. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences*, 293-299. doi:10.1080/026404102753576062
- Dupont, G., Nedelec, M., Mccall, A., & McCormack, D. (2010). Effect of 2 Soccer Matches in a Week on Physical Performance and Injury Rate. *The American Journal of Sports Medicine*, 38(9), 1752-1758. doi:10.1177/0363546510361236
- ecolodgeoiseauparadis*. (2024, 11 17). Récupéré sur L'espace bien-être | Oiseau de Paradis: [https://www.ecolodgeoiseauparadis.com/?page\\_id=105#:~:text=Traditionnellement%20le%20sauna%20est%20une,1%C3%A0%20m%C3%A0me%2C%20l'atmosph%C3%A8re](https://www.ecolodgeoiseauparadis.com/?page_id=105#:~:text=Traditionnellement%20le%20sauna%20est%20une,1%C3%A0%20m%C3%A0me%2C%20l'atmosph%C3%A8re).
- Elias, G. P., Victoria L, W., Matthew C, V., Michael J, M., & Robert J, A. (2013). Effectiveness of Water Immersion on Postmatch Recovery in Elite Professional Footballers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 243-253.

*escale détente*. (2002, 04 10). Récupéré sur Une histoire de Hammam:

<https://www.escalebordeaux.fr/une-histoire-de-hammam/>

Escurat, E. (2016). *En quoi et comment l'immersion par contraste de température peut-elle améliorer la prise en charge massokinésithérapique de la récupération du sportif ? Proposition de modélisation à partir d'une revue de revues de la littérature*. Travail Ecrit de Fin d'Etudes , France.

Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625-631.

doi:10.1080/02640414.2012.665940

Ferrauti, A., Pluim, B. M., & Weber, K. (2001). The effect of recovery duration on running speed and stroke quality during intermittent training drills in elite tennis players. *Journal of Sports Sciences*, 19(4), 235-242. doi:10.1080/026404101750158277

Ferré, J., & Leroux, P. (2009). *Préparation aux diplômes d'éducateurs sportif* (Vol. tom 1). france: amphora.

Foster, C., Florhaug, J. A., Franclin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., . . . Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109-115. doi:10.1519/00124278-200102000-00019

Foster, C., Hector, L. L., Welsh, R. S., Schragar, M., Green, M. A., & Snyder, A. C. (1995). Effect of specific versus cross-training on running performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(4), 367-372.

doi:10.1007/BF00865035

Gabbett, T. J. (2016). The training injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273-280. doi:10.1136/bjsports-2015-095788

Gandevia, S. (2001). Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1726-1771.

Geoffroy, C. (2002). *le sport l'esprit tranquille, la prévention, les soins et la récupération*. Geoffroy.

- Girard, O., & Millet, G. P. (2012). PHYSICAL DETERMINANTS OF TENNIS PERFORMANCE IN COMPETITIVE TEENAGE PLAYERS. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1867–1872. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b3df89
- Govus, A. D., Coutts, A., Duffield, R., Murray, A., & Fullagar, H. (2017). Relationship between Pre-Training Subjective Wellness Measures, Player Load and Rating of Perceived Exertion Training Load in American College Football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(1), 1-19. doi:10.1123/ijsp.2016-0714
- Guenau, M. (2018). Le hammam et la culture de la purification chez les femmes de la médina et de son hawz: Le cas des rituels festifs familiaux à Tlemcen et Ain el huts. *Revista de Humanidades*, 24, 147-171.
- Haddad, M., Chaouachi, A., Castagna, C., Chamari, K., Behm, D., Montassar, T., . . . Hue, O. (2013). Validity and psychometric evaluation of the French version of RPE scale in young fit males when monitoring training loads. *Science & Sports*, 28(2), 1-7. doi: 10.1016/j.scispo.2012.07.008
- Halson, S. (2008). Nutrition, sommeil et récupération. *Journal européen des sciences du sport*, 8(2), 119-126. doi: 10.1080/17461390801954794
- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Med*, 44(2), 139-147. doi:10.1007/s40279-014-0253-z
- Harper, D., Carling, C., & Kiely, J. (2019). High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Medicine*, 49(10), 1923-1947. doi:10.1007/s40279-019-01170-1
- Hauswirth, C. (2013). *Améliorer sa récupération en sport*. France: INSEP. doi:10.400/books.insep.1320
- Hauswirth, C., & Bieuzen, F. (2011). *Effets d'expositions au froid en cryothérapie corps entier au chaud sur la récupération des paramètres hématologiques, inflammatoires et de stress oxydant chez des sportifs de bon niveau*. INSEP. France: Hal science.
- Hauswirth, C., Bieuzen, F., Barbiche, E., & Brisswalter, J. (2010). Réponses physiologiques liées à une immersion en eau froide et à une cryostimulation-cryothérapie en corps entier :

effets sur la récupération après un exercice musculaire. *Science & Sports*, 25(3), 121-131.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.scispo.2009.12.001>

Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine Science Sports Exercice*, 33(11), 1925-1931.  
doi:10.1097/00005768-200111000-00019

Hooper, S., & Mackinnon, L. (1995). Monitoring overtraining in athletes. Recommendations. *Sports Med*, 20(5), 321-327. doi:10.2165/00007256-199520050-00003

Hopkins, W. G. (1991). Quantification of Training in Competitive Sports: Methods and Applications. *Sports Medicine*, 12(3), 161–183. doi:10.2165/00007256-199112030-00003

Hoppe, M. W., Baumgart, C., & Freiwald, J. (2019). Do Running Activities of Adolescent and Adult Tennis Players Differ During Play? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), 793-801. doi:<http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2015-0141>

Iaia, F. M., Rampinini, E., & Bangsbo, J. (2009). High-Intensity Training in Football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3), 291-306.  
doi:10.1123/ijsp.4.3.291

Impellizzer, F. M., Rampinini, E., & Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 583–592.  
doi:10.1080/02640410400021278

Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2018). Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(2), 270-273. doi: 10.1123/ijsp.2018-0935

Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 1042-1047. doi: 10.1249/01.MSS.0000128199.23901.2F

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*. Pays de la Loire: Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation.

Jean-Claude, C. (2005). *Lutter contre le dopage en gérant la récupération physique*. Saint-Etienne: Université de Saint-Etienne.

- Kallus, W., & Kellmann, M. (2016). *The Recovery-Stress Questionnaires: User Manual*.
- Kellmann, M., & Beckmann, J. (2003). Research and intervention in sport psychology: New perspectives on an inherent conflict. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, *1*(1), 13-26. doi:10.1080/1612197x.2003.9671701
- Kellmann, M., & Beckmann, J. (2017). *Sport, Recovery, and Performance Interdisciplinary Insights*. London: Routledge. doi:10.4324/9781315268149
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Coutts, A., Duffield, R., Erlacher, D., . . . Beckmann, J. (2017). Récupération et performance dans le sport : déclaration de consensus. *la Revue internationale de physiologie et de performance du sport*, *13*(2), 240-245. doi:org/10.1123/ijsp.2017-0759
- Kellmann, M., Maurizio, B., Laurent, B., Michel, B., Aaron J, c., Rob, D., . . . Jürgen, B. (2018). Recovery and Performance in Sport: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *18*, 240-245. doi:https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0759
- Kemoun, G., Watelain, E., & Carette, P. (2006). Hydrokinésithérapie. (Elsevier, Éd.) *Hydrokinésithérapie G.Kemoun,E.Watelain,P.Carette*, *27*(4), 1-29. doi: 10.1016/S1283-0887(18)60203-8
- Kenta, G., & Hassmen, p. (2003). *Prevention of overtraining, Assessment and recovery techniques*. Paris: Elsevier Masson.
- Kenttä, G., & Hassmen, p. (1998). Overtraining and Recovery. A Conceptual Model. *Sports Medicine*, *26*(1), 1-16. doi: 10.2165/00007256-199826010-00001.
- Komis, P. (2000). Cycle d'étirement-raccourcissement : un modèle puissant pour étudier les muscles normaux et fatigués. *Journal de biomécanique*, *33*(10), 1197-1206. doi:https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00064-6
- Krustrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., . . . Bangsbo, J. (2003). The Yo-Yo Intermittent Recovery Test: Physiological Response, Reliability, and Validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *35*(4), 697-705. doi:10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine &*

*Science in Sports & Exercise*, 38(6), 1165-1174.

doi:10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd

*La perle d'eau*. (2022, 04 10). Récupéré sur bienfaits sauna hammam: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.piscine-laperledeau.com/wp-content/uploads/2017/07/piscine-laperledeau-bienfaits-sauna-hammam.pdf

Lees, A., Asai, T., Andersen, T., Nunome, H., & Sterzing, T. (2010). The biomechanics of kicking in soccer: A review. *Journal des Sciences du Sport*, 28(8), 805-817.

doi:10.1080/02640414.2010.481305

Lieber, R. L., & Friden, J. (1991). Muscle damage induced by eccentric contraction of 25% strain. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 70(6), 2498-2507. doi:10.1152/jappl.1991.70.6.2498

Main, L. C., Warmington, S. A., Korn, E., & Gas, P. B. (2016). Utility of the multi-component training distress scale to monitor swimmers during periods of training overload. *Research in sports medicine*, 24(3), 269-280. doi:10.1080/15438627.2016.1202828

Marcora, S. (2009). Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs. *n Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 106(2), 2060–2062. doi: 10.1152/jappphysiol.90378.2008

Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Medicine*, 40(10), 859-895. doi:10.2165/11318370-000000000-00000

Martínez-Lagunas, V., & Hartmann, U. (2014). Validity of the Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1 for Direct Measurement or Indirect Estimation of Maximal Oxygen Uptake in Female Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 825-831. doi:https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0313

Meeusen, R., & Bart, R. (2010). Fatigue centrale et neurotransmetteurs, la thermorégulation peut-elle être manipulée ? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. doi:https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01205.x

Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Frire, A., Gleeson, M., Niéman, D., . . . Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus

statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *European Journal of Sport Science*, 45(1), 186-205.

doi:10.1249/mss.0b013e318279a10a

Meeusen, R., Martine, D., Michael, G., & Gerard, R. (2006). Prévention, diagnostic et traitement du syndrome de surentraînement. *European journal of Sport Science*, 6(1), 1-14.

Mohr, M., Krusturup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528. doi:10.1080/0264041031000071182

Mohr, M., Krusturup, P., & Bangsbo, J. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 593-599. doi:10.1080/02640410400021286

Mohr, M., Nybo, L., Grantham, J., & Racinais, S. (2012). Physiological Responses and Physical Performance during Football in the Heat. *PLOS One*, 7(2), e39202.

doi:10.1371/journal.pone.0039202

Morton, R. (1997). Entraînement et surentraînement par modélisation. *Journal des Sciences du Sport*, 15, 335-340. doi:10.1080/026404197367344

Moussa, I. (2020). *Charge d'entraînement et charge compétitive en judo: un suivi longitudinal, un outil robuste aux données manquantes et une analyse des combats*. paris: Institut de recherche bio-médicale et d'épidémiologie du sport – EA 7329.

Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Cardiorespiratory and metabolic characteristics of detraining in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(3), 413-421.

doi:10.1097/00005768-200103000-00013

Nässi, A., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffe, M., & Kellmann, M. (2017). Development of two short measures for recovery and stress in sport. *European Journal of Sport Science*, 17(7), 894-903. doi:10.1080/17461391.2017.1318180.

Nedelec, M. (2020). Les stratégies de récupération du sportif de haut niveau: focus sur la quantité et la qualité du sommeil. *Revue Médicale de Liege*, 75(1), 49-52. doi: hal-02524744

Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in Soccer: Part I – Post-Match Fatigue and Time Course of Recovery. *Sports Medicine*, 42(12), 997-1015. doi:10.2165/11635270-000000000-00000

- Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y., & Sakurai, S. (s.d.). Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(12), 2028-2036. doi: 10.1249/01.MSS.0000039076.43492.EF
- Ogushi, T., Ohashi, J., Nagahama, H., Isokawa, M., & Suzuki, S. (1993). Work intensity during soccer. Dans J. Clarys, T. Reilly, & A. Stibbe, *Sciences et football II* (pp. 121-123). London: taylor&francis.
- Oletchia, M. (2014). *Perception de la récupération et performance :Etude à partir de l'utilisation de la cryothérapie comme moyen de récupération chez le rugbyman professionnel*. Consulté le 11 10, 2023, sur google scholar:  
[https://scholar.google.com/scholar?lr=&q=Perception+de+la+r%C3%A9cup%C3%A9ration+et+performance+:+Etude+%C3%A0+partir+de+l%E2%80%99utilisation+de+la+cryoth%C3%A9rapie+comme+moyen+de+r%C3%A9cup%C3%A9ration+chez+le+rugbyman+professionnel&hl=fr&as\\_sdt=0,5](https://scholar.google.com/scholar?lr=&q=Perception+de+la+r%C3%A9cup%C3%A9ration+et+performance+:+Etude+%C3%A0+partir+de+l%E2%80%99utilisation+de+la+cryoth%C3%A9rapie+comme+moyen+de+r%C3%A9cup%C3%A9ration+chez+le+rugbyman+professionnel&hl=fr&as_sdt=0,5)
- Osiecki, R., Rubio, T. B., Coelho, R. L., Novack, L. F., Szymczak Conde, J. H., Alves, C. G., & Maneck Malfatt, C. R. (2015). The Total Quality Recovery Scale (TQR) as a Proxy for Determining Athletes' Recovery State after a Professional Soccer Match. *Journal of Exercise Physiologyonline*, 18(3), 27-32.
- Paulsen, G., Mikkelsen, U. R., Raastad, T., & Peake, J. M. (2012). Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exercise Immunology Review*, 18(1), 42-97.
- Phomsoupha, M., Le Truedic, F., & Le Bars, H. (2021). Les nouveaux outils technologiques dans le milieu du sport. (Terminal, Éd.) 129. doi:10.4000/terminal.7144
- Platonov, V. N. (1984). *L'entraînement sportif, Théorie et méthodologie* (éd. 2). Revue EPS.
- Plisk, S., & Stone, M. (2003). Periodization Strategies. *National Strength & Conditioning Association*, 25(6), 19–37.
- Poignard, M. (2020). *Efficacité des techniques de récupération en réponse à la charge induite par le tennis de haut niveau*. Université de Paris, Physiologie du sport. paris: Insep.
- Portero, P., & Gomez-Merino, D. (2012). Fatigue et motricité. *EMC Kinésithérapie - Médecine physique - Réadaptation*, 8(4), 1-12. doi:10.1016/S1283-0887(12)56632-6

- Pyne, D. B., Boston, T., Martin, D. T., & Logan, A. (2000). Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *European Journal of Applied Physiology*, 82(1-2), 112-116.  
doi:10.1007/s004210050659
- Pyne, D. B., Lee, H., & Swanwick, K. M. (2001). Monitoring the lactate threshold in worldranked swimmers. *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, 33(2), 291-297.  
doi:10.1097/00005768-200102000-00019
- Rampinini, E., Bishop, D. J., Marcora, S. M., Bravo, F. D., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of Simple Field Tests as Indicators of Match-Related Physical Performance in Top-Level Professional Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(3), 228-235. doi:10.1055/s-2006-924340
- Rampinini, E., Coutts, A., Castagna, C., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Variation in Top Level Soccer Match Performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1018-1024. doi:10.1055/s-2007-965158
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Abt, G., Chamari, K., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2007). Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 659-666. doi:10.1080/02640410600811858
- Reilly, T., & Williams, M. A. (2003). *Science and Soccer* (éd. 2). London: Routledge.  
doi:https://doi.org/10.4324/9780203417553
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. M. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 19(9), 669-683.  
doi:10.1080/02640410050120050
- Salvo, V. D., Baron, R., Tschann, H., Montero, F. J., Bachl, N., & Pigozzi, F. (2007). Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer. *Journal international de médecine sportive*, 28(3), 222-227. doi: 10.1055/s-2006-924294
- Salvo, V. D., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., & Drust, B. (2009). Analysis of High Intensity Activity in Premier League Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30(3), 205-212. doi:10.1055/s-0028-1105950
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonlyused objective measures: a systematic

review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 1-13. doi:: 10.1136/bjsports-2015-094758

Scanditours. (2024, 11 10). Récupéré sur La petite histoire du Sauna | Suède | Norvège - Scanditours: <https://www.scanditours.fr/inspirations/petite-histoire-du-sauna/#:~:text=Le%20sauna%20serait%20originaire%20de,signifiant%20%C2%AB%20cabane%20de%20bain%20%C2%BB>.

scoon, G., william, H., Simon, M., & James , C. (2007). Effect of post-exercise sauna bathing on the endurance performance of competitive male runners. *journal of science and medicine in sport*, 10(4), 259-262. doi:10.1016/j.jsams.2006.06.009

Seco, J., Mielgo-Ayuso, J., Lobo, C. C., & Córdova, A. (2019). Cold Water Immersion as a Strategy for Muscle Recovery in Professional Basketball Players During the Competitive Season: A Retrospective Cohort Study. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(3), 1-29. doi:10.1123/jsr.2018-0301

Sedeaud, A., Sène, J.-M., Krantz, N., Sauliè, G., Moussa, I., & Toussaint, J.-F. (2018). L'importance de la quantification de la charge d'entraînement : exemple d'un modèle. (H. o. science, Éd.) *Science & Sports*, 33(1), 22-32.

Setaouti, m. d., Khiat, B., & Kasmi, M. E. (2021). Effet de l'immersion en l'eau froid sur la récupération physique et la performance sportive chez les footballeurs professionnels d'élite. *La revue Créativité Sportive*, 12(1), 518.-534.

Skorski, S., Jan , S., Mark , P., Alexander, F., Michael , K., & Tim, M. (2020). Effects of Postexercise Sauna Bathing on Recovery of Swim Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 934-940. doi:10.1123/ijsp.2019-0333

Smekal, G., Von Duvillard, S. P., Rihasek, C., Pokan, R., Hofmann, P., Baron, R., . . . Bachl, N. (2001). A physiological profile of tennis match play. *Med Sci Sports Exerc*, 33(6), 999-1005. doi:10.1097/00005768-200106000-00020

Soligard, T., Schwelunus, M., Alonso , J.-M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H., . . . Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med* , 50, 1030-1041. doi:10.1136/bjsports-2016-096581

- Stolen, T. O., Chamari, K., Castagna, C., & Wisloff, U. (2005). Physiology of Soccer. *Sports Medicine*, 3(6), 501-536. doi:10.2165/00007256-200535060-00004
- Swart, J., Lindsay, T. R., Lambert, M. I., Brown, J. C., & Noakes, D. T. (s.d.). Perceptual cues in the regulation of exercise performance – physical sensations of exercise and awareness of effort interact as separate cues. *Br J Sports Med*, 46(1), 42-48. doi:10.1136/bjsports-2011-090337
- Thibault, G. (2009). *Entraînement cardio: sports d'endurance et performance*. Vélo Québec éditions.
- Thill, E., Christian, B., Georges, C., Jean-Paul, D., & Claude, F. (2009). *L'éducateur sportif*. Paris: Vigot.
- Thorpe, R., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkins, G., Drust, B., & Gregson, W. (s.d.). The Tracking of Morning Fatigue Status Across In-Season Training Weeks in Elite Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 947 -952. doi:10.1123/ijsp.2015-0490
- Toumi, Z., & Ghennan, N. (2021). Gestion de la charge d'entraînement et prévention dusureentraînement, la méthode de Foster (Séance RPE) comme un modèle. *Revue Algérienne des Sciences Humaines et Sociales*, 481-502.
- Vanderthommen, M., & Crielaard, J. (2001). L'électrostimulation musculaire en médecine du sport. *Rev Med Liège*, 56(5), 391-395.
- Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., & Robinson, M. A. (2017). Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports Medicine*, 47(11), 2135-2142. doi:10.1007/s40279-017-0714-2
- Varley, M. C., & Aughey, R. J. (2012). Acceleration Profiles in Elite Australian Soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 34(1), 1024-1031. doi:10.1055/s-0032-1316315
- Varley, M. C., Fairweather, I. H., & Aughey, R. J. (2012). Validity and reliability of GPS for measuring instantaneous velocity during acceleration, deceleration, and constant motion. *Journal of Sports Sciences*, 30(2), 121-127. doi:10.1080/02640414.2011.627941

Versey, N. G., Halson, S. L., & Dawson, B. T. (2011). Effect of contrast water therapy duration on recovery of running performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 7(2), 130-140. doi:10.1123/ijsp.7.2.130

Versey, N. G., Halson, S. L., & Dawson, B. T. (2013). Water Immersion Recovery for Athletes: Effect on Exercise Performance and Practical Recommendations. *Sports Medicine*, 43(11), 1101-1130. doi:10.1007/s40279-013-0063-8

Viru, A., & Viru, M. (2000). *Nature des effets de l'entraînement*. (L. Williams, Wilkins, G. William E., & T. Donald , Éds.) Estonia.

Weineck, J. (2005). *manuel d'entrainement*. Paris: Vigot.