

MASTER STAPS

ENTRAÎNEMENT ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE SPORTIVE

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2021-2022

MEMOIRE

TITRE : ÉTUDE DE LA CHARGE D'ENTRAÎNEMENT
ET DES BLESSURES DU PÔLE FRANCE DE HOCKEY
SUR GAZON MASCULIN U16

PRÉSENTE PAR : LELONG THIBAUD

SOUS LA DIRECTION DE : COQUART JÉRÉMY

SOUTENU LE . . / . . / . .

DEVANT LE JURY :

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes m'ayant permis d'effectuer ce stage et de mener à bien la réalisation de ce mémoire.

Merci à la faculté des sciences du sport et de l'éducation physique et son équipe enseignante pour les apports théoriques donnés lors des différents cours qui m'ont permis d'évoluer et de parfaire mes connaissances.

Je tiens à remercier **Jérémy COQUART**, mon tuteur pédagogique, pour son accompagnement et sa disponibilité tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Un grand merci à **Fabian BERNARD** et **Antoine LECOUFFE**, responsable de la préparation physique et de la réathlétisation au CREPS et préparateur physique du pôle France masculin U16 de hockey sur gazon, pour la confiance qu'ils m'ont accordée lors de mes interventions et toute l'expérience qu'ils m'ont permis d'obtenir dans la préparation physique de sportifs de haut niveau.

Merci à **Christophe ODEYER**, responsable du département sport de haut niveau, de m'avoir accueilli au sein de l'équipe de préparation physique.

Merci à **Catherine CHENEVIER**, ex directrice du CREPS et à **Patrice GERGES**, directeur du CREPS de m'avoir accueilli pour ce stage.

Enfin, je tiens à remercier tous les athlètes que j'ai pu encadrer et plus particulièrement les hockeyeurs pour leur confiance et leur investissement.

ABRÉVIATIONS

U16 : « Moins de 16 ans »

τ_1 et τ_2 : Constantes de temps pour la fatigue et l'aptitude

PF : "Positive Fonction" ou Fonction positive représentant l'aptitude

NF : « Negative Fonction » ou Fonction Négative représentant la fatigue

I : Influence de l'entraînement

NI : "Negative Influence" ou Influence Négative représentant la fatigue

PI : « Positive Influence » ou Influence Positive représentant l'aptitude

RPE : Rating of Perceived Exertion soit la perception de l'effort

CE : Charge d'Entraînement

CA : Charge aiguë

CC : Charge Chronique

Ratio CA:CC : Ratio Charge Aiguë : Charge Chronique

POMS : "Profil Of Mood State"

REST-Q-Sport : REcovery STress Questionnaire for Sport

FC : Fréquence Cardiaque

TRIMP : TRaining IMpulse

VFC : Variabilité de la Fréquence Cardiaque

ATP : Adénosine TriPhosphate

PVC : Pic de Vitesse de la Croissance

ua : unité arbitraire

SOMMAIRE

Remerciements	2
ABRÉVIATIONS	3
SOMMAIRE	4
Introduction	5
I- Revue de littérature	6
1. Modélisation de la performance sportive	6
2. La charge d'entraînement et ses caractéristiques associées	9
2.1 La charge d'entraînement et comment la mesurer	9
2.1.1 Les composantes de la charge d'entraînement	10
2.1.2 Les méthodes d'évaluation subjectives	10
2.1.3 Les méthodes d'évaluation objectives	11
2.2 Principes de l'entraînement	12
2.2.1 Fréquence, intensité et volume	12
2.2.2 Surcharge et surcompensation :	12
2.2.3 Sous-entraînement, surmenage non-fonctionnel et surentraînement :	13
2.2.4 Relation charge d'entraînement-blessure	15
2.2.5 Les préconisations dans les gestion des athlètes	17
II- Problématique, objectifs et hypothèse :	18
III- Le stage	18
1. Structure d'accueil	18
2. Sujets	19
3. Matériel et techniques de mesure	19
4. Protocole	20
5. Analyse statistique	22
IV- Résultats	22
V- Discussion	24
VI- Conclusion	28
VII- Références bibliographique	29
VIII- Annexes	32
IX- Résumé	39
X- Compétences	41

Introduction

Dans la performance sportive, « Une des quêtes des entraîneurs et préparateurs physiques est d'atteindre une charge suffisamment importante afin d'améliorer les qualités ciblées, en gérant la magnitude de la fatigue qui peut conduire au seuil fatidique amenant à la blessure. » A.Sedeaud et al (2017). Or, nous savons que « Les effets de l'entraînement sur la performance sont complexes à mesurer et constituent une des problématiques majeures de l'entraînement. » Morin et al (2014).

Les auteurs s'accordent à dire que la gestion de la charge d'entraînement, bien que complexe, est l'un des enjeux majeur de l'entraînement afin que les athlètes développent de hauts niveaux de performance tout en prévenant le risque de blessure. Étudiée depuis plusieurs décennies, notamment par le développement de modèles, la charge d'entraînement est alors au centre du processus d'entraînement. En effet, cette dernière, et plus précisément l'épidémiologie de la performance, est actuellement l'un des principaux axes de recherche de l'Institut de Recherche bio-Médicale et d'Épidémiologie du Sport (IRMES). Aussi, le laboratoire Sport, Expertise et Performance, qui est le laboratoire de recherche de l'Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP), étudie de près la charge d'entraînement, notamment à des fins d'optimisation de la performance ou encore de prévention des blessures.

Étant au cœur de l'entraînement et des recherches, certains chercheurs se penchent également sur l'étude de la charge d'entraînement chez le jeune sportif ou bien soulèvent l'idée d'étudier ce domaine chez le jeune athlète. Par exemple, Murray en 2017 conclut son article en disant que de futures recherches devraient se focaliser sur la détermination de seuils de risque et de quantités de charge d'entraînement appropriées pour le jeune athlète.

Effectuant mon stage auprès du pôle France masculin de la catégorie U16 en hockey sur gazon au Centre de Ressources et d'Expertise de la Performance Sportive (CREPS), je vais essayer, dans ce mémoire de première année de master, de voir quelle méthode de suivi de charge d'entraînement est la plus pertinente, puis de déterminer un seuil de charge d'entraînement chez le jeune hockeyeur, à partir duquel le risque de blessure sera élevé et compromettra l'intégrité physique de ce dernier.

Dans la revue de littérature, afin de bien comprendre les enjeux de la charge d'entraînement et de la détermination de seuil de risque de blessure, nous verrons dans un premier temps différentes modélisations de la performance et comment elle a évolué. Dans un second temps, nous allons voir ce qu'est la charge d'entraînement et ses caractéristiques associées.

I- Revue de littérature

1. Modélisation de la performance sportive

Depuis plusieurs dizaines d'années, différents chercheurs ont étudié les effets de l'entraînement sur la performance, avec pour but de définir des modèles permettant de prédire la performance, ou de donner des indications sur les variables d'entraînement amenant à la meilleure performance.

Les premiers à développer un modèle reliant l'entraînement à la performance sont Banister et al et Calvert et al, Morin et al (2014). Ce modèle possède deux composantes : l'aptitude et la fatigue, comprenant deux paramètres pour l'aptitude et un paramètre pour la fatigue Taha et Thomas (2003), où une augmentation de l'aptitude influence positivement le niveau de performance alors qu'une augmentation de la fatigue influence négativement le niveau de performance Morin et al (2014). Le modèle développé correspond donc à :

$$p(t) = \left[\left(e^{-\frac{t}{\tau_1}} - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right) - Ke^{-\frac{t}{\tau_3}} \right] \times w(t)$$

où $p(t)$ est le niveau de performance au jour t , $w(t)$ est la charge d'entraînement au jour t , τ_1 et τ_2 sont les constantes de temps associées à l'aptitude, τ_3 est la constante de temps associée à la fatigue et K est le coefficient de fatigue Morin et al (2014). Il peut être illustré par :

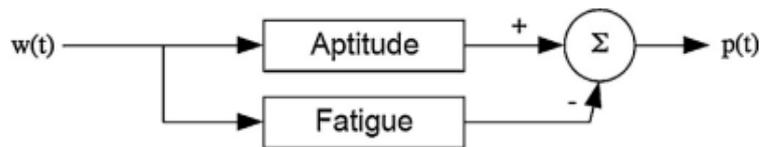


Figure 1 Modèle à deux composantes de Banister et Calvert. (Morin et al., 2014)

Plus récemment, Hellard et al (2006) ont cherché à étudier la précision du modèle de Banister et Calvert et à proposer des méthodes alternatives pour modéliser la relation entraînement-performance. Dans leur étude, ces chercheurs ont alors identifié 3 principales limites à ce modèle qui affectent la précision de ce dernier. Premièrement, ils identifient un manque de données avec un échantillon trop petit dû à la difficulté de recueillir des données sur les sportifs d'élite, à cause de faible nombre d'observations effectuées. Deuxièmement, ils soulèvent le problème de l'interaction entre les paramètres. En effet, ils disent que « si les paramètres sont interdépendants, leur interprétation est conditionnée et leur utilisation pratique devient sans signification » Hellard et al (2006). Enfin, la troisième limite identifiée dans ce modèle est le biais de ce dernier.

Après le travail de Banister et Calvert, Morton et al (1990) reprennent le modèle et le simplifient. En effet, les auteurs ne conservent qu'un paramètre d'aptitude $g(t)$ et un paramètre de fatigue $h(t)$ qui sont affectés par chaque entraînement :

$$g(t) = g(t - i)e^{-i/\tau_1} + w(t)$$

$$h(t) = h(t - i)e^{-i/\tau_2} + w(t)$$

Où $g(t)$ et $h(t)$ correspondent au niveau arbitraire de réponse d'aptitude et de fatigue à la fin du jour t , i est le temps entre l'entraînement du jour et l'entraînement précédent, soit le temps de repos entre l'entraînement de la journée en cours et le dernier entraînement effectué, τ_1 et τ_2 sont les constantes de temps associées à l'aptitude et à la fatigue respectivement Morton et al (1990). Étant donné que l'aptitude a des effets positifs sur la performance et que la fatigue a des effets négatifs sur celle-ci, Morton et al (1990) ont défini que la performance correspondait à la différence entre $g(t)$ et $h(t)$:

$$p(t) = k_1g(t) - k_2h(t)$$

où k_1 et k_2 sont des facteurs de pondération positifs et sans unité de l'aptitude et de la fatigue respectivement. Morton et al (1990) définissent ces facteurs tels que bien qu'ils n'aient aucune interprétation physiologique directe, les personnes avec un plus grand k_2 peuvent être caractérisées comme ayant une performance dominée par la fatigue avec le besoin de plus de repos après un entraînement intense, alors que les personnes avec un plus grand k_1 peuvent être décrites comme ayant une performance dominée par l'aptitude avec une récupération rapide après un entraînement intense pendant une période d'affûtage. Dans leur modèle, Morton et al (1990) ne font pas que simplifier le modèle de Banister et Calvert, (1976) mais ajoutent également le fait de prendre en considération le temps de repos et les caractéristiques individuelles des athlètes qui sont deux facteurs très importants de la performance.

En 1994, Busso et al comparent deux modèles de la relation entraînement-performance. Tout d'abord, dans cette étude, les auteurs affirment qu'un modèle à deux composantes procure une bonne représentation des effets de l'entraînement sur la performance et qu'un troisième composant n'améliore pas la précision de la prédiction de performance. Le premier des deux modèles comparés part du fait que la réponse à l'entraînement est :

$$g_s(t) = k_1 e^{-t/\tau_1} - k_2 e^{-t/\tau_2}$$

Et que la performance correspond au produit de convolution entre $g_s(t)$ et la charge d'entraînement $w(t)$, ce qui donne :

$$p(t) = p^* + w(t) \times g_s(t)$$

où p^* correspond au niveau initial de performance. Le détail du produit de convolution, qui correspond à l'intégrale de la fonction $p(t)$, donne le modèle d'estimation de la performance au jour n , \hat{p}_n , à partir des charges d'entraînement successives w_i avec i variant de 1 à $n-1$:

$$\hat{p}_n = p^* + k_1 \sum_{i=1}^{n-1} w_i e^{-(n-i)/\tau_1} - k_2 \sum_{i=1}^{n-1} w_i e^{-(n-i)/\tau_2}$$

où k_1 et k_2 sont deux facteurs de multiplication et deux constantes de temps τ_1 et τ_2 pour les composantes positives et négatives respectivement Busso et al (1994). Dans ce modèle, l'auteur identifie une fonction positive (PF) qui représente l'aptitude et une fonction négative (NF) qui représente la fatigue. Les équations de ces deux composantes sont :

$$PF_n = p^* + k_1 \sum_{i=1}^{n-1} e^{-(n-i)/\tau_1} w_i$$

$$NF_n = k_2 \sum_{i=1}^{n-1} e^{-(n-i)/\tau_2} w_i$$

Avec ce modèle, le gain d'aptitude est considéré comme immédiat après la fin d'un entraînement Busso et al (1994). Le second modèle comparé par Busso et al étudie l'influence de l'entraînement qui est la combinaison des effets des deux fonctions PF et NF. Ce modèle est tiré de l'étude de Fitz-Clarke et al, et décrit par Busso et al (1994) pour être comparé au premier. Dans ce modèle, l'influence (I) de la charge d'entraînement effectuée au jour i sur la performance au jour n $I_{(i/n)}$ est :

$$I_{(i/n)} = k_1 w_i e^{-(n-i)/\tau_1} - k_2 w_i e^{-(n-i)/\tau_2}$$

Afin de construire des profils d'aptitude et de fatigue, les auteurs ont distingué l'influence négative (NI) de l'influence positive (PI). La diminution initiale de la performance après un entraînement correspond à la fatigue, et l'augmentation de la performance quelques jours plus tard correspond à l'aptitude. La NI_n , somme des influences négatives au jour n , est :

$$NI_n = \sum_{i=1}^{n-1} |I_{(i/n)}| \quad \text{Quand } I_{(i/n)} < 0$$

La PI_n , somme des influences positives au jour n est :

$$PI_n = \hat{p}_n + NI_n$$

où p_n est la performance estimée au jour n . La performance estimée au jour n correspond donc à la différence entre NI_n et PI_n . Dans cette étude, Busso et al (1994), concluent en disant que le deuxième modèle (PI et NI) était plus proche des variations de performance que le premier (PF et NF). Cependant, ils disent également que les indicateurs calculés par les deux modèles peuvent être utiles dans l'analyse des modifications biologiques pendant l'entraînement.

Ensuite, Mujika et al (1996) reprennent le deuxième modèle décrit par Busso et al (1994) et étudient les réponses physiques à l'affûtage. Dans leur étude, Mujika et al (1996) reprennent t_n , la période de temps avant la compétition pendant laquelle l'entraînement a des effets négatifs sur la performance, et t_g , la période de temps avant la compétition pendant laquelle l'entraînement a des effets maximaux sur la performance le jour de la compétition. Les équations sont :

$$t_n = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \frac{k_2}{k_1} \quad \text{Et} \quad t_g = -\frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 - \tau_2} \ln \frac{k_2 \tau_1}{k_1 \tau_2}$$

Les auteurs ont comparé trois périodes d'affûtage de 3, 4 et 6 semaines, consistant en la diminution de la charge d'entraînement. Mujika et al (1996) concluent en trouvant que les deux premiers affûtages ont montré une diminution significative de NI et aucune augmentation de PI. Dans leur étude la performance a augmenté de 3 % et le modèle trouve que pour le public concerné, la durée d'affûtage optimale doit se trouver en 12 ± 6 jours et 32 ± 12 jours. Cela représente donc un intervalle de temps relativement élevée.

Enfin, Busso et al (2003), ont mené une étude afin de développer la modélisation de la relation entraînement-performance en introduisant des variations dans les effets de fatigue d'un seul entraînement. Pour cela, le modèle utilisé est :

$$\hat{p}^n = p^* + k_1 \sum_{i=1}^{n-1} w^i e^{-(n-i)\tau_1} - \sum_{i=1}^{n-1} k_2^i w^i e^{-(n-i)\tau_2}$$

Et k_2 est le facteur de pondération de la fatigue et, au jour i est égale à :

$$k_2^i = k_3 \sum_{j=1}^i w^j e^{-(i-j)\tau_3}$$

où k_3 est un facteur de pondération et τ_3 est une constante de temps. Avec l'ajout de variations des effets de fatigue à chaque entraînement, le modèle développé par Busso et al (2003) est devenu plus précis dans la prédiction de performance. En conséquence de l'augmentation de l'effet de la composante fatigue avec la charge d'entraînement, la relation charge d'entraînement-performance aurait une forme de U-inversé. Cela induit donc selon les auteurs que quand la charge d'entraînement dépasse le niveau optimal, la performance peut diminuer à cause de la fatigue induite par une sur-sollicitation.

Nous avons donc pu voir, à travers ces différentes modélisations, que la performance dépend de beaucoup de facteurs différents. En revanche, un facteur très important revient à chaque modélisation, la charge d'entraînement. En effet, la charge d'entraînement joue un rôle important dans la performance sportive et doit donc être quantifiée et bien manipulée pour optimiser la performance tout en limitant le risque de blessure. C'est donc pour ces différentes raisons que nous allons voir dans une deuxième partie ce qu'est la charge d'entraînement et ses différentes caractéristiques.

2. La charge d'entraînement et ses caractéristiques associées

2.1 La charge d'entraînement et comment la mesurer

Pour reprendre la définition utilisée par Hourcade (2017), la charge d'entraînement peut être définie comme la combinaison des paramètres de volume, intensité et fréquence d'exercice, et décrit le stress

physiologique imposé à l'athlète. Nous pourrions ajouter à cette définition qu'elle induit aussi le stress psychologique et sociologique.

2.1.1 Les composantes de la charge d'entraînement

La charge d'entraînement est décrite comme possédant deux composantes, une composante interne et une composante externe. La charge externe se définit alors comme tout stimulus externe appliqué à l'athlète, qui est mesuré indépendamment de ses caractéristiques internes Soligard et al (2016). La charge d'entraînement interne est représentée par les réponses physiologiques et psychologiques de chaque individu, ainsi que par les variations d'autres facteurs biologiques et environnementaux, suite à l'application de la charge externe Soligard et al (2016). La mesure de la charge interne est donc très importante afin de déterminer le stimulus (la charge externe) adapté pour obtenir des adaptations optimales chez l'athlète. Afin de mesurer la charge d'entraînement et ses deux composantes, il existe plusieurs méthodes et je vais vous en présenter quelques-unes que nous retrouvons souvent dans la littérature.

2.1.2 Les méthodes d'évaluation subjectives

Premièrement, une méthode développée par Foster est la **session-RPE** Foster (1998). Cette méthode consiste à évaluer la charge d'entraînement en multipliant la durée de la séance en minutes par le ressenti subjectif de l'athlète, face à l'effort qui est évalué par l'athlète grâce à l'échelle CR-10 développée par Foster et al. sur la base des travaux de Borg (cf annexe 1). Le résultat de cette méthode est en unités arbitraires et s'est révélée être corrélée avec la moyenne de la fréquence cardiaque pendant un exercice Foster (1998). Pour utiliser cette méthode, il est important de former les athlètes à l'auto-évaluation. Cela est possible grâce aux techniques d'ancrage décrites par Coquart et al (2016). Parmi ces techniques, il y a l'ancrage par la mémoire, l'ancrage par l'exercice et l'ancrage combiné Coquart et al (2016). Foster a également développé le concept d'indice de **monotonie**, de **contrainte** et de **fitness**. La monotonie est un indicateur de variabilité de l'entraînement qui se calcule en divisant la moyenne hebdomadaire des CE (charge d'entraînement) quotidiennes par l'écart-type hebdomadaire des CE quotidiennes. Un score supérieur à 2 est un facteur de risque important de problèmes liés au surentraînement Foster (1998). La contrainte est un paramètre lié aux adaptations négatives à la CE et est un témoin de risque de surmenage ou surentraînement Hourcade (2017). La contrainte se calcule en multipliant la CE par la monotonie. Foster (1998) a montré que 89 % des infections survenaient après un pic d'indice de contrainte. L'indice de forme ou « fitness » représente la capacité de performance du moment de sportif et se calcule en soustrayant la contrainte à la CE Hourcade (2017). Plus récemment, comme une évolution des méthodes de Foster, est apparu le **ratio charge aiguë:charge chronique** Gazzano (2017). La charge aiguë (CA) correspond à la moyenne mobile de la charge d'entraînement (durée x RPE) sur une semaine. La charge

chronique (CC) correspond à la moyenne mobile de la charge d'entraînement sur les 4 dernières semaines. La CC et la CA peuvent également être calculées sur d'autres périodes de temps, cela dépend de la méthode choisie par l'entraîneur. Le ratio s'obtient en divisant la CA par la CC et des études ont montré que la zone optimale appelée « sweet spot » (cf annexe 2) avec les meilleurs performances et le moins de blessures se situe entre 0,8 et 1,3 au score du ratio Gazzano (2017). Ensuite, Gazzano (2017) dans son article parle aussi de **l'indice de fraîcheur**. Cet indice se calcule en soustrayant la CA à la CC. Un indice de fraîcheur positif indique une période où la CA est inférieure à la CC et donc une faible fatigue et un haut niveau de performance potentiel. Enfin, Halson (2014) indique qu'il est possible d'évaluer la charge d'entraînement par le biais de questionnaires tels que le POMS, le REST-Q-Sport,... Ces différentes méthodes de quantification de la CE, dites subjectives, ont pour point commun d'évaluer principalement la composante interne de la CE. Nous allons maintenant voir quelques méthodes dites objectives.

2.1.3 Les méthodes d'évaluation objectives

Tout d'abord, la première méthode que nous allons voir est appelée **TRIMP** pour TRaining IMPulse en référence aux impulsions cardiaques. Cette méthode a été utilisée par Banister et Calvert et consiste à multiplier la FC moyenne sur l'exercice par la durée de ce dernier. Le résultat s'exprime en unités arbitraires Houcarde (2017). Cette méthode a ensuite été améliorée en utilisant la FC de réserve (qui comprend la FC de repos, la FC maximale combinée à la FC moyenne) qui permet d'être plus précis. Le nouveau TRIMP s'obtient donc en multipliant la durée de la séance en minutes par la FC de réserve par 0,64 par k (coefficient pour représenter l'augmentation exponentielle de la lactatémie au cours de l'exercice) Houcarde (2017). Ensuite, Halson présente dans son article la mesure de la **variabilité de la fréquence cardiaque (VFC)**. En effet, une VFC élevée caractérise une bonne adaptation à la CE sans fatigue excessive alors qu'une faible VFC témoigne d'une mauvaise adaptation avec la FC qui est moins bien régulée en fonction des besoins de l'athlète. Ensuite, la **méthode de WOOD** développée par Wood et al., Houcarde (2017) se base sur les seuils ventilatoires. Il divise l'intensité en 6 zones avec un coefficient associé à chacune d'elles (cf annexe 3). Le temps passé dans chaque zone est multiplié par le coefficient de ces dernières, et la charge d'entraînement correspond à la somme de chaque zone, exprimée en unités arbitraires. Ensuite, Mujika et al (1996) ont développé une **méthode basée sur la lactatémie** Hourcade (2017). Pour cette méthode, l'intensité est divisée en 5 zones, chacune associée à une lactatémie et un coefficient (cf annexe 4), puis est multipliée par le volume qui correspond au nombre de kilomètres parcourus. Enfin, plus récemment de nouvelles méthodes se sont développées, notamment grâce aux GPS. En effet, ces derniers permettent de relever diverses informations en terme de volume (comme la distance totale parcourue, le nombre d'accélération et de décélération,...), d'intensité (vitesse des différentes courses, ...) et de fréquence (ratio le nombre d'efforts réalisés à différentes intensités par unité de temps) Hourcade (2017).

2.2 Principes de l'entraînement

Dans cette partie nous allons voir différents principes de l'entraînement et comment la charge d'entraînement entre en jeu dans ces derniers.

2.2.1 Fréquence, intensité et volume

Comme nous avons pu le voir à travers les parties précédentes, le volume, l'intensité et la fréquence d'entraînement sont des facteurs essentiels dans l'organisation et la gestion de l'entraînement mais sont aussi les paramètres de la quantification de la charge d'entraînement.

Premièrement, le **volume** se définit comme « la quantité totale d'activité réalisée lors de l'entraînement » Bompa et al (2020). Il comprend alors la durée de l'entraînement, la distance parcourue, le tonnage ou encore le nombre de répétitions d'un exercice Bompa et al (2020). Le choix d'évaluer le volume de telle ou telle manière est donc dépendant de la discipline sportive. Il est possible d'agir sur le volume de trois manières différentes selon Bompa et al (2020) : en augmentant ou diminuant la fréquence d'entraînement, en augmentant ou diminuant le volume pendant la séance d'entraînement, et en augmentant ou diminuant les deux à la fois. Le volume doit donc tenir compte du sport, des objectifs d'entraînement et des besoins de l'athlète. Ensuite, l'**intensité** se définit comme « la composante qualitative du travail effectué par un athlète. » Bompa et al (2020). L'intensité sera alors dépendante de la charge externe, de la quantité de fatigue développée, du type d'exercice, mais aussi de l'aspect psychologique de l'exercice Bompa et al (2020). L'évaluation de l'intensité est elle aussi spécifique à la discipline sportive et peut comprendre la vitesse, la puissance, la fréquence cardiaque moyenne ou un pourcentage, le pourcentage de la force maximale,... La prescription d'une intensité dépend donc aussi du sport, des objectifs d'entraînement et des besoins de l'athlète. Enfin, la **fréquence** peut être définie comme « la répartition des séances d'entraînement » Bompa et al (2020). La fréquence fait donc référence à la relation entre les phases de travail et la récupération qui est l'un des facteurs centraux de la performance puisque c'est de la gestion de cette relation que dépend l'adaptation à l'entraînement. En effet, l'entraîneur doit trouver un équilibre entre travail et récupération afin de favoriser l'amélioration des performances en évitant d'induire des niveaux excessifs de fatigue Bompa et al (2020).

Ces différents paramètres, une fois réunis, nous amènent donc au phénomène de surcompensation et à la gestion de la charge. Nous allons donc maintenant nous intéresser à la surcharge et au surmenage fonctionnel ou surcompensation.

2.2.2 Surcharge et surcompensation :

L'un des enjeux de la gestion de la CE est de générer des adaptations sans provoquer de fatigue excessive, donc une surcompensation. Cela peut s'illustrer par le syndrome général d'adaptation de Selye (Cf annexe 5) Bompa et al (2020). Ce schéma signifie qu'après un stimulus d'entraînement qui entraîne une fatigue, des ajustements homéostatiques se produisent pour rétablir l'équilibre interne du

corps Lambert et Mujika (2013). Dans le cas A (cf annexe5), le stimulus d'entraînement induit une fatigue légère mais pas suffisante pour générer des adaptations entraînant un niveau de performance supérieur au niveau initial. Dans le cas B, le stimulus d'entraînement est trop important par rapport à ce que l'athlète peut accepter, donc il n'y a pas d'adaptations et même un état de surentraînement nécessitant beaucoup de récupération voire des soins médicaux. Dans le cas C, le stimulus d'entraînement est optimal et suscite des adaptations entraînant un niveau de performance supérieur au niveau initial. On parle alors de phénomène de surcompensation. Ce phénomène est décrit par Bompa et al (2020) et divisé en 4 phases (cf annexe 6). La phase 1 (1 à 2h) correspond à la phase de fatigue. La fatigue survient via des mécanismes centraux et périphériques Bompa et al (2020). La phase 2 (24 à 48h) correspond à la phase de compensation. Pendant cette phase, plusieurs événements se produisent tels que le remplissage des stocks d'ATP (Adénosine TriPhosphate) et de phosphocréatine, le rétablissement de l'activité électromyographique, remplissage des stocks de glycogène musculaire,... La phase 3 (36 à 72h) correspond à la surcompensation. Durant cette phase, il y a une surcompensation psychologique caractérisée par une grande confiance en soi, un esprit positif, etc, les réserves de glycogène sont complètement reconstituées et le niveau de force musculaire est revenu à son niveau initial voire même plus Bompa et al (2020). La phase 4 (3 à 7 jours) correspond à la diminution des avantages physiologiques si il n'y a pas de nouveau stimulus. La durée de ces différentes phases dépend du stimulus d'entraînement appliqué et donc de son intensité Bompa et al (2020). Afin de toujours provoquer ce phénomène de surcompensation, il est essentiel d'appliquer une surcharge progressive. Comme le disent Lambert et Mujika (2013), il est possible d'appliquer cette surcharge en jouant sur la fréquence, le volume, l'intensité des séances et le temps de récupération entre les séances. La charge de travail doit donc augmenter progressivement en fonction de capacités physiologiques, des capacités psychologiques et de la tolérance au travail des athlètes d'une séance à l'autre afin de toujours solliciter le phénomène de surcompensation Bompa et al (2020). En revanche, il faut quantifier la charge judicieusement afin de ne pas entraîner une fatigue excessive ou insuffisante. Nous allons donc nous intéresser à ces aspects dans la partie suivante.

2.2.3 Sous-entraînement, surmenage non-fonctionnel et surentraînement :

Le sous-entraînement est défini par Kentta et al (2003) comme le niveau le plus bas de l'entraînement pendant lequel le niveau de performance diminue. Le surmenage non fonctionnel, selon Sedeaud et al (2017), « résulte d'une fatigue très intense et persistante au-delà de 2 à 3 semaines, avec une diminution des niveaux de performance, elle aussi persistante et aucun phénomène de surcompensation. ». Enfin, le surentraînement, toujours selon Sedeaud et al (2017), « s'exprime par une fatigue perçue très intense et persistante, associée à une détérioration persistante du niveau de performance durant plus d'un mois, et ce, malgré le respect d'une faible charge d'entraînement. ».

La différence entre surmenage non-fonctionnel et surentraînement réside alors simplement dans le temps nécessaire à la restauration des performances Cardoos (2015). D'après Kentta et al (2003), le surentraînement vient donc d'un « déséquilibre entre la charge de stress totale et la récupération totale en relation avec la tolérance totale du stress. ». D'après ces définitions, et comme nous l'indiquent Cassirame et Tordi (2007), le surentraînement se caractérise par une diminution de la performance physique. De plus, Kentta et al (2003) ajoutent qu'« une baisse du niveau de performance n'influence pas seulement d'éventuels résultats négatifs de compétition ; la capacité à s'entraîner pour une compétition étant détériorée, il sera donc difficile aussi de s'entraîner avec la meilleure qualité possible. ». Le surentraînement provoque donc une diminution de la performance et de la capacité à s'entraîner, mais Gabett (2016) ajoute que ce dernier ainsi que le sous-entraînement augmentent le risque de blessure.

Face à ces problèmes provoqués par l'état de surentraînement, Favre-Juvin et al (2003), dans leur article, ont étudié les différents symptômes sur 17 athlètes en état de surentraînement. Premièrement, ils indiquent que les plaintes les plus importantes sont une fatigue physique (15/17 cas) accompagnant la contre-performance. Cette fatigue est non seulement physique, mais aussi psychologique, sensorielle et voire même sexuelle. De plus, les principaux symptômes trouvés dans cette étude sont des troubles du sommeil dans 100% des cas, des blessures fréquentes et des aménorrhées pour les femmes Favre-Juvin et al (2003). Ensuite, il existe encore bien d'autres symptômes physiques, psychologiques et sociaux, qui sont parfois mêmes contradictoires, rendant ainsi le diagnostic du surentraînement très difficile. Avec ces différents symptômes relevés par Favre-Juvin et al (2003), nous pouvons voir que l'état de surentraînement n'affecte pas seulement la pratique sportive mais l'entièreté de la personne, en prenant en compte ses aspects physiques, psychologiques, sociaux, ... Afin de prévenir cet état, certaines recommandations sont données dans la littérature, telles qu'un suivi régulier de la CE Schwellnus et al (2016) notamment avec des indicateurs psychologiques comme dans le POMS Cardoos (2015). Il est également recommandé d'individualiser les programmations, d'éviter la monotonie de l'entraînement, d'encourager et de renforcer une bonne nutrition, une bonne hydratation et le sommeil, et enfin de communiquer avec les athlètes afin de prendre en compte les facteurs stressants de la vie quotidienne Cardoos (2015).

Enfin, pour prévenir le surentraînement chez les jeunes sportifs, il est intéressant de mesurer la maturation biologique de ces derniers. Tout d'abord, la maturation de l'athlète est un concept différent de la croissance. Ratel (2018) définit la croissance comme « ce processus biologique qui consiste en une augmentation des dimensions du corps, des organes et des tissus » alors que la maturation correspond à « l'amélioration qualitative des fonctions corporelles » Ratel (2018). La période critique de ce processus se situe entre 11 et 16 ans et correspond à la puberté, qui se caractérise par un pic de vélocité de croissance (PVC) de la taille et de la masse corporelle Ratel (2018). L'avancement de la maturation est déterminé à travers l'âge biologique et non chronologique. Il est donc possible d'observer des écarts de 3 à 4 ans, voire plus de l'âge biologique pour deux individus ayant le même âge chronologique Ratel (2018). En effet, la mesure de la maturation va ainsi permettre de proposer des situations pédagogiques

plus adaptées en fonction de l'avancement de celle-ci Ratel (2018) puisque certaines modalités d'entraînement semblent plus appropriées à des étapes spécifiques de la maturation Lloyd et al (2014). De plus, il devient alors possible de réduire les CE « juste avant le PVC qui est une phase sensible de blessure en raison de l'allongement rapide de membres inférieurs et de l'augmentation associée de la raideur musculo-tendineuse » Ratel (2018). Enfin, Dans le but de mesurer la maturation, plusieurs méthodes ont été développées telles que la méthode de Tanner basée sur la maturation sexuelle, les méthodes basées sur la maturation osseuse avec des radiographies et enfin, la méthode de prédiction de l'apparition du PVC, basée sur la maturation somatique. Cette dernière méthode est simple et accessible pour les entraîneurs. Elle se base sur la mesure de la taille debout, la taille assise, la masse corporelle et l'âge chronologique Ratel (2018). Une fois ces données recueillies, il suffit d'appliquer les équations présentes en annexe 8 pour connaître le nombre d'années entre l'âge du PVC et l'âge chronologique de l'enfant Ratel (2018).

À travers cette partie, nous avons pu voir comment l'entraînement et la mauvaise gestion de la CE pouvaient impacter négativement la performance mais aussi en quoi la maturation du jeune sportif peut jouer un rôle dans le surentraînement. Nous allons donc maintenant nous intéresser de plus près à la relation charge d'entraînement-blessure.

2.2.4 Relation charge d'entraînement-blessure

Tout d'abord, nous allons voir ce qui, en lien avec la CE, peut impacter le risque de blessure. Premièrement, selon Gabett (2016) les CE internes les plus élevées sont associées à un plus grand nombre de blessures. En effet, dans son étude, les joueurs qui dépassaient le seuil de CE hebdomadaire avaient 70 fois plus de risque de présenter des blessures hors contact. Gabbett (2016) a également trouvé dans son étude qu'une augmentation trop rapide de la CE, d'une semaine à l'autre, est un facteur de blessure. Quand la CE hebdomadaire varie entre 5 et 10 % de plus que la semaine précédente, les joueurs ont <10 % de se blesser. Quand la CE hebdomadaire augmente de plus de 15 %, le risque de blessure augmente entre 21 % et 49 % (cf annexe 7). En revanche, il y a également des preuves qui démontrent que l'entraînement possède un effet protecteur contre les blessures. En effet, selon Gabett (2016), des qualités physiques bien développées sont associées à la diminution du risque de blessure. Les athlètes doivent alors être préparés à s'entraîner dur. Soligard et al (2016) affirment que de hautes charges d'entraînement ou de compétition ont été identifiées comme un facteur de risque de blessure dans certaines études. En revanche ils disent aussi que d'autres études montrent que de hautes CE semblent protéger des blessures. Il apparaît alors un paradoxe où finalement ce ne sont pas les CE élevées qui sont le facteur d'augmentation du risque de blessure, mais plutôt le type de CE élevée prescrit Gabett (2016). De plus, Soligard et al (2016) confirment que des charges inappropriées peuvent augmenter le risque de blessure alors que les adaptations biologiques induites par un entraînement et des charges appropriées augmentent les capacités de l'athlète à accepter et résister à la CE, ce qui provoque une protection contre les blessures. Le paradoxe est donc que c'est l'augmentation rapide et excessive des CE qui est responsable des

blessures hors contact, alors que les entraînements intenses mais appropriés développent les qualités physiques, qui protègent alors des blessures Gabett (2016). Soligard et al (2016) ajoutent que selon l'ampleur de l'augmentation de l'intensité, la compétition elle-même pourrait être vue comme une augmentation rapide de la CE, relativement à ce à quoi l'athlète était préparé. La compétition peut alors être vue comme un facteur augmentant le risque de blessure. De plus, une fréquence de compétition élevée provoque également l'augmentation du risque de blessures Soligard et al (2016). Enfin, Soligard et al (2016) précisent aussi qu'un certain nombre de variables psychologiques augmentent le risque de blessure. Ces variables peuvent être des événements négatifs et tracas de la vie quotidienne, du stress lié au sport, de l'anxiété trait et/ou état, etc

Ensuite, nous allons voir les blessures que nous pouvons rencontrer dans la pratique du hockey sur gazon. Etant un sport collectif, les blessures peuvent être dites de contact ou d'usure en lien avec l'entraînement. Tout d'abord, en hockey sur gazon Selon Murtaugh (2009), 60 % des blessures de contact sont provoquées par des contacts avec la balle ou la crosse. Barboza et al (2018) confirment que les blessures liées avec la balle (2 % à 52%) et la crosse (9 % à 27%) sont fréquentes. Les blessures les plus graves viennent de coups portés à la tête ou au visage par la balle ou la crosse. 65 % de ces blessures sont légères et consistent en des hématomes ou des lacérations et contusions. Ensuite, selon Sherker et al (2002) la plupart des blessures qui se présentent à l'hôpital sont des plaies ouvertes, des fractures, des entorses et foulures, des plaies superficielles et des dislocations. Toutes ces différentes blessures surviennent en cas de collision avec un joueur ou avec un objet, ou en cas de chute. De plus, les parties du corps les plus souvent blessées sont les membres supérieurs (31,7%), ce qui inclut les mains, les doigts, les avant-bras, les poignets, les coudes et les épaules Sherker et al (2002). Les blessures au visage sont aussi fréquentes (24,3%), alors que celles à la tête le sont moins (5,1%) mais sont souvent plus graves. Les blessures aux membres inférieurs représentent 12,7% des blessures de hockey à l'hôpital et incluent les chevilles, les genoux, les jambes et les cuisses. Ensuite, Sherker et al (2002) qui distinguent les blessures de sur-utilisation, intrinsèques et extrinsèques nous indiquent que ces blessures dites de surutilisation, incluent le syndrome de stress tibial, des douleurs de la bandelette ilio-tibiale, des dysfonctionnements du bas du dos, des tendinites, des douleurs patello-fémorales, des fasciites plantaires et des fractures de stress au pied et à la jambe. D'après Murtaugh (2009), les entraînements à haute intensité sur du gazon artificiel sont un des facteurs principaux de blessures chroniques au hockey. En effet, les blessures de surutilisation comptent pour 18 % à 32 % des blessures de hockey Sherker et al (2002).

Enfin, nous allons voir les blessures que nous pouvons rencontrer auprès des jeunes sportifs. Premièrement, Frisch et al (2009) disent dans leur article que les principales blessures aiguës chez le jeune sportif sont des entorses, des fractures, des dislocations et des contusions, les entorses représentant 27 à 48 % des blessures chez le jeune. Ces blessures peuvent donc être dues à des contacts, des chutes ou des mauvais gestes.

Deuxièmement, les blessures chroniques sont définies comme se développant « en réponse à un stress excessif appliqué sur des os et tissus mous immatures » Arnold et al (2017). Selon ces mêmes auteurs, les blessures de surutilisation les plus fréquentes sur les membres supérieurs sont le « gymnast wrist », le « little league shoulder » et le « little league elbow ». Frisch et al (2009) ajoutent à cela la tendinopathie de la coiffe des rotateurs. Sur les membres inférieurs, Arnold et al (2017) présentent le syndrome d'Osgood-Schlatter, le syndrome de Sinding-Larsen-Johansson et la maladie de Sever comme les blessures de surmenage les plus fréquentes chez le jeune sportif.

2.2.5 Les préconisations dans les gestion des athlètes

Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux préconisations actuelles pour diminuer le risque de blessure des athlètes et des jeunes sportifs.

Premièrement, les chercheurs affirment que sur le suivi de la CE et des blessures, il faut non seulement prendre en compte les charges liées au sport et celles qui ne le sont pas, mais aussi les performances de l'athlète, son bien-être et ses symptômes et blessures. La mesure de la charge inclue la CE interne et la CE externe et il est préconisé de combiner ces deux composantes dans la mesure de la CE Soligard et al (2016). Ensuite, il est aussi recommandé de limiter l'augmentation hebdomadaire de la CE de <10 % ou de maintenir un ratio CA:CC dans la zone 0,8-1,3 pour rester dans des adaptations positives Soligard et al (2016). Ces mêmes auteurs nous indiquent que le staff doit aussi favoriser une récupération adéquate, particulièrement après une période d'entraînement intensive, après les compétitions et voyages en incluant la nutrition, l'hydratation, le sommeil et le repos avec des stratégies de relaxation et de support émotionnel. Ensuite, il est dit que le suivi de la charge aiguë, de la charge chronique et du ratio CA:CC est recommandé. Enfin, pour le suivi de la charge psychologique, Soligard et al (2016) préconisent d'éduquer les athlètes aux techniques de préparation mentale, et de réduire la CE ou la charge compétitive quand un athlète présente des tracas de la vie quotidienne ou a vécu un mauvais évènement.

Nous avons donc pu voir la relation charge d'entraînement-blessure et en quoi il est important de suivre de près toutes ces variables afin de préserver ses athlètes. Nous allons maintenant voir quelles sont les recommandations pour le monitoring du jeune sportif.

Tout d'abord, Murray (2017) nous indique qu'un jeune athlète ne devrait pas passer plus d'heures à l'entraînement que leur âge. Les jeunes athlètes devraient éviter de se spécialiser dans un sport avant l'adolescence et devraient avoir au moins 1 jour sans sport Murray (2017). En effet, seulement 7 % des athlètes du top 20 en U15 le sont encore 10 ans plus tard Murray (2017). Ensuite, la gestion de la charge en considérant l'accumulation sur la dernière semaine (CA) et le dernier mois (CC) pour mesurer le ratio CA:CC et éviter des augmentations de plus de 10 % de la CE, semble représenter une stratégie efficace pour limiter le nombre de blessures Murray. (2017). De plus, Murray nous indique que l'utilisation de données objectives est fondamentale pour un suivi optimal de la CE avec de jeunes athlètes. Enfin,

Arnold et al (2017) ajoutent qu'il est important de corriger certains facteurs de risque de blessure modifiables tels que la flexibilité du tronc et des membres supérieurs. Nous pouvons donc en déduire que l'application d'exercices de prévention sont un bon outil dans le suivi du jeune sportif afin de réduire son risque de blessure.

Tous ces éléments nous permettent donc de voir de quelle manière il est préférable de suivre ses athlètes, de les entraîner et quels sont les meilleurs outils. Aussi, nous avons pu voir les spécificités du suivi du jeunes athlètes et donc comment prendre en charge de jeunes sportifs.

II- Problématique, objectifs et hypothèse :

Murray (2017) conclut son article en disant que de futures recherches devraient se focaliser sur la détermination de seuils de risque et donc de charge d'entraînement optimale pour les jeunes athlètes.

De plus, dans cette revue de littérature nous avons pu voir quels étaient les enjeux de la gestion de la charge d'entraînement et d'autant plus auprès des jeunes athlètes. Dans ce mémoire de master 1, nous nous demanderons donc quelle méthode de suivi de la charge d'entraînement est la plus corrélée avec le taux d'incidence de blessure chez le jeune sportif, puis nous tenterons de proposer un seuil de charge d'entraînement pour la méthode concernée, pour des hockeyeurs U16, au-delà duquel le taux d'incidence de blessure est trop élevé et signifiant que les adaptations à l'entraînement ne seront plus optimales.

De cette problématique se dégagent alors plusieurs objectifs. Premièrement, celui de déterminer les coefficients de corrélation entre chaque méthode de suivi de la charge d'entraînement et le taux d'incidence de blessure. Le dernier objectif découle du premier et est de déterminer graphiquement un seuil de charge d'entraînement pour la méthode de suivi la plus corrélée avec le taux d'incidence de blessure.

Pour répondre à cette problématique, nous émettrons l'hypothèse qu'une méthode de suivi de la charge d'entraînement sera plus corrélée que les autres avec le taux d'incidence de blessure chez le jeune hockeyeur sur gazon.

III- Le stage

1. Structure d'accueil

Pour la réalisation de mon stage en milieu professionnel et la rédaction de ce mémoire de master 1, j'ai eu la chance d'intégrer l'équipe de préparation physique du CREPS de Wattignies. J'ai donc pu principalement intervenir auprès du pôle France masculin de hockey sur gazon.

Le CREPS (Centre de Ressources, d'Expertise et de Performance Sportive) de Wattignies était un institut de formation d'enseignants en éducation physique et sportive jusqu'en 1985, et est aujourd'hui l'un des centres les plus importants dans l'optimisation de la performance de jeunes sportifs de haut niveau. Idéalement situé au centre de l'Europe du nord à 1h de Paris, 35 minutes de Bruxelles et 1h30

de Londres, il s'insère également dans le réseau du Grand INSEP (Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance) dont l'objectif est de renforcer l'offre de service et de l'harmoniser sur l'ensemble du territoire, dans le but de donner aux sportifs de haut niveau les conditions optimales indispensables à la performance.

Les diverses missions du CREPS sont alors :

- d'assurer la formation et la préparation des sportifs de haut niveau autour de leur double projet sport et études en lien avec les fédérations.
- d'organiser des formations professionnelles dans les filières sport et animation,
- d'accueillir les équipes de France ou étrangères dans le cadre de leur préparation aux Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris en 2024.

Actuellement, le CREPS comporte :

- 150 sportifs et sportives,
- 4 pôles France relève : Hockey sur Gazon masculin et féminin, Escrime fleuret féminin, tir sportif mixte
- 4 pôles espoirs : Basketball masculin et féminin, Volleyball masculin, Volleyball féminin, Tennis de table mixte
- 1 centre national d'entraînement : Athlétisme mixte
- 1 centre de formation de club professionnel : Entente Sportive Basketball Villeneuve d'Ascq Lille Métropole.

2. Sujets

17 joueurs masculins de hockey sur gazon du pôle France relève ont participé à cette étude.

Tableau 1 - Caractéristiques des participants

Âge (ans)	Taille (cm)	Masse (kg)	Différence entre l'âge chronologique et l'âge somatique (ans)	Âge pic de croissance (ans)
15,38 ± 0,53	172,2 ± 4,29	60,45 ± 5,30	0,99 ± 0,51	14,39 ± 0,38

3. Matériel et techniques de mesure

Tout d'abord, pour les différentes mesures anthropométriques, j'ai utilisé la toile de mesure à ultrason 286 de la marque SECA à Hambourg en Allemagne. Cet appareil initialement conçu pour le domaine médical, permet de mesurer et peser les joueurs grâce aux ultrasons. La toile de mesure peut supporter jusqu'à 300kg et a une plage de mesure entre 60 et 210cm.



Image 1 – toile de mesure à ultrason SECA 286

Ensuite, pour le recueil de toutes les données nécessaires, j'ai utilisé l'application athlètes 360 développée par l'INSEP et utilisée par les structures du réseau Grand INSEP. Cette application permet aux athlètes de remplir des retours de séances après chaque séance d'entraînement, de kiné, de récupération mais aussi de déclarer les blessures et maladies après rendez-vous chez le médecin, ou encore de répondre à un questionnaire de bien-être tous les matins. A partir de la collecte de ces données, nous pouvons calculer plusieurs indicateurs tels que le ratio CA:CC, la monotonie, la contrainte, et beaucoup d'autres indicateurs de la CE, nous permettant ainsi d'effectuer le suivi des athlètes et d'adapter leur entraînement selon leur remplissage.

Dans le cadre de mon étude, les sportifs devaient remplir le formulaire en annexe 10 après chaque séance me donnant alors l'interface en annexe 11. En cas de blessure ou de maladie, après passage chez le médecin, ils devaient remplir un autre formulaire qui me donnait les tableaux en annexe 12. Ce sont donc toutes ces données recueillies sur cette application qui m'ont permis de réaliser mon protocole.

4. Protocole

Pour cette étude, nous définirons la blessure comme toute blessure ou douleurs qui n'est pas due à un contact et empêchant un athlète de compléter un entraînement de hockey, une séance de préparation physique ou un match en entier. Une éviction partielle empêchant l'entraînement d'une partie du corps mais l'autorisant sur le reste du corps sera alors considérée comme une blessure.

Le protocole que nous allons mener pour cette étude comporte plusieurs parties :

Premièrement, nous avons présenté aux athlètes les instructions proposées par Coquart quant à l'utilisation de l'échelle CR-10 révisée de Borg (Cf annexe 9). Pour finir cette première partie du protocole, nous avons formé les athlètes à la perception de l'effort avec l'ancrage par la mémoire comme décrit par Coquart (2016). Pour cela, par petits groupes, nous leur avons indiqué dans un premier temps à quoi correspondaient les différentes cotations, selon le document en annexe 9. Ensuite, nous avons fait appel à leur mémoire en leur demandant de se souvenir d'un moment de repos le moins intense qu'ils ait pu faire, ce qui correspond alors à la cotation 0. Puis, nous avons fait de même avec l'effort le plus dur

qu'ils ait connu, qui correspond donc à la cotation 10. Cela nous a permis de borner l'échelle et donc de continuer ce travail pour chaque cotation

Ensuite, la deuxième partie est le remplissage de l'application par les athlètes afin que je puisse récupérer les données de charge d'entraînement et de blessure. Après chaque séance, les joueurs ont rempli pendant 14 semaines les retours de séance de préparation physique, de kiné, d'étirements et de hockey. Pendant ce temps, ils devaient également remplir un formulaire de déclaration de blessure dès qu'un passage chez le médecin, avec pour résultat une éviction partielle ou totale, était réalisé. Durant cette partie du protocole, j'assurais le suivi du remplissage de manière quotidienne et répondais aux diverses problèmes qui pouvaient se poser.

Enfin, la dernière étape de ce protocole est de récupérer les données et de les trier pour le traitement statistique. Afin d'examiner les relations entre charge d'entraînement et l'incidence des blessures, j'ai choisi d'utiliser les méthodes suivantes, présentes sur athlètes 360 :

- La CE quotidienne,
- La charge aiguë
- La charge chronique
- Le ratio CA:CC
- L'indice de monotonie
- L'indice de contrainte
- L'indice de fitness
- L'indice de fraîcheur

Pour chaque joueur blessé, j'ai donc récupéré ces données au moment de la blessure puis les ai mises dans un tableau avec l'incidence de blessure.

Afin de calculer l'incidence de blessure, j'ai utilisé la formule présentée par Buffet et al (2015) :

$$\text{Incidence de blessure (/1000h pratique)} = (\text{nombre de blessure/ exposition en heures}) \times 1000$$

Dans cette formule, l'exposition correspond à la somme de nombre d'heures de pratique pour chaque joueur.

Une fois que toutes ces données ont été récupérées, pour chaque blessure sans contact, j'ai calculé l'incidence de blessure au moment de la blessure, puis j'ai associé à cette incidence les données du joueur blessé pour chaque méthode choisie. Chaque nouvelle blessure fait alors évoluer l'incidence de blessure et ajoute les données de charge d'entraînement du joueur venant de se blesser.

Après l'analyse statistique des données, pour la méthode la plus corrélée avec le taux d'incidence de blessure, s'il y en avait eu une, nous devons faire la représentation graphique de la méthode la plus

corrélée par rapport au nombre de semaines écoulées et y ajouter les blessures comme a pu le faire Foster (1998), afin de tenter de déterminer un seuil de CE. N'ayant eu aucune corrélations entre les données, cela n'a pas été réalisé.

5. Analyse statistique

Comme expliqué précédemment, toutes les données récupérées sur l'application ont été mises dans un tableau.

Le but de l'analyse statistique était d'étudier la corrélation entre l'incidence des blessures et les différentes méthodes de suivi de la CE. Pour cela, nous avons vérifié dans un premier temps la normalité des variables de chaque méthode grâce au test de normalité de Shapiro-Wilk. Suite au test de Shapiro-Wilk, l'incidence de blessure, qui sera testée avec chaque autre variable, s'est révélée non normale. Ainsi, pour étudier les corrélations entre l'incidence de blessure et les autres données de suivi de la charge d'entraînement, j'ai utilisé le test de corrélation de Spearman. Ce test, pour un indice de confiance de 95%, m'a indiqué qu'il y avait corrélation si le coefficient de corrélation était supérieur à 0,8294.

IV- Résultats

Pour le calcul de l'incidence de blessure, j'ai appliqué la formule de Buffet et al (2015) qui nous donne le tableau 2. Comme nous pouvons le voir, lors des 14 semaines de suivi, j'ai relevé 6 blessures. Afin de calculer l'incidence de blessure, si nous prenons l'exemple de « blessure 6 », il y avait un total de 6 blessures, donc un nombre de blessures cumulées de 6. Ensuite, j'ai divisé le nombre de blessures cumulées par l'exposition au moment de la blessure 6, et cela nous a donné l'incidence de blessure qui correspond ici à 2,99 blessures pour 1000h au moment de la blessure 6.

Tableau 2- Exposition et incidences des blessures

	nombre de blessure cumulée	exposition (heures)	Incidence
blessure 1	1	92	10,87
blessure 2	2	493,17	4,06
blessure 3	3	665,08	4,51
blessure 4	4	688,08	5,81
blessure 5	5	1224,75	4,08
blessure 6	6	2006,93	2,99

Ensuite, pour chaque blessure, j'ai réuni l'incidence de blessure avec les données de suivi de charge d'entraînement relevées au moment de la blessure dans le tableau 3.

Tableau 3 - incidences de blessure et données de charge d'entraînement associées

	Incidences de blessures (1000h)	Charge quotidienne (u.a)	Charge aiguë (u.a)	Charge chronique (u.a)	Ratio CA:CC	Indice de monotonie	Indice de contrainte (u.a)	Indice de fitness (u.a)	Indice de fraîcheur (u.a)
blessure 1	10,87	100,00	279,00	150,00	1,86	2,20	220,00	-120,00	-129,00
blessure 2	4,06	360,00	227,00	379,00	0,60	1,65	594,00	-234,00	152,00
blessure 3	4,51	30,00	287,00	317,00	0,91	1,45	43,50	-13,50	30,00
blessure 4	5,81	90,00	99,00	307,00	0,32	15,71	942,60	-882,60	208,00
blessure 5	4,08	225,00	164,00	179,00	0,92	1,91	429,75	-204,75	15,00
blessure 6	2,99	300,00	171,00	444,00	0,39	1,58	474,00	-174,00	273,00
Moyenne ± SD	5,39 ± 2,84	184,17 ± 130,94	204,50 ± 73,15	296,00 ± 113,45	0,83 ± 0,56	4,08 ± 5,70	450,64 ± 310,65	-271,48 ± 309,30	91,5 ± 147,26

A partir de ce tableau, j'ai pu appliqué le test de corrélation de Spearman afin de voir si les données de chaque méthode de suivi de la CE étaient corrélées avec l'incidence de blessure, et donc de savoir si les blessures de surmenage relevées lors de ces 14 semaines sont liées à la charge d'entraînement. Les résultats du test de Spearman pour chaque méthode sont représentés dans le tableau 4.

Tableau 4 - Résultats des corrélations entre l'incidence de blessure et les données de charge d'entraînement.

	Charge quotidienne (u.a)	Charge aiguë (u.a)	Charge chronique (u.a)	Ratio CA:CC	Indice de monotonie	Indice de contrainte (u.a)	Indice de fitness (u.a)	Indice de fraîcheur (u.a)
Indice de blessure (/1000h)	$\rho = -0,714$	$\rho = 0,143$	$\rho = -0,829$	$\rho = 0,371$	$\rho = 0,6$	$\rho = -0,257$	$\rho = 0,143$	$\rho = -0,600$
résultat significatif si $\rho > 0,829$								

D'après le test de corrélation de Spearman, les données de charge d'entraînement des différentes méthodes sont corrélées avec l'incidence de blessure seulement si le coefficient de corrélation est supérieur à 0,8294 pour un indice de confiance de 95%. Les résultats présentés dans le tableau 4 nous montrent que sur les 6 blessures relevées lors des 14 semaines de suivi ne permettent pas de corréler l'incidence de blessure à la charge d'entraînement, et ce pour toutes les méthodes de suivi choisies. En effet, nous pouvons voir que la charge chronique, qui est la moyenne glissante de la charge d'entraînement sur 4 semaines, bien qu'ayant le coefficient le plus proche de 0,8294 avec $\rho = -0,829$, n'a pas de lien avec l'incidence de blessure selon le test de Spearman. La charge quotidienne n'est pas loin derrière la charge chronique avec $\rho = -0,714$, mais n'est pas liée à l'incidence de blessure non plus. Ensuite, la charge aiguë, qui est la moyenne glissante de la charge quotidienne sur 7 jours, possède un coefficient de corrélation de 0,143 avec l'incidence de blessure, tout comme l'indice de fitness, qui est la CE moins la contrainte. Le ratio CA:CC, l'indice de monotonie, l'indice de fitness et l'indice de fraîcheur ne sont pas corrélés avec l'incidence de blessure non plus.

Les résultats ne révélant aucune corrélation entre l'incidence de blessure et les données de charge d'entraînement, l'hypothèse qu'une technique de suivi de la CE serait plus corrélée que les autres à l'incidence de blessure n'est pas validée. Avec ces résultats, il n'est pas possible de faire une représentation graphique et donc de déterminer un seuil de charge d'entraînement.

Ainsi, les résultats ne permettent pas de répondre au deuxième objectif de cette étude mais nous indiquent que les blessures relevées lors de ce suivi de 14 semaines ne sont pas liées à la charge d'entraînement.

V- Discussion

Les résultats ne montrent aucune corrélation entre les blessures relevées lors des 14 semaines du protocole et les différents indicateurs de CE. Compte tenu du nombre restreint de données et de ces résultats, il n'a pas été possible de déterminer la méthode la plus pertinente pour le suivi du jeune sportif. Nous allons donc discuter des résultats à l'aide des études déjà faites dans ce domaine, afin de voir comment ces mêmes méthodes de suivi de charge d'entraînement ont déjà pu être liées aux blessures.

L'indice de monotonie : Lors de mon étude, l'indice de monotonie s'est montré sans lien avec l'incidence de blessure, donc avec les blessures relevées. Or, selon Foster (1998), un indice de monotonie supérieur à 2 serait associé à un risque important de problèmes de santé liés au surentraînement, dont les blessures. De plus, Piggot et al (2009), avec un protocole de 15 semaines, plus proche de celui utilisé dans cette étude, ont trouvé que 20% des blessures étaient dues à un précédent pique de monotonie. Les résultats de mon étude montrent que l'indice de monotonie était supérieur à 2 seulement pour la blessure 1 et la blessure 4. Ainsi, d'après mes résultats et ce que disent ces études, nous pouvons en déduire que l'indice de monotonie n'est pas la cause des blessures observées au sein du pôle France masculin de hockey sur gazon. En revanche, nous pouvons voir que les données d'indice de monotonie dans le tableau ne sont pas toutes en dessous de 2 et on pourrait alors se demander pourquoi cet indice n'est pas lié à ces blessures. Pour répondre à cela, Piggot et al (2009) expliquent que la faible prédiction de blessure par l'indice de monotonie qu'ils ont trouvé, peut venir du faible nombre de blessures. Cela peut donc aussi être le cas pour mon étude.

L'indice de contrainte : Concernant l'indice de contrainte, mes résultats se sont montrés sans liens avec les blessures. D'après Foster (1998), un pic d'indice de contrainte explique 89% des problèmes de santé liés au surentraînement dans les 10 jours qui le suivent. Nous pouvons donc nous demander pourquoi l'indice de contrainte n'est pas lié aux blessures dans mon étude. Cela peut s'expliquer de nouveau par le faible nombre de blessures puisque l'indice de contrainte dépend de l'indice de monotonie. De plus, nous pouvons également nous dire que dans le cas de mon étude, les blessures ne sont tout simplement pas liées à l'indice de contrainte.

Concernant les deux indicateurs de CE que nous venons de voir, mes résultats ne sont pas en accord avec les résultats déjà publiés par les chercheurs. Cela peut peut-être également s'expliquer par la différence de protocole utilisé. En effet, la plupart des protocoles trouvés dans la science calculent la moyenne

hebdomadaire de chaque indicateur de CE, puis le la mettent en relation avec le nombre de blessure chaque semaine, sur toute la durée de l'étude.

L'indice de fitness : Rappelons-le nous, l'indice de fitness représente l'indice de performance du moment du sportif Hourcade (2017). Cet indice n'est donc qu'un indicateur de forme du sportif qui dépend de la contrainte et de la charge d'entraînement. Pour cet indice, la capacité de performance est élevée lorsque la CE quotidienne est plus élevée que la contrainte puisque comme l'indique Piggot et al (2009), à un haut niveau de « fitness », le système musculosquelettique est apte à tolérer des CE plus élevées. Dans mes résultats, nous pouvons voir que, pour chaque blessure, l'indice de fitness est négatif et donc que les joueurs n'étaient pas dans une phase de performance. De plus, cet indicateur n'est pas lié aux blessures, ce qui peut s'expliquer également par le faible nombre de blessures observées, le fait que ça ne soit qu'un indice de performance, ou encore parce que les blessures ne sont pas une conséquence de la charge d'entraînement lors de ces 14 semaines.

Charge aiguë, Charge chronique et Ratio CA :CC : La charge aiguë, qui correspond à la moyenne glissante sur 1 semaine de la CE, s'est montrée sans lien avec les blessures lors de cette étude. La charge chronique, qui représente la moyenne glissante sur 4 semaines de la CE, s'est elle aussi montrée sans lien avec les blessures, malgré un coefficient très proche de 0,8294. Le ratio CA:CC s'est lui aussi révélé non corrélé aux blessures. D'après Gabbett (2016), si la CA est faible et la CC est élevée, les athlètes seront dans une phase de forme et bien préparés, ce qui se traduit par un ratio de 1 ou moins, comme mes résultats le montrent pour les blessures 2 à 6. Dans le cas inverse, les athlètes seront dans un état de fatigue avec un ratio CA:CC qui dépassera 1, comme dans le cas de la blessure 1. De plus, Gabbett (2016), nous dit que pour un ratio $\leq 0,99$, le risque de blessure pour des lanceurs était de 4% dans les 7 jours suivants. Il nous dit aussi que quand ce ratio était $\geq 1,5$ le risque de blessure des lanceurs était 2 à 4 fois plus élevé dans les 7 jours qui suivent. Comme nous avons pu le voir dans la revue de littérature, le ratio CA:CC a un « sweet spot » où le risque de blessure est le plus faible, qui est de 0,8 à 1,3 Gabbett (2016). Au-delà de 1,5, il y a ce qui est appelé par Gabbett (2016) la zone de danger où le risque de blessure est le plus élevé. Ainsi, au regard de mes résultats et de la science, seule la blessure 1 pourrait être liée à ces indicateurs. En revanche, ce n'est qu'une donnée sur les six, pouvant alors expliquer pourquoi il n'y a aucun lien entre ces indicateurs et les blessures lors de ces 14 semaines. De manière générale, les blessures ne seraient alors pas dues à la CA, la CC ou encore le ratio CA:CC.

Charge quotidienne : La charge quotidienne correspond dans cette étude à la somme des CE de chaque entraînement effectué dans la journée concernée. Ici, je n'ai relevé la charge quotidienne que le jour de la blessure. Dans la science, la charge quotidienne est peu utilisée pour analyser la relation entre CE et blessures. Le plus souvent, elle est intégrée dans la charge d'entraînement hebdomadaire. Pour cette

méthode qui est la charge d'entraînement hebdomadaire, Gabbett (2016) nous dit que dans une précédente étude, il a trouvé que les joueurs de sports d'équipe avaient 50 à 80% plus de risque de blessure dans l'intervalle de 3000 à 5000ua de CE hebdomadaire et que ce risque était considérablement réduit pour l'intervalle de 1700 à 3000ua. Ainsi, nous pouvons voir, en comparant aux données scientifiques, que mes résultats de charge quotidienne lors des blessures, ne sont pas élevées avec en moyenne $184,17 \pm 130,94$ ua, face à des charges hebdomadaires de 1700 à 3000ua avec peu de risque de blessures, comme indiqué par Gabbett (2016). Cela pourrait alors expliquer pourquoi la charge quotidienne n'est pas liée aux blessures dans mon étude.

Indice de fraîcheur : L'indice de fraîcheur correspond à CC-CA et représente alors la différence entre la forme et la fatigue, Gazzano (2017). Ainsi, un indice de fraîcheur positif indique une période où une faible fatigue et un haut niveau de performance sont à prévoir. Cet indice permet donc de donner des indications sur l'état de l'athlète lors de sa blessure mais pas de donner une valeur objective de CE quant à la blessure. Lors de mon étude, nous avons pu voir que, hormis pour la blessure 1, toutes les blessures relevées étaient associées à un indice de fraîcheur positif. Cela nous permet donc de dire que lors de leurs blessures, les joueurs présentaient une fatigue faible et haut niveau de performance à prévoir. Cela pourrait donc expliquer pourquoi l'indice de fraîcheur n'est pas corrélé avec les blessures lors de ce suivi.

Limites : Le nombre de données relevées peut présenter une limite de cette étude car il ne permet pas de dégager une relation claire pour chaque indicateur. Lors de mon étude, j'ai pu relever 6 blessures en 14 semaines alors que Gabbett et Godbolt (2010) ont relevé 53 blessures lors des mois de janvier, février et mars sur une équipe de 35 joueurs de rugby. Ce faible nombre de blessures observé dans mon étude peut s'expliquer par la mise en place d'une athlétisation préventive tout au long de la saison sportive. En effet, nous faisons passer des tests FMS aux jeunes, puis leur donnons l'entraînement associé à leur résultat en fin d'échauffement. Selon Kraus et al (2014), les entraînements basés sur le FMS peuvent permettre de réduire les déséquilibres fonctionnels et améliorer le contrôle moteur général, pouvant ainsi réduire le risque de blessure des jeunes sportifs et amener à un faible nombre de blessures. Le faible nombre de blessures peut également s'expliquer par la mise en place d'un suivi régulier de la maturation et de la croissance des jeunes. Comme l'indiquent Haff et al (2020), pendant la période de pic de croissance, les jeunes athlètes courent un risque accru de blessure dû à l'altération du centre de gravité, aux déséquilibres musculaires et au resserrement relatif des unités muscle-tendon s'étendant sur des os à croissance rapide. Ainsi, le suivi de leur croissance et l'adaptation de l'entraînement en fonction de celle-ci, peut expliquer ce faible nombre de blessures. Ensuite, le relevé de chaque indicateur de CE seulement au moment de la blessure peut présenter une seconde limite de l'étude. Effectivement, il aurait peut-être

été préférable de relever chaque indicateur de CE de manière collective, en moyennes et cumules hebdomadaires sur toute la durée des 14 semaines, puis de lier ceci avec simplement le nombre de blessures par semaine comme ont pu le faire Piggot et al (2009) avec l'indice de monotonie et l'indice de contrainte. La dernière limite de cette étude, et peut-être la principale, est que la blessure est un processus multifactoriel, d'autant plus chez le jeune sportif comme nous avons pu le voir précédemment. Dans la majorité des études, les facteurs de risque de blessure sont classés entre intrinsèques et extrinsèques. Une étude de Saragiotto et al (2014) a répertorié la réponse d'athlètes, et de 15 professionnels du staff technique et 15 professionnels du staff médical des athlètes, à la question « Qu'est-ce qui peut causer des blessures dans votre sport ? ». Parmi les facteurs intrinsèque de risque de blessures, il y a des facteurs physio-anatomiques, nutritionnels, du geste sportif, comportementaux, psychologique et autres ont été relevés. Quelques exemples sont les blessures antérieurs, une nutrition et hydratation incorrecte, manque d'attention/concentration, etc. Parmi les facteurs extrinsèques, il y a l'équipement, l'entraînement, les caractéristiques du sport et autres. Quelques exemples sont une surface inadéquate, le surentraînement, manque de condition physique, les mouvements inhérents au sport, l'environnement, etc. Caine et al (2008) se sont intéressés aux facteurs de risque de blessure chez le jeune sportif et ont pu observer de nouveaux facteurs, en plus de ceux cités précédemment. En effet, chez le jeune, la poussée de croissance, la maturité biologique et l'âge sont des facteurs qui s'ajoutent dans le risque de blessure. Tous ces éléments prouvent bien que la blessure est bien loin de ne dépendre que de la charge d'entraînement et qu'elle comprend une grande diversité de facteurs intrinsèques et extrinsèques aux athlètes. Cela constitue bien une limite de mon étude qui pourrait aussi expliquer pourquoi les blessures observées ne sont pas corrélées aux indicateurs de CE.

Perspectives : Cette étude n'a pas donné de résultats concluants quant à la méthode de suivi la plus utile pour le jeune sportif et de seuil de charge d'entraînement. De plus, la blessure est multifactorielle et chez l'adolescent des facteurs s'ajoutent en plus. Il serait donc intéressant pour une prochaine étude avec plus de données et sur une plus grande durée, de tenter d'établir un lien entre le profilage du jeune athlète, l'avancée de la maturation biologique et la charge d'entraînement. Cela permettrait de voir comment les jeunes sportifs perçoivent une même charge d'entraînement selon leur âge biologique et l'impact de cette charge d'entraînement sur leur profil. Ainsi, il serait possible de savoir comment le jeune sportif répond à la charge d'entraînement en fonction de la maturation, et donc de savoir comment adapter cette même charge d'entraînement pour le sportif adolescent afin de favoriser les adaptations et de limiter les effets négatifs de l'entraînement.

VI- Conclusion

A travers ce mémoire, il n'a pas été possible de déterminer quel indicateur de charge d'entraînement semblait être le plus adapté au suivi du jeune sportif et donc de déterminer un seuil à partir duquel le risque de blessure aurait été trop élevé. Nous par ailleurs pu voir que les blessures observées n'étaient pas dépendantes de la charge d'entraînement.

Bien que nous n'ayons pas de résultats permettant d'obtenir des informations quant à la charge d'entraînement dans le suivi du jeune hockeyeur sur gazon, ce mémoire a permis de montrer que la charge d'entraînement est un outil important dans le suivi du jeune sportif et du jeune hockeyeur sur gazon, afin de construire un sportif performant sur le long terme, en prenant en compte les paramètres de l'entraînement pour favoriser les adaptations, et les caractéristiques du sportif adolescent pour préserver l'intégrité physique des athlètes. En revanche, nous avons aussi pu voir que les blessures ne sont pas toujours liées à la charge d'entraînement et qu'il est donc essentiel de prendre le jeune sportif non seulement comme athlète mais aussi comme jeune personne avec ses caractéristiques physiques liées à l'âge, son environnement social et sa psychologie.

Ce mémoire a permis de rappeler à quel point le surentraînement et la blessure sont des événements difficiles à anticiper. En effet, l'aspect multifactoriel de la pratique sportive, de l'individu et par extension de la blessure, comme nous l'avons vu durant ce mémoire, ne font de la relation charge d'entraînement-blessure qu'une variable de l'entraînement parmi tant d'autres.

Cette étude permet donc de montrer que l'entraînement et la place de la blessure dans ce dernier ne réside pas seulement dans la charge d'entraînement, mais aussi autour d'exercices de prévention, de la prise en compte individuelle des caractéristiques de chaque sportif, de l'écoute des sportifs, de l'adaptation de l'entraînement aux besoins des sportifs, ... La charge d'entraînement et les diverses méthodes de mesure de celle-ci, restent un outil essentiel dans l'optimisation de la performance sportive du hockeyeur sur gazon adolescent. D'autres travaux mettant en lien le profilage des athlètes avec leur maturation biologique et leur réponse à une charge d'entraînement donnée, pourraient permettre de déterminer comment ajuster la charge d'entraînement chez le jeune sportif afin de favoriser les adaptations et de limiter les états de fatigue excessive.

VII- Références bibliographique

- Barboza, S. D., Joseph, C., Nauta, J., Van Mechelen, W., & Verhagen, E. (2018). Injuries in Field Hockey Players : A Systematic Review. *Sports Medicine*, 48(4), 849866. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0839-3>
- Bompa, T. O., Buzzichelli, C. A., Boulongne-Evtouchenko, C., Heurtaut, C., & Bompa, T. O. (2020). *Périodisation : Théorie et méthodologie de l'entraînement*.
- Buffet, M., Morel, N., Navacchia, M., Voyez, J., Vella-Boucaud, J., & Edouard, P. (2015). Blessures chez des joueuses de basketball féminin de haut niveau durant une saison. *Science & Sports*, 30(3), 134-146. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2015.02.008>
- Busso, T. (2003). Variable Dose-Response Relationship between Exercise Training and Performance: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(7), 11881195. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000074465.13621.37>
- Busso, T., Candau, R., & Lacour, J.-R. (1994). Fatigue and fitness modelled from the effects of training on performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 69(1), 5054. <https://doi.org/10.1007/BF00867927>
- Caine, D., Maffulli, N., & Caine, C. (2008). Epidemiology of Injury in Child and Adolescent Sports : Injury Rates, Risk Factors, and Prevention. *Clinics in Sports Medicine*, 27(1), 19-50. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2007.10.008>
- Cardoos, N. (2015). Overtraining Syndrome: *Current Sports Medicine Reports*, 14(3), 157158. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000145>
- Cassirame, J., & Tordi, N. (2007). Le suivi du surentraînement, Exemple du pôle d'Evry. *Gym 'Technic*, Janvier, 1622.
- Coquart, J. (2016). *Mesure de l'effort dans les activités physiques : De la théorie à la pratique entraînement sportif, réhabilitation clinique, éducation physique et sportive*. Amphora.
- Favre-Juvin, A., Flore, P., & Rousseaux Blanchi, M.-P. (2003). Approche clinique du surentraînement. *Science & Sports*, 18(6), 287289. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2003.09.008>
- Frisch, A., Croisier, J.-L., Urhausen, A., Seil, R., & Theisen, D. (2009). Injuries, risk factors and prevention initiatives in youth sport. *British Medical Bulletin*, 92(1), 95121. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldp034>
- Gabbett, T. J. (2016). The training—injury prevention paradox : Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Gabbett, T. J., & Godbolt, R. J. B. (2010). Training Injuries in Professional Rugby League. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(7), 1948-1953. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ddad65>
- Gazzano, F. (2017). *Optimisation de la charge d'entraînement et prévention des blessures sportives*.

- Haff, G., Triplett, N. T., Boulongne-Evtouchenko, C., Heurtaut, C., & National Strength & Conditioning Association (États-Unis). (2020). *L'Encyclopédie de la préparation physique*.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44 Suppl 2, S139-147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Hellard, P., Avalos, M., Lacoste, L., Barale, F., Chatard, J.-C., & Millet, G. P. (2006). Assessing the limitations of the Banister model in monitoring training. *Journal of Sports Sciences*, 24(5), 509520. <https://doi.org/10.1080/02640410500244697>
- Hourcade, J.-C. (2017). *Quantification de la charge d'entraînement pour les exercices spécifiques en football*. Paris Descartes.
- Kenttä, G., Hassmén, P., Robin, M., & Boëda, A. (2003). *Prévention du surentraînement : Évaluation et techniques de récupération*. Masson.
- Kraus, K., Schütz, E., Taylor, W. R., & Doyscher, R. (2014). Efficacy of the Functional Movement Screen : A Review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(12), 3571-3584. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000556>
- Lambert, M., & Mujika, I. (2013). Chapitre 1. Charge d'entraînement et surcompensation. In C. Hausswirth (Éd.), *Améliorer sa récupération en sport* (p. 3138). INSEP-Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.insep.1330>
- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 30, No. 7, pp. 1164-1168.
- Morin, S., Ahmaïdi, S., & Leprêtre, P.-M. (2014). Modélisation des effets de l'entraînement : Revue des différentes études. *Science & Sports*, 29(5), 237247. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2013.11.003>
- Morton, R. H., Fitz-Clarke, J. R., & Banister, E. W. (1990). Modeling human performance in running. *Journal of Applied Physiology*, 69(3), 1171-1177. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.3.1171>
- Mujika, I., Busso, T., Lacoste, L., Barale, F., Geysant, A., & Chatard, J.-C. (1996). Modeled responses to training and taper in competitive swimmers: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28(2), 251-258. <https://doi.org/10.1097/00005768-199602000-00015>
- Murtaugh, K. (2009). Field Hockey Injuries: *Current Sports Medicine Reports*, 8(5), 267-272. <https://doi.org/10.1249/JSR.0b013e3181b7f1f4>
- Piggott, B., Newton, M., & McGuigan, M. (2009). The relationship between training load and incidence of injury and illness over a pre-season at an Australian Football League Club. *ECU Publications*, 17.
- Ratel, S. (2018). *Préparation physique du jeune sportif : Le guide scientifique et pratique*. Amphora.
- Saragiotto, B. T., Di Pierro, C., & Lopes, A. D. (2014). Risk factors and injury prevention in elite athletes : A descriptive study of the opinions of physical therapists, doctors and trainers. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 18(2), 137-143. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552012005000147>
- Schwellnus, M., Soligard, T., Alonso, J.-M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., Gabbett, T. J., Gleeson, M., Hägg, M., Hutchinson, M. R., Janse Van Rensburg, C., Meeusen, R., Orchard, J. W.,

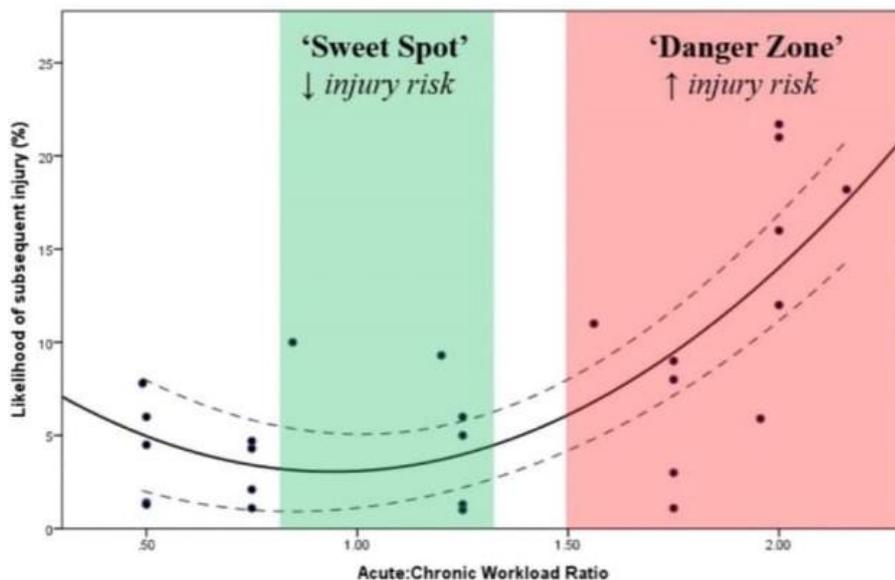
- Pluim, B. M., Raftery, M., Budgett, R., & Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 2) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of illness. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 10431052. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096572>
- Sedeaud, A., Sène, J. M., Krantz, N., Saulière, G., Moussa, I., & Toussaint, J. F. (2018). L'importance de la quantification de la charge d'entraînement : Exemple d'un modèle. *Science & Sports*, 33(1), 2232. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2017.06.011>
- Sherker, S., Cassell, E., Monash University, & Accident Research Centre. (2002). *A review of field hockey injuries and countermeasures for prevention*. Monash University, Accident Research Centre. <http://www.monash.edu.au/muarc/reports/muarc143.html>
- Soligard, T., Schwelnus, M., Alonso, J.-M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., Gabbett, T., Gleeson, M., Hägglund, M., Hutchinson, M. R., Janse van Rensburg, C., Khan, K. M., Meeusen, R., Orchard, J. W., Pluim, B. M., Raftery, M., Budgett, R., & Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 10301041. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096581>
- Taha, T., & Thomas, S. G. (2003). Systems Modelling of the Relationship Between Training and Performance: *Sports Medicine*, 33(14), 10611073. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333140-00003>
- Arnold, A., Thigpen, C. A., Beattie, P. F., Kissenberth, M. J., & Shanley, E. (2017). Overuse Physical Injuries in Youth Athletes : Risk Factors, Prevention, and Treatment Strategies. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 9(2), 139147. <https://doi.org/10.1177/1941738117690847>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., & De Ste Croix, M. B. A. (2014). Chronological Age vs. Biological Maturation : Implications for Exercise Programming in Youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 14541464. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000391>
- Murray, A. (2017). Managing the Training Load in Adolescent Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), S2-42-S2-49. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0334>

VIII- Annexes

TRADUCTION FRANÇAISE DE L'ÉCHELLE CR ₁₀ RÉVISÉE	
0	- Nulle
1	- Très, très légère
2	- Légère
3	- Modérée
4	- Assez dure
5	- Dure
6	-
7	- Très dure
8	-
9	-
10	- Maximale

FIGURE 16. TRADUCTION FRANÇAISE, PROPOSÉE DANS L'ÉTUDE DE HADDAD ET COLL. [160], DE L'ÉCHELLE D'INTENSITÉ SUBJECTIVE DE LA CHARGE (CR₁₀) DE FOSTER ET COLL. [130].
FIGURE REPRODUITE AVEC L'ACCORD DES AUTEURS [160].

Annexe 1 : Échelle CR-10 de Borg modifiée par Foster tirée de Coquart, J. (2016)



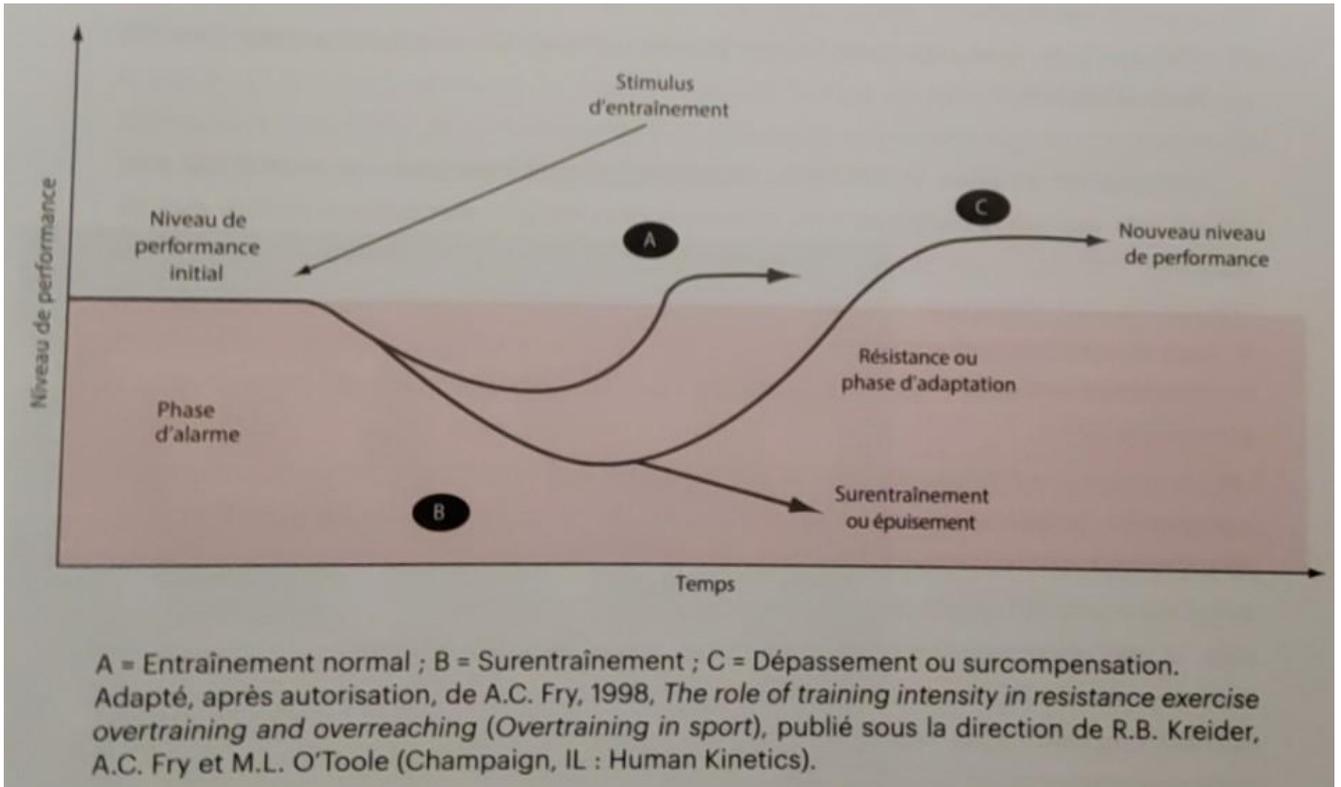
Annexe 2 : Relation Charge-Blessure selon le ratio CA:CC (Gabett, 2016)

	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV	Zone V
Coeff	2	4	6	10	16
Intensité	Moitié inférieure, entre 50% de FC de réserve et limite inférieure de la Zone III	Moitié supérieure, entre 50% de FC de réserve et limite inférieure de la Zone III	FC au seuil ventilatoire, +/- 5 bpm (70% VO ₂ max)	Entre limite supérieure de Zone III et FCmax - 5 bpm	Effort supérieur à FCmax - 5 bpm
Temps (min)					

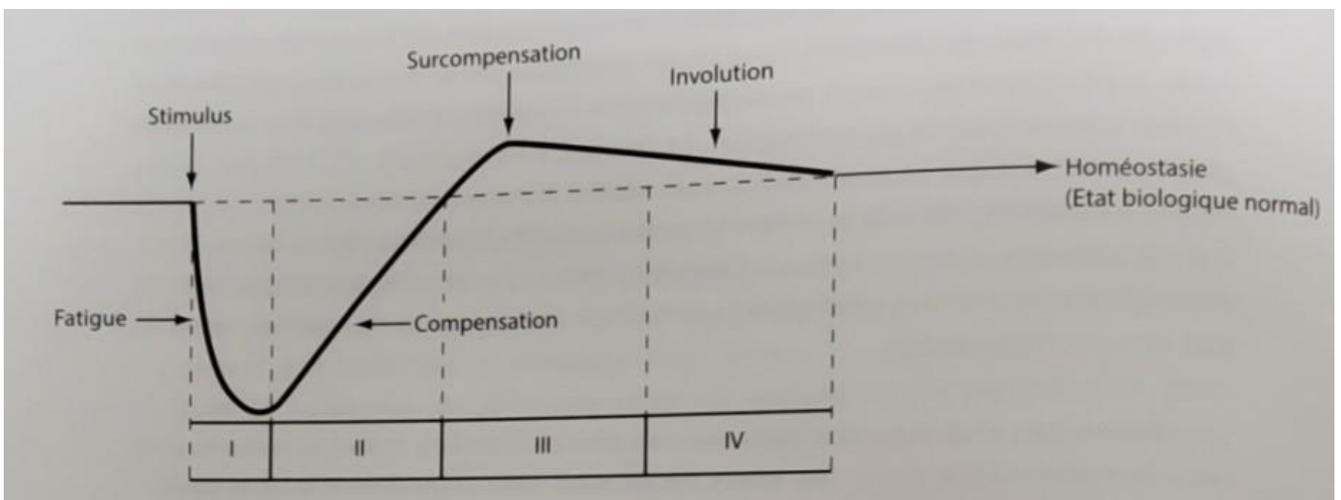
Annexe 3 : Zones d'intensités de la méthode WOOD (Houcarde, 2017)

Zones	Lactatémie	Coeff
Coeff 3	Coeff 2	Coeff 1
I	INF 2 mmol-l	1
II	2 à 4 mmol-l	2
III	4 à 6 mmol-l	3
IV	6 à 10 mmol-l	5
V	Sup 10 mmol-l	8

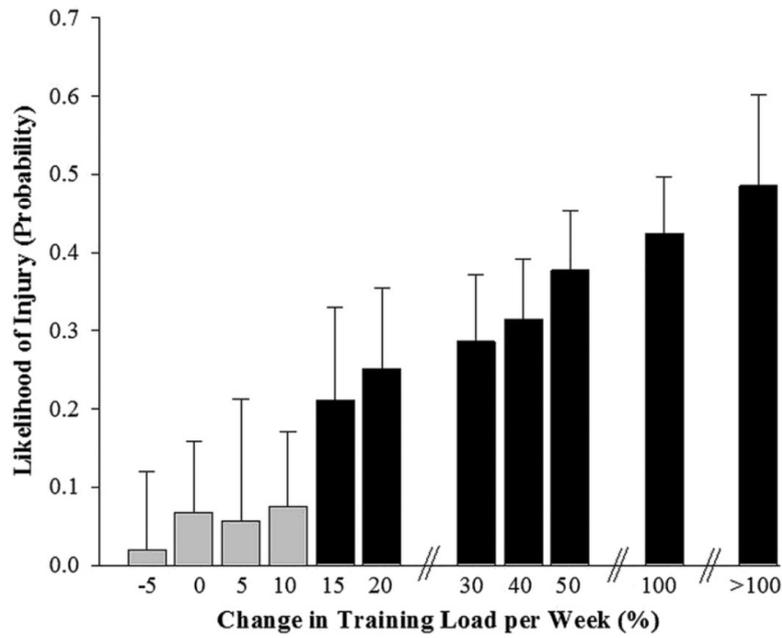
Annexe 4 : Zones d'intensités de la méthode basée sur la lactatémie de Mujika et al., (Houcarde, 2017)



Annexe 5 : syndrome général d'adaptation de Selye (Bompa et al., 2020)



Annexe 6 : Phases de la surcompensation (Bompa et al., 2020)



Annexe 7 : probabilité de blessure en fonction de différents changements de charge d'entraînement. (Gabett., 2016)

— *Pour les garçons :*

$$N = (0,0002708 \times \text{longueur des membres inférieurs} \times \text{taille assise}) - (0,001663 \times \text{âge} \times \text{longueur des membres inférieurs}) + (0,007216 \times \text{âge} \times \text{taille assise}) + (0,02292 \times (\text{masse corporelle}/\text{taille debout}) \times 100) - 9,236$$

— *Pour les filles :*

$$N = (0,0001882 \times \text{longueur des membres inférieurs} \times \text{taille assise}) + (0,0022 \times \text{âge} \times \text{longueur des membres inférieurs}) + (0,005841 \times \text{âge} \times \text{taille assise}) - (0,002658 \times \text{âge} \times \text{masse corporelle}) + (0,07693 \times (\text{masse corporelle}/\text{taille debout}) \times 100) - 9,376$$

Annexe 8 : équations de la prédiction de l'âge du PVC

Possibles instructions françaises de l'échelle CR₁₀ révisée

Après la séance, nous désirons évaluer l'intensité subjective de la charge d'entraînement, c'est-à-dire votre perception moyenne de l'intensité de la séance entière. Cette évaluation nous permettra d'avoir des informations complémentaires aux classiques variables physiologiques que nous allons aussi enregistrer durant la séance (comme votre rythme cardiaque). Pour quantifier l'intensité subjective, vous devrez utiliser la traduction française, proposée par Haddad et ses collaborateurs (2013), de l'échelle d'intensité subjective de la charge (CR₁₀) révisée de Foster et ses collaborateurs (2001). À partir de cette échelle, nous vous demanderons d'estimer l'intensité subjective de la charge en vous posant la question suivante : *"Comment avez-vous perçu l'intensité de la séance d'entraînement ?"*

Vous allez devoir choisir, à partir de l'échelle CR₁₀, des chiffres compris entre 0 et 10 (avec 0 correspondant au minimum : intensité subjective nulle, et 10 correspondant au maximum : intensité subjective maximale).

0 correspond à une intensité subjective « nulle » et signifie que vous étiez allongé au repos.

1 correspond à une intensité subjective « très, très légère » : l'intensité de la séance vous a demandé un effort à peine perceptible.

2 correspond à une intensité subjective « légère », c'est-à-dire lorsque l'intensité de la séance a nécessité un effort en-dessous de ce que vous auriez réalisé spontanément.

3 correspond à une intensité subjective « modérée » : généralement, cela correspond à l'effort que vous auriez fourni spontanément.

4 correspond à une intensité subjective « assez dure » : l'intensité de la séance était plutôt pénible, mais vous vous sentiez suffisamment bien pour continuer.

5 correspond à une intensité subjective « dure » : c'est-à-dire que l'intensité de la séance était pénible, mais vous auriez pu continuer.

7 correspond à une intensité subjective « très dure » : l'intensité de la séance était très pénible et vous vous êtes battu contre vous-même pour terminer la séance ; malgré cela, vous auriez été capable de supporter une intensité encore plus élevée.

10 signifie que l'intensité subjective de la séance était « maximale » : vous n'auriez pas pu poursuivre la séance, même avec la plus grande motivation possible...

Essayez d'estimer votre perception de l'effort le plus sincèrement et spontanément possible. Vous devrez évaluer les sensations causées par l'intensité de la séance elle-même. Ce n'est que ce que vous avez ressenti réellement qui nous intéresse. Ne sous-estimez ni ne surestimez pas l'intensité subjective de la charge. Gardez à l'esprit qu'il n'y a ni de bon ni de mauvais chiffre et utilisez celui qui vous semble le plus approprié. L'important est votre propre perception de l'intensité de la charge, et non ce que pensent les autres. Pour nous, seule la précision dans votre évaluation compte. Pour évaluer l'intensité subjective de la séance, regardez l'échelle et partez des mots correspondants, mais sélectionnez ensuite un chiffre. Vous pouvez utiliser tous les chiffres, donc pas uniquement ceux en face des descriptifs verbaux.

Avez-vous des questions ?

FIGURE 30. POSSIBLES INSTRUCTIONS FRANÇAISES DE LA TRADUCTION FRANÇAISE, PROPOSÉE PAR HADDAD ET COLL. [160], DE L'ÉCHELLE D'INTENSITÉ SUBJECTIVE DE LA CHARGE (CR₁₀) DE FOSTER ET COLL. [129].

Annexe 9 : instructions pour l'utilisation de l'échelle CR-10 révisée (Coquart, 2016).

À la date de à

- Séance du
- Matin
 - Midi
 - Après-midi
 - Soir

Type de séance

Etat de forme - avant séance - saisie athlète

Etat de fatigue - avant séance

0 - Pas du tout fatigué

Niveau de douleurs musculaire global - avant séance

0 - Pas douloureux du tout

10 - Fatigue totale très douloureux

- As tu des douleurs ? - avant séance Non
- Lassitudes musculaires
 - Douleurs musculaires (tensions)
 - Courbatures
 - Mobilité réduite
 - Articulaires
 - Inflammatoires

Commentaires - avant séance

Etat de forme - après séance - saisie athlète

Durée de la séance mir

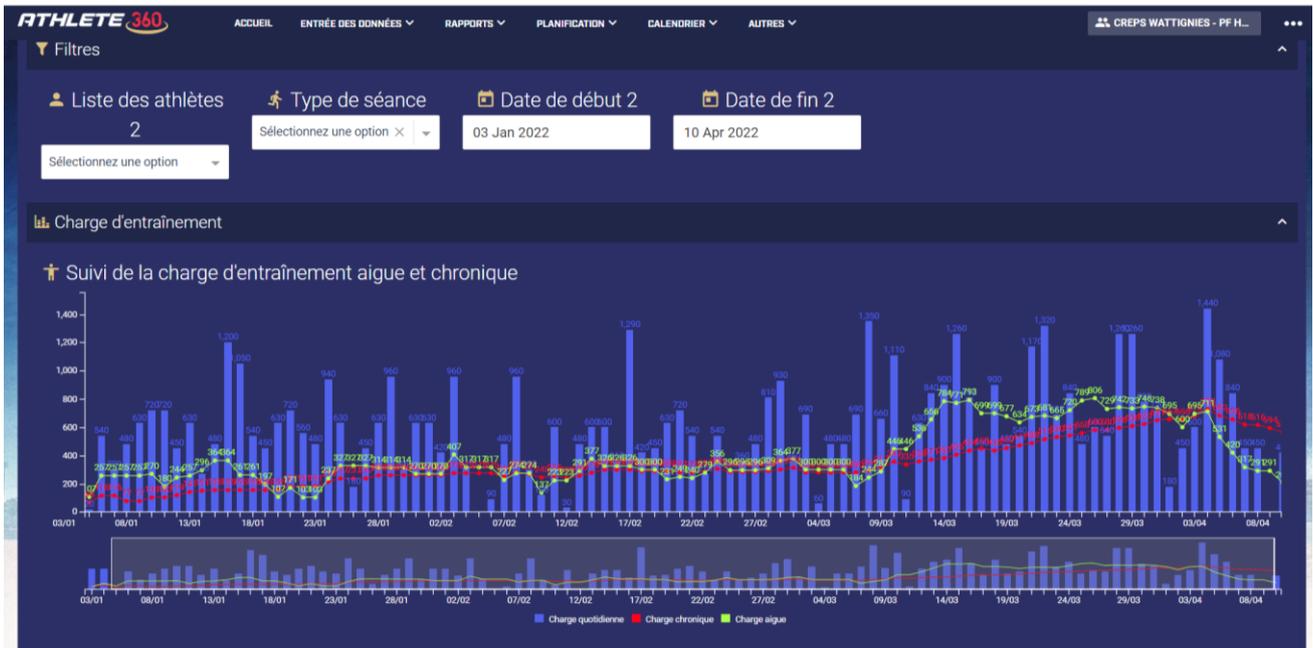
Difficulté ressentie

0 10

- As tu des douleurs ? - après séance Non
- Lassitudes musculaires
 - Douleurs musculaires (tensions)
 - Courbatures
 - Mobilité réduite
 - Articulaires
 - Inflammatoires

Commentaires

Annexe 10 – formulaire de remplissage des retours de séance sur athlètes 360.



ATHLETE 360 ACCUEIL ENTRÉE DES DONNÉES RAPPORTS PLANIFICATION CALENDRIER AUTRES CREPS WATTIGNIES - PF H...

Suivi des séances d'entraînements

Spécifique discipline Nbr séances 921	Préparation physique Nbr séances 417	Réathlétisation Nbr séances 19	Musculation Nbr séances 40
Athlétisme préventive Nbr séances 2	Etirement - récup Nbr séances 134	Gainage - mobilité Nbr séances 4	Kinésithérapie Nbr séances 37

Récap séances kinésithérapie

Date	Athlètes	Type de séance	Durée séance	Difficulté séance	Commentaires
06/04/22		Kinésithérapie	15	2	Massage
05/04/22		Kinésithérapie	20	5	
28/03/22		Kinésithérapie	20	6	Cryo et massage
23/03/22		Kinésithérapie	15	2	Massage et cryo
16/03/22		Kinésithérapie	30	1	
16/03/22		Kinésithérapie	15	3	
15/03/22		Kinésithérapie	60	2	

Annexe 11- Interface athlètes 360 après remplissage des retours de séance par les athlètes

ATHLETE 360 ACCUEIL ENTRÉE DES DONNÉES RAPPORTS PLANIFICATION CALENDRIER AUTRES CREPS WATTIGNIES - PF H...

Blessure

△ Blessures des athlètes

Date	Athlète	Type de blessure	Blessure	Objet de la visite médicale	Problématique de la blessure	Récidive	Suite à un contact	Lieu de survenance de la blessure	Conduite de soin à tenir	Eviction sportive	Nbr jours d'eviction	Conduite d'entrainement à tenir	Date de la visite avant reprise	Prise de RDV psychologue	Médecin
11/10		Autres		Douleur ischio gauche	Tenosynovite du semi tendineux gauche	Non	Non	Entraînement	Soins kinésithérapie	Totale	3		11/10	Non	Docteur Nabil KABBARA
10/11		Autres		Douleur identique à une précédente elongation.	Adhérence au niveau de la cicatrice du muscle.	Non	Non	Entraînement	Rdv kine	Partielle	5	Reprise à partir du lundi 15. Reprise progressive	09/11	Non	Docteur Charles LESAGE
17/11				Mal aux genoux+ mal haute de la colonne vertébrale ainsi qu'au cou	Présence de zones hypochoyge au niveau d'insertions quadricipital distales témoignar d'enthesopat Présence d'un image			Entraînement	Avoir tape sur deux genoux	Non	0	Normale	17/11	Non	Docteur ROBELET

ATHLETE 360 ACCUEIL ENTRÉE DES DONNÉES RAPPORTS PLANIFICATION CALENDRIER AUTRES CREPS WATTIGNIES - PF H...

1 sur 2

Maladie

△ Maladies des athlètes

Date	Athlète	Type de maladie	Autre
28/11/2021		Autres	Covid 19 positif
17/01/2022		Fièvre	
19/01/2022		Autres	Covid 19
24/01/2022		Autres	Virus
24/01/2022		Autres	Covid
29/01/2022		Autres	Covid
31/01/2022		Autres	COVID
05/02/2022		Autres	Osteochondrite dissequante
06/02/2022		Fièvre	
09/02/2022		Autres	covid

Annexe 12- Tableaux des déclarations de blessures et de maladies

IX- Résumé

Objectifs : L'objectif de ce mémoire est de déterminer quel indicateur de charge d'entraînement est le plus pertinent dans le suivi de la charge d'entraînement du jeune hockeyeur sur gazon masculin, afin de pouvoir proposer un seuil de charge à partir duquel il y a blessure.

Méthode : 17 sujets du pôle France masculin U16 de hockey sur gazon ont participé à l'étude. A l'aide de l'application athlètes 360 du réseau du Grand INSEP, durant 14 semaines, les données de charge d'entraînement et les blessures ont été relevées. Pour chaque blessure, nous avons calculé l'incidence de blessure, puis mis en lien les données de charge d'entraînement au jour de la blessure avec cette incidence à l'aide d'un test de corrélation.

Résultats : Les données d'incidence de blessure étant non normales, nous avons appliqué le test de corrélation de Spearman. Les résultats ont montré qu'il n'y avait aucun lien entre les données de charge d'entraînement et les blessures observées. Les blessures apparues lors des 14 semaines du protocole n'étaient donc pas liées à la charge d'entraînement.

Conclusion : Ces résultats montrent que les blessures relevées n'ont pas pour cause la charge d'entraînement. Cette étude n'a donc pas permis de mettre en lumière un indicateur de charge d'entraînement qui aurait été plus pertinent auprès du public concerné. En revanche, le pôle France masculin U16 de hockey sur gazon étant un public adolescent, et la blessure étant un mécanisme plurifactoriel, les blessures observées peuvent être liées à divers facteurs de risques intrinsèques et extrinsèques aux sportifs.

Mots clés : charge d'entraînement, blessures, hockey sur gazon, jeunes sportifs, suivi du sportif.

Abstract

Objectives : The aim of this thesis is to determine which training load's indicator is the most relevant in the monitoring of the training load of young men's hockey players, in order to be able to propose a load's threshold where injuries occur.

Method : 17 subjects from the French U16 men's field hockey division participated in this study. Using the Grand INSEP application Athletes 360, training load and injury data were collected for 14 weeks. For each injury, we calculated the incidence of injury, and then, related the training load data on the day of the injury, to this incidence of injury, using a correlation test.

Results : As the injury incidence data was not normal, we applied Spearman's correlation test. The results showed that there was no relationship between the training load data and the observed injuries. The injuries that occurred during the 14-weeks protocol were therefore not related to training load.

Conclusion : These results show that the injuries identified were not caused by training load. This study did not make possible to highlight a training load's indicator that would have been more relevant for the concerned public. However, as the men's U16 hockey French division is an adolescent group, and as injury is a multi-factorial mechanism, the injuries observed may be linked to various risk factors, intrinsic and extrinsic to the young athletes.

Key words : training load, injuries, field hockey, young athletes, athlete monitoring.

X- Compétences

La réalisation de ce stage et de ce mémoire m'ont permis d'acquérir plusieurs compétences.

Premièrement, j'ai appris à concevoir et adapter des séances d'entraînement pour des jeunes sportifs de haut niveau. J'ai donc pu consolider mes compétences en animation et encadrement de ces mêmes séances, et par la même occasion m'entraîner à communiquer avec des consignes claires et précises.

A travers mon sujet de recherche, j'ai appris à assurer le suivi des athlètes, les évaluer, faire leur profilage, mesurer leur maturation biologique et donc adapter leurs entraînements selon tous ces critères. Cela a bien sûr été possible grâce à l'application athlètes 360 que j'ai eu la chance d'apprendre à utiliser.

Durant ce stage, j'ai aussi eu l'occasion d'apprendre à utiliser tout le matériel du réseau Grand INSEP dans un objectif d'entraînement et d'évaluation. J'ai d'ailleurs aussi appris à rendre compte de leurs résultats aux athlètes et donc à vulgariser mes connaissances afin qu'ils puissent comprendre.

Par ma mission qui était d'assurer le suivi des joueurs sur l'application, j'ai pu apprendre à coordonner le suivi entre les athlètes, entraîneurs, préparateurs physiques et unité médicale. Cela aussi m'a permis de développer mes compétences de communication afin que tout le monde puisse se comprendre.

Enfin, ce mémoire m'a permis d'apprendre à mener un projet de recherche à son terme, d'apprendre à rechercher juste, de me former aux sciences de l'entraînement. Cela m'a donc permis d'acquérir des connaissances et de devenir plus expert dans l'optimisation de la performance sportive. Pour finir, la dernière compétence que j'ai pu acquérir a été de m'épanouir en apprenant auprès de l'univers du haut niveau et de son organisation.