

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

Université Claude Bernard  Lyon 1

UFR de MEDECINE LYON-EST

ANNEE 2017

N° 404

EVALUATION ISOCINETIQUE ET RISQUE DE BLESSURES CHEZ LES MONITEURS DE SKI

THESE D'EXERCICE EN MEDECINE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
Et soutenue publiquement **le 14 décembre 2017**
En vue d'obtenir le titre de Docteur en Médecine

Par

JULIANA MOUTAL BOYER
Née à Lyon le 11 juillet 1989

Sous la direction du Docteur MARINE RACINAIS ALHAMMOUD

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

Président Frédéric FLEURY

Président du Comité de Coordination
des Etudes Médicales Pierre COCHAT

Directrice Générale des Services Dominique MARCHAND

Secteur Santé

UFR de Médecine Lyon Est Doyen : Gilles RODE

UFR de Médecine Lyon Sud-
Charles Mérieux Doyen : Carole BURILLON

Institut des Sciences Directrice : Christine VINCIGUERRA
Pharmaceutiques Et Biologiques (ISPB)

UFR d'Odontologie Directeur : Denis BOURGEOIS

Institut des Sciences et Techniques
De Réadaptation (ISTR) Directeur : Xavier PERROT

Département de Biologie Humaine Directrice : Anne-Marie SCHOTT

Secteur Sciences et Technologie

UFR de Sciences et Technologies Directeur : Fabien de MARCHI

UFR de Sciences et Techniques des
Activités Physiques et Sportives (STAPS) Directeur : Yannick VANPOULLE

Polytech Lyon Directeur : Emmanuel PERRIN

I.U.T. Directeur : Christophe VITON

Institut des Sciences Financières
Et Assurances (ISFA) Directeur : Nicolas LEBOISNE

Observatoire de Lyon Directrice : Isabelle DANIEL

Ecole Supérieure du Professorat
Et de l'Education (ESPE) Directeur : Alain MOUGNIOTTE

Faculté de Médecine Lyon Est Liste des enseignants 2016/2017

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Classe exceptionnelle Echelon 2

Blay	Jean-Yves	Cancérologie ; radiothérapie
Cochat	Pierre	Pédiatrie
Cordier	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
Etienne	Jérôme	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Gouillat	Christian	Chirurgie digestive
Guérin	Jean-François	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
Mornex	Jean-François	Pneumologie ; addictologie
Ninet	Jacques	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillessement ; médecine générale ; addictologie
Philip	Thierry	Cancérologie ; radiothérapie
Ponchon	Thierry	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Revel	Didier	Radiologie et imagerie médicale
Rivoire	Michel	Cancérologie ; radiothérapie
Rudigoz	René-Charles	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Thivolet-Bejui	Françoise	Anatomie et cytologie pathologiques
Vandenesch	François	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Classe exceptionnelle Echelon 1

Borson-Chazot	Françoise	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
Chassard	Dominique	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Claris	Olivier	Pédiatrie
D'Amato	Thierry	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
Delahaye	François	Cardiologie
Denis	Philippe	Ophtalmologie
Disant	François	Oto-rhino-laryngologie
Douek	Philippe	Radiologie et imagerie médicale
Ducerf	Christian	Chirurgie digestive
Finet	Gérard	Cardiologie
Gaucherand	Pascal	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Guérin	Claude	Réanimation ; médecine d'urgence
Herzberg	Guillaume	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Honnorat	Jérôme	Neurologie
Lachaux	Alain	Pédiatrie
Lehot	Jean-Jacques	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Lermusiaux	Patrick	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Lina	Bruno	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Martin	Xavier	Urologie
Mellier	Georges	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Mertens	Patrick	Anatomie
Michallet	Mauricette	Hématologie ; transfusion
Miossec	Pierre	Immunologie
Morel	Yves	Biochimie et biologie moléculaire

Moulin	Philippe	Nutrition
Négrier	Sylvie	Cancérologie ; radiothérapie
Neyret	Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
Nighoghossian	Norbert	Neurologie
Ninet	Jean	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Obadia	Jean-François	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Ovize	Michel	Physiologie
Rode	Gilles	Médecine physique et de réadaptation
Terra	Jean-Louis	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
Zoulim	Fabien	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers
Première classe

André-Fouet	Xavier	Cardiologie
Argaud	Laurent	Réanimation ; médecine d'urgence
Badet	Lionel	Urologie
Barth	Xavier	Chirurgie générale
Bessereau	Jean-Louis	Biologie cellulaire
Berthezene	Yves	Radiologie et imagerie médicale
Bertrand	Yves	Pédiatrie
Boillot	Olivier	Chirurgie digestive
Braye	Fabienne	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
Breton	Pierre	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Chevalier	Philippe	Cardiologie
Colin	Cyrille	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Colombel	Marc	Urologie
Cottin	Vincent	Pneumologie ; addictologie
Devouassoux	Mojgan	Anatomie et cytologie pathologiques
Di Fillipo	Sylvie	Cardiologie
Dumontet	Charles	Hématologie ; transfusion
Durieu	Isabelle	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie
Edery	Charles Patrick	Génétique
Fauvel	Jean-Pierre	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
Guenot	Marc	Neurochirurgie
Gueyffier	François	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
Guibaud	Laurent	Radiologie et imagerie médicale
Javouhey	Etienne	Pédiatrie
Juillard	Laurent	Néphrologie
Jullien	Denis	Dermato-vénéréologie
Kodjikian	Laurent	Ophtalmologie
Krolak Salmon	Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie
Lejeune	Hervé	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
Mabrut	Jean-Yves	Chirurgie générale
Merle	Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Mion	François	Physiologie
Morelon	Emmanuel	Néphrologie
Mure	Pierre-Yves	Chirurgie infantile
Négrier	Claude	Hématologie ; transfusion
Nicolino	Marc	Pédiatrie
Picot	Stéphane	Parasitologie et mycologie

Rouvière	Olivier	Radiologie et imagerie médicale
Roy	Pascal	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
Ryvlin	Philippe	Neurologie
Saoud	Mohamed	Psychiatrie d'adultes
Schaeffer	Laurent	Biologie cellulaire
Scheiber	Christian	Biophysique et médecine nucléaire
Schott-Pethelaz	Anne-Marie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Tilikete	Caroline	Physiologie
Truy	Eric	Oto-rhino-laryngologie
Turjman	Francis	Radiologie et imagerie médicale
Vallée	Bernard	Anatomie
Vanhems	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Vukusic	Sandra	Neurologie

Professeurs des Universités – Praticiens Hospitaliers Seconde Classe

Ader	Florence	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
Aubrun	Frédéric	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Boussel	Loïc	Radiologie et imagerie médicale
Calender	Alain	Génétique
Chapurlat	Roland	Rhumatologie
Charbotel	Barbara	Médecine et santé au travail
Chêne	Gautier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Cotton	François	Radiologie et imagerie médicale
Crouzet	Sébastien	Urologie
Dargaud	Yesim	Hématologie ; transfusion
David	Jean-Stéphane	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Di Rocco	Federico	Neurochirurgie
Dubernard	Gil	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Ducray	François	Neurologie
Dumortier	Jérôme	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Fanton	Laurent	Médecine légale
Fellahi	Jean-Luc	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Ferry	Tristan	Maladie infectieuses ; maladies tropicales
Fourmeret	Pierre	Pédopsychiatrie ; addictologie
Gillet	Yves	Pédiatrie
Girard	Nicolas	Pneumologie
Gleizal	Arnaud	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Henaine	Roland	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
Hot	Arnaud	Médecine interne
Huissoud	Cyril	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
Jacquín-Courtois	Sophie	Médecine physique et de réadaptation
Janier	Marc	Biophysique et médecine nucléaire
Lesurtel	Mickaël	Chirurgie générale
Michel	Philippe	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Million	Antoine	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
Monneuse	Olivier	Chirurgie générale
Nataf	Serge	Cytologie et histologie
Peretti	Noël	Nutrition
Pignat	Jean-Christian	Oto-rhino-laryngologie
Poncet	Gilles	Chirurgie générale
Raverot	Gérald	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
Ray-Coquard	Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie

Rheims	Sylvain	Neurologie
Richard	Jean-Christophe	Réanimation ; médecine d'urgence
Robert	Maud	Chirurgie digestive
Rossetti	Yves	Physiologie
Souquet	Jean-Christophe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Thaumat	Olivier	Néphrologie
Thibault	Hélène	Physiologie
Wattel	Eric	Hématologie ; transfusion

Professeur des Universités - Médecine Générale

Flori	Marie
Letrilliart	Laurent
Moreau	Alain
Zerbib	Yves

Professeurs associés de Médecine Générale

Lainé	Xavier
-------	--------

Professeurs émérites

Baulieux	Jacques	Cardiologie
Beziat	Jean-Luc	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
Chayvialle	Jean-Alain	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Daligand	Liliane	Médecine légale et droit de la santé
Droz	Jean-Pierre	Cancérologie ; radiothérapie
Floret	Daniel	Pédiatrie
Gharib	Claude	Physiologie
Mauguière	François	Neurologie
Neidhardt	Jean-Pierre	Anatomie
Petit	Paul	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Sindou	Marc	Neurochirurgie
Touraine	Jean-Louis	Néphrologie
Trepo	Christian	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
Trouillas	Jacqueline	Cytologie et histologie
Viale	Jean-Paul	Réanimation ; médecine d'urgence

Maîtres de Conférence – Praticiens Hospitaliers

Hors classe

Benchaib	Mehdi	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
Bringuier	Pierre-Paul	Cytologie et histologie
Dubourg	Laurence	Physiologie
Germain	Michèle	Physiologie
Jarraud	Sophie	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Le Bars	Didier	Biophysique et médecine nucléaire
Normand	Jean-Claude	Médecine et santé au travail
Persat	Florence	Parasitologie et mycologie
Piaton	Eric	Cytologie et histologie

Sappey-Marinier	Dominique	Biophysique et médecine nucléaire
Streichenberger	Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
Timour-Chah	Quadiri	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
Voiglio	Eric	Anatomie

Maîtres de Conférence – Praticiens Hospitaliers
Première classe

Barnoud	Raphaëlle	Anatomie et cytologie pathologiques
Bontemps	Laurence	Biophysique et médecine nucléaire
Chalabreysse	Lara	Anatomie et cytologie pathologiques
Charrière	Sybil	Nutrition
Collardeau Frachon	Sophie	Anatomie et cytologie pathologiques
Confavreux	Cyrille	Rhumatologie
Cozon	Grégoire	Immunologie
Escuret	Vanessa	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Hervieu	Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
Kolopp-Sarda	Marie Nathalie	Immunologie
Lesca	Gaëtan	Génétique
Lukaszewicz	Anne-Claire	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Maucort Boulch	Delphine	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
Meyronet	David	Anatomie et cytologie pathologiques
Pina-Jomir	Géraldine	Biophysique et médecine nucléaire
Plotton	Ingrid	Biochimie et biologie moléculaire
Rabilloud	Muriel	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
Rimmele	Thomas	Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence
Ritter	Jacques	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Roman	Sabine	Physiologie
Tardy Guidollet	Véronique	Biochimie et biologie moléculaire
Tristan	Anne	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Venet	Fabienne	Immunologie
Vlaeminck-Guillem	Virginie	Biochimie et biologie moléculaire

Maîtres de Conférences – Praticiens Hospitaliers
Seconde classe

Casalegno	Jean-Sébastien	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
Curie	Aurore	Pédiatrie
Duclos	Antoine	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
Lemoine	Sandrine	Physiologie
Marignier	Romain	Neurologie
Phan	Alice	Dermato-vénéréologie
Schluth-Bolard	Caroline	Génétique
Simonet	Thomas	Biologie cellulaire
Vasiljevic	Alexandre	Anatomie et cytologie pathologiques

Maîtres de Conférences associés de Médecine Générale

Farge	Thierry
Pigache	Christophe

Le Serment d'Hippocrate

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans discrimination.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance.

Je donnerai mes soins à l'indigent et je n'exigerai pas un salaire au dessus de mon travail.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement la vie ni ne provoquerai délibérément la mort.

Je préserverai l'indépendance nécessaire et je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je perfectionnerai mes connaissances pour assurer au mieux ma mission.

**Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.
Que je sois couvert d'opprobre et méprisé si j'y manque.**

REMERCIEMENTS

A Mme le Professeur Elvire SERVIEN,
Merci d'avoir accepté de présider le jury de ma thèse.

A Monsieur le Professeur Michel-Henri FESSY,
Merci de l'intérêt que vous avez porté à ma thèse.

A Monsieur le Professeur Karim TAZAROURTE,
Merci de faire partie du jury de cette thèse.

A Mme le Docteur Marine RACINAIS ALHAMMOUD,
Merci pour ton soutien rigoureux, ta patience et ton aide tout au long de ce travail.

A Mr le Docteur Nicolas BOUSCAREN,
Merci de tes conseils et de ta relecture.

A Mr Régis MECCA,
Merci de ton aide pour la réalisation des tests isocinétiques.

A toute l'équipe du PAF, coaches et skieurs,
Merci de m'avoir permis de réaliser ma thèse avec vous.

A tous les médecins et les équipes rencontrés pendant mon cursus, qui m'ont transmis les valeurs fondamentales pour la vie et la médecine.

A ma famille et mes amis, dont le soutien a été essentiel pendant ces années.

Table des matières

PARTIE I : CONTEXTE ET REVUE DE LITTERATURE.....	4
I. LE SKI ALPIN	4
A. Le ski alpin : une discipline ancienne largement pratiquée.....	4
B. Types, localisations et mécanismes des blessures en ski alpin.	5
C. Facteurs de risque des blessures en ski alpin.	7
II. L'ISOCINETISME	8
A. Définition.....	8
B. Utilisation des tests isocinétiques dans l'évaluation musculaire du sportif.....	9
C. Isocinétisme et prévention des blessures, applications en ski alpin	11
III. LA FATIGUE	13
A. Définition.....	13
B. Physiologie.....	15
C. Méthodes d'évaluation.....	18
D. Conséquences de la fatigue en ski.....	19
PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE.....	20
I. Introduction	20
II. Matériel et Méthodes	21
A. Schéma d'étude.....	21
1. Population	21
2. Période d'étude.....	21
3. Déroulement de la recherche	22
4. Information des personnes concernées	22
B. Variables recueillies	22
1. Tests isocinétiques	22
2. Questionnaires de Hooper.....	24
3. Questionnaires de dépistage du surentrainement de la SFMES.....	24
4. Blessures.....	24
C. Analyse statistique.....	26
D. Considérations éthiques et réglementaires.....	28
III. RESULTATS	29
A. Modélisation de la survenue des blessures dans la population décrite.....	29
B. Suivi de la population	30
C. Données anthropométriques.....	31

D. TESTS ISOCINETIQUES.....	31
1. Moment de force (ou pic de force maximal)	31
2. Angle d'efficacité maximal	32
3. Ratios conventionnels et fonctionnels	33
4. Indice de fatigue et travail	34
E. CIRCONSTANCES DES BLESSURES.....	36
1. Circonstances de l'accident et conditions météorologiques.....	36
2. Diagnostique des blessures.....	36
F. QUESTIONNAIRES DE HOOPER ET DE LA SFMES	39
1. Questionnaires de Hooper.....	39
2. Questionnaires de la SFMES	40
 IV. DISCUSSION.....	 41
A. Paramètres isocinétiques	41
1. Moment de force.....	41
2. Angle d'efficacité maximale.....	42
3. Ratios IJ/Q.....	42
4. Indice de fatigue.....	44
B. Blessures et Fatigue.....	44
1. Circonstances de l'accident et diagnostique des blessures	44
2. Facteurs liés au skieur.....	45
3. Questionnaires de Hooper et de la SFMES.....	46
C. Impact de l'étude.....	47
D. Limites et perspectives.....	48
 V. CONCLUSIONS	 49
 VI. BIBLIOGRAPHIE.....	 51
 VII. ANNEXES.....	 59

Liste des abréviations

AEM: angle d'efficacité maximale

AIC : de l'anglais *Akaike information criterion*, critère d'information d'Akaike

CMV: contraction maximale volontaire

Con: concentrique

EMG: électromyogramme

Exc : excentrique

FIS : fédération internationale de ski

Fmax : moment de force maximal

GS : slalom géant

HHS : hypothalamo-hypophysosurrénalien

IJ: ischio-jambiers

IJ/Q : ischio-jambiers/quadriceps

LCA: ligament croisé antérieur

MI : membre inférieur

OR : odd-ratio

Q: quadriceps

RC: ratio conventionnel

RF : ratio fonctionnel

RFD : de l'anglais *rate of force development*, taux de développement de la force

RFEG: ratio fonctionnel de l'extension du genou

RFFG: ratio fonctionnel de la flexion du genou

RMS : de l'anglais *root mean square*, moyenne quadratique

SFMES : société française de médecine de l'exercice et du sport

SG : super G

SL : slalom

SPM : de l'anglais *statistical parametric mapping*, cartographie statistique paramétrique

SD : déviation standard, de l'anglais *standard deviation*

TL : de l'anglais *time loss*, indisponibilité (pour l'activité sportive)

PARTIE I : CONTEXTE ET REVUE DE LITTERATURE

I. LE SKI ALPIN

A. Le ski alpin : une discipline ancienne largement pratiquée.

Le ski alpin est un sport de glisse à la fois populaire et traumatogène. Si le ski est un moyen de locomotion depuis des millénaires, il ne devient un sport qu'à partir de la fin du XIX^{ème} siècle, où les premières courses sont organisées en Norvège. Le XX^{ème} siècle a vu le développement du ski alpin en compétition, qui regroupe cinq épreuves : la descente, le slalom spécial, le slalom géant, le super combiné et le super géant. L'essor des stations de sports d'hiver a démocratisé la discipline, pratiquée chaque année par plus de 8 millions d'adeptes.

La musculature des membres inférieurs et notamment des muscles de la cuisse est essentielle en ski alpin (1) et quelle que soit la discipline pratiquée, le modèle d'activation musculaire est similaire. Les forces musculaires développées au moment du virage sont à un niveau maximal ou supra maximal (2): les ischio-jambiers (IJ) (biceps fémoral, semi-tendineux, semi-membraneux) se contractent en premier lors de l'initiation du virage (flexion du genou), rapidement suivis par le quadriceps (Q), qui est particulièrement sollicité au moment où les forces externes centrifuges et gravitationnelles agissent dans les mêmes directions et sont donc les plus fortes (3). La charge musculaire dépend de la force d'accélération, qui est proportionnelle à la masse et à la vitesse du skieur, et inversement proportionnelle au rayon du virage (4).

Les études dynamiques réalisées avec des électromyogrammes (EMG) ont montré que l'amplitude pic de l'activité musculaire dépassait 150% de la contraction maximale volontaire (CMV) pour les muscles vaste médial, vaste latéral, biceps fémoral, gluteus maximus, et adducteurs. Une co-contraction du Q et des IJ existe pendant tout le mouvement, et contribue à maintenir l'équilibre et à stabiliser le genou tout en résistant à d'importantes forces externes (5). Lors du virage, les muscles extenseurs du genou les plus sollicités sont ceux de la jambe extérieure (aval). Des vitesses angulaires lentes sont retrouvées au niveau du genou (de 20 à 50°/sec), et la phase d'activation excentrique est plus longue que la phase d'activation

concentrique. De plus, la puissance développée lors de l'activation excentrique est plus importante que celle développée lors de l'activation concentrique. Le ski alpin est donc une discipline dominée par des contractions musculaires excentriques lentes (6). Le fait que l'activité excentrique du quadriceps domine sur l'activité concentrique s'explique notamment par le fait que le skieur évolue le long d'une pente qui lui permet de gagner de la vitesse et de l'énergie cinétique. Ces dernières le soumettent à des forces compressives importantes. De plus, la fatigue musculaire est moindre lors des contractions excentriques, qui consomment moins d'énergie et fournissent un meilleur rendement activité musculaire / force développée que les contractions concentriques, ce qui permet au skieur de maintenir une haute intensité musculaire tout au long de la course (4).

B. Types, localisations et mécanismes des blessures en ski alpin.

Le ski alpin étant une discipline technique à haut risque de chutes, il est à l'origine de nombreuses blessures, au niveau amateur ou professionnel. Quel que soit le niveau de ski, la localisation des blessures est similaire, et les atteintes du genou dominant de loin toute la traumatologie (figure 1 et figure 2).

Chez les skieurs de haut niveau, 38,2 % des blessures sont définies comme sévères, c'est-à-dire responsables d'une absence à l'entraînement supérieure à 28 jours (7). La fréquence et la gravité des lésions du genou justifient le fait que l'on s'intéresse à la prévention de ces blessures (8), en étudiant les mécanismes lésionnels et les facteurs de risque qui en sont à l'origine (9).

LOCALISATIONS DES BLESSURES EN SKI ALPIN CHEZ LES SKIEURS AMATEURS

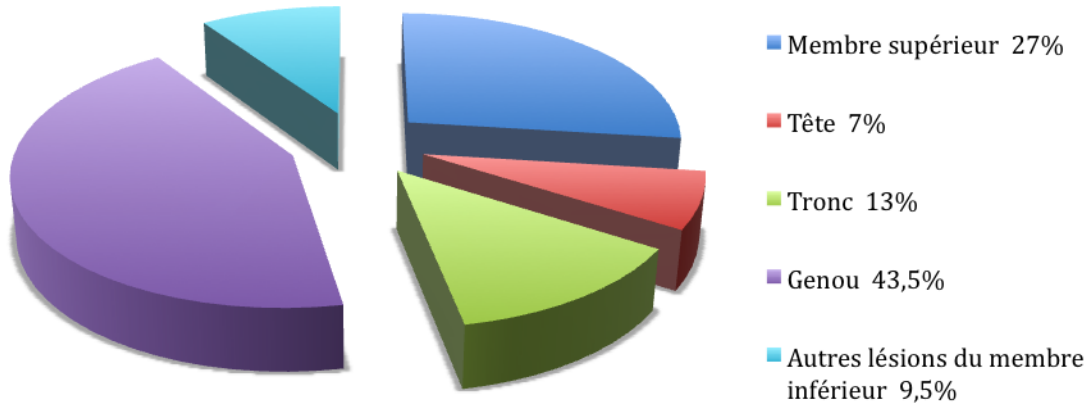


Figure 1 : Localisations des blessures en ski alpin sur un échantillon de 17430 pratiquants loisirs. Dossier de presse hiver 2014-2015, médecins de montagne.(10)

LOCALISATIONS DES BLESSURES EN SKI ALPIN CHEZ LES SKIEURS PROFESSIONNELS

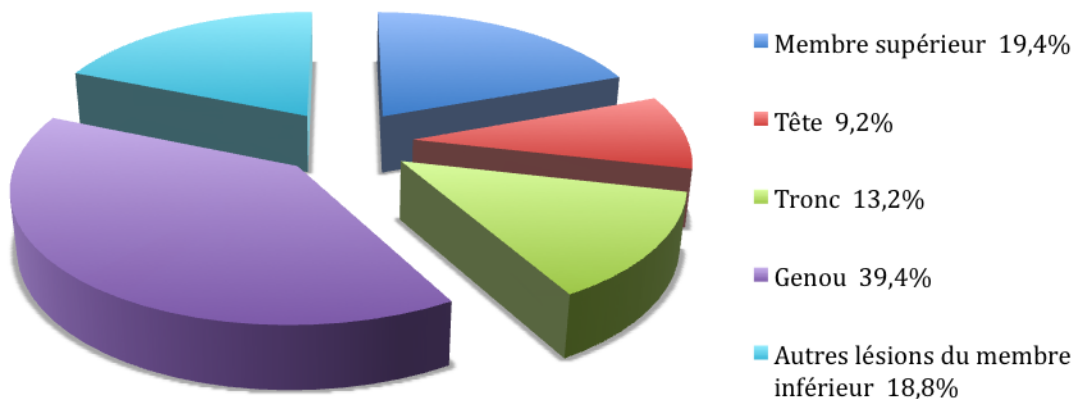


Figure 2 : Localisations des blessures en ski alpin de 2006 à 2015, chez les skieurs de haut niveau. Rapport de la FIS.(7)

Si les localisations des blessures ne semblent pas différer selon le niveau de pratique, des mécanismes lésionnels distincts ont été décrits et certains sont plus spécifiques au haut niveau (11):

- « slip-catch » : lors d'un virage, le skieur perd l'appui de son ski extérieur. Afin de retrouver le contact avec la neige, il étend le genou. La carre interne du ski extérieur raccroche brutalement la neige, forçant le genou en valgus et rotation interne.
- « landing back-weighted » : le skieur se réceptionne d'un saut en déséquilibre arrière, les jambes presque tendues. Tout le poids du skieur est alors sur l'arrière des skis. Les auteurs suggèrent que la blessure survient lorsque le skieur tente de retrouver son équilibre, il se produit alors une compression tibio-fémorale associée à une translation antérieure du tibia sur le fémur.
- « dynamic snowplow » : le skieur présente un déséquilibre arrière et met plus d'appui sur un ski. Le ski non chargé dévie, et le ski chargé passe de la carre externe à la carre interne, forçant le genou en valgus rotation interne. La position des skis au moment de la blessure ressemble à la position du chasse-neige, d'où le terme « dynamic snowplow » (chasse-neige dynamique).

C. Facteurs de risque des blessures en ski alpin.

Les facteurs de risque de blessures ont été décrits dans plusieurs études (12–15) et peuvent être classés en deux catégories :

- Les facteurs externes/extrinsèques, tels que l'équipement du sportif, l'entraînement, l'environnement (météo, conditions d'enneigement, difficulté de la course). Des programmes de prévention des blessures ont ainsi été mis en place avec succès, débouchant notamment sur la modification de l'équipement (fixations permettant de déchausser plus facilement, modification de la forme des chaussures de ski) (16). La FIS s'est intéressée à l'impact de certains paramètres comme le radius du ski (17,18), le tracé des courses (19). Le matériel a été modifié (passage d'un radius de 27m à 35m en 2013-2014. Haaland et al (20) rapportent une baisse du taux total de blessure suite à ces mesures.
- Les facteurs internes/intrinsèques, tels que l'âge, le poids, la masse grasse, les antécédents médico-chirurgicaux, l'état psychologique ou le niveau sportif (condition physique et stratégie : choix de la trajectoire, prise de risque). Parmi ces facteurs, une condition physique

insuffisante et la fatigue (12,21) pourraient être des facteurs de risque de blessure , mais on ne sait pas dans quelle mesure les facteurs physiques et psychologiques peuvent influencer le risque de blessure (22).

Ainsi l'isocinétisme représente un moyen fréquemment employé dans le monde du sport pour mesurer objectivement la force musculaire et cherche à fournir des clés dans l'évaluation des sportifs au regard des blessures.

II.L'ISOCINETISME

A. Définition.

L'isocinétisme désigne un mode de contraction musculaire volontaire dynamique dont la particularité est de se dérouler à vitesse constante, grâce à une résistance auto-adaptée. Cette régulation de vitesse est assurée par un appareil externe, appelé « dynamomètre isocinétique ». La méthode isocinétique permet l'évaluation fonctionnelle d'une articulation (23).

Les appareils d'isocinétisme comprennent trois modules :

- Le dynamomètre, qui assure la constance de la vitesse présélectionnée.
- Les accessoires (sangles...), qui permettent de positionner et de maintenir le sujet afin d'optimiser la reproductibilité des conditions du test.
- Le système informatique, qui enregistre, stocke et traite les données recueillies.

Le patient agit sur un récepteur, son action ne pourra pas dépasser la vitesse programmée sur le dynamomètre isocinétique ; tant que le patient reste en dessous de cette vitesse, il ne rencontre aucune résistance lors du mouvement. L'effort devient significatif dès que le patient atteint la vitesse demandée. La résistance de la machine s'adapte à tout moment à l'effort développé pour maintenir la vitesse constante. De cette manière, il devient possible de connaître,

en tout point du mouvement, la force développée par le patient, avec un moindre risque de lésion musculaire, contrairement au mode isotonique, où la charge reste constante.

Les principaux domaines d'applications des dynamomètres isocinétiques sont :

- L'évaluation musculaire de façon dynamique, en se rapprochant le plus possible du travail physiologique.
- La rééducation (rééquilibrage articulaire).
- Le renforcement musculaire (augmentation des performances).

B. Utilisation des tests isocinétiques dans l'évaluation musculaire du sportif.

Les exercices isocinétiques permettent d'effectuer des contractions musculaires maximales, tout en maintenant une vitesse constante durant l'ensemble du mouvement. Les tests isocinétiques ont pour objectif d'évaluer la force d'un groupe musculaire. Les différentes mesures étudiées sont :

- Le pic de couple (en Newton.mètre): c'est le couple maximal que peut développer le groupe musculaire à la vitesse angulaire examinée.
- Le travail (en joules) : c'est le résultat de la multiplication du couple par la distance angulaire couverte. Les valeurs du travail peuvent être étudiées pour la somme de répétitions individuelles, il représente alors un bon indice de la capacité de résistance du groupe musculaire examiné.
- La puissance (en watts): c'est le travail par unité de temps.
- Le rapport entre les muscles agonistes-antagonistes : il représente l'indice d'équilibre entre les groupes musculaires examinés durant les exercices isocinétiques, à condition que les muscles aient des fonctions antagonistes.

Ces mesures permettent des comparaisons entre un membre par rapport au membre controlatéral afin de rechercher une asymétrie, l'analyse des muscles agonistes et antagonistes d'un même membre (par exemple : IJ/Q), l'analyse d'un individu par rapport à une population de même âge ou de même niveau sportif.

La relation entre muscles agonistes et antagonistes a d'abord été décrite par un ratio dit conventionnel, calculé en divisant la force maximale concentrique (con) des ischio-jambiers par la force maximale concentrique du quadriceps, mesurées à la même vitesse angulaire et dans le même mode de contraction (IJ_{CON}/Q_{CON}). Mais la relation entre IJ et Q lors de la flexion ou de l'extension du genou serait mieux décrite par des ratios fonctionnels (24). Le ratio fonctionnel représentant la flexion du genou (RFFG) est calculé en divisant la force maximale développée par les IJ en mode concentrique par la force maximale développée par le Q en mode excentrique (IJ_{CON}/Q_{EXC}), mesurées à la même vitesse angulaire. Le ratio fonctionnel représentant l'extension du genou (RFEG) est calculé en divisant la force maximale développée par les IJ en mode excentrique par la force maximale développée par le Q en mode concentrique (IJ_{EXC}/Q_{CON}). Ce ratio serait un indicateur de la capacité des IJ à contrecarrer la translation tibiale antérieure induite par la contraction maximale du Q. Ce ratio fonctionnel (IJ_{EXC}/Q_{CON}) a une valeur proche de 1 lors d'une extension rapide du genou, et la force maximale développée par les IJ en mode excentrique est donc similaire à celle développée par le Q en mode concentrique, ce qui contribue à la stabilisation du genou (25).

Cette capacité à stabiliser l'articulation est augmentée après un entraînement imposant une haute résistance aux IJ, et il a été suggéré que l'un des objectifs pour la protection et la rééducation du ligament croisé antérieur (LCA) serait d'augmenter la force maximale excentrique des IJ (25). De plus, cela permettrait aussi de diminuer l'incidence des déchirures musculaires des IJ, fréquemment lésés lors de contractions excentriques. Les IJ précédemment blessés présentent leur pic de couple à une longueur musculaire plus courte, décalant l'angle d'efficacité maximal (AEM), ce qui les rend plus vulnérables à une nouvelle blessure. Un programme de renforcement musculaire excentrique permettrait de diminuer l'incidence des déchirures, l'hypothèse étant que les muscles s'adaptent à l'exercice excentrique en augmentant leur nombre de sarcomères en série dans les fibres musculaires (26). Un renforcement excentrique des IJ modifie l'angle d'efficacité maximale (27). Cet angle est considéré comme un facteur de risque de blessure (28).

C. Isocinétisme et prévention des blessures, applications en ski alpin

La grande fréquence des lésions du genou en ski alpin et notamment les lésions du LCA justifient les nombreuses études centrées sur cette articulation.

De façon générale, la coactivation du Q et des IJ est importante pour la stabilité du genou (29). Les faiblesses et les déséquilibres musculaires favoriseraient l'apparition de blessures et leur récurrence (30,31). Identifier les déficits musculaires est important, car la coordination entre les IJ et le Q a un rôle dans la protection du LCA en ski alpin (32). Ainsi, l'entraînement neuromusculaire, en corrigeant les déficits musculaires des IJ et des Q et en rééquilibrant ces groupes musculaires, permet d'augmenter la stabilité du genou lors des mouvements, et diminuerait le risque de blessures (16,33–35).

Les asymétries bilatérales sont définies selon les critères proposés par Sapega (36): un déficit inférieur à 10% par rapport à la jambe la plus forte peut être considéré comme négligeable. Un déficit entre 10% et 20% peut être pathologique. Au-delà de 20%, il est très probablement anormal. Pour définir les seuils des ratios, on peut utiliser les critères de Croisier (30): le ratio conventionnel IJ_{CON}/Q_{CON} à 60°/s est considéré comme pathologique s'il est inférieur à 0,47, et le ratio fonctionnel IJ_{EXC} à 30°/s/ Q_{CON} à 240°/s s'il est inférieur à 0,8.

Sur le plan biomécanique, la contraction du Q génère une translation antérieure de l'extrémité proximale du tibia sous le fémur, source de contraintes sur le LCA. Ce mécanisme est appelé « tiroir antérieur ». La contraction des IJ s'opposant au tiroir antérieur, ce groupe musculaire reçoit régulièrement le qualificatif d'agoniste du LCA. Sur le plan fonctionnel, lorsqu'ils travaillent en mode excentrique, les IJ assurent un rôle freinateur évitant l'hyperextension du genou lors d'un mouvement rapide d'extension de cette articulation sous l'action d'une contraction quadricipitale. Ils ont donc un rôle stabilisateur important dans les mouvements d'extension rapide, ainsi que dans le contrôle rotatoire dynamique du genou (25). Cette fonction protectrice des IJ justifie l'évaluation excentrique de ce groupe musculaire. Une réduction de la force musculaire des IJ par rapport au Q, majorée chez les athlètes présentant des quadriceps hypertrophiés, favoriserait le risque de lésion du LCA (37,38). Une insuffisance excentrique des IJ par rapport à l'action motrice du Q génère un déséquilibre agoniste/antagoniste (rapport IJ/Q bas), ce qui pourrait favoriser les blessures de jambe (39,40). Un certain nombre

d'études ont tenté de mettre en évidence une prédisposition à la rupture du LCA en fonction d'un éventuel déficit des fléchisseurs, et un rapport IJ/Q plus faible a été retrouvé chez des footballeuses ayant présenté secondairement une rupture du LCA (toutes avaient un ratio IJcon/Qcon à 90°/s inférieur à 55%) (40).

- Isocinétisme et screening de prévention des blessures :

Pour Van Dyck et al. (41) il n'est pas possible de prédire les joueurs professionnels à risque de lésion des IJ grâce aux tests isocinétiques. Cette étude retrouvait une faible association entre une faible force excentrique des IJ et la survenue des blessures chez des footballeurs. L'utilisation des ratios IJ/Q pour prédire les blessures du genou ou des IJ est encore débattue. Certaines études rapportent une corrélation entre le ratio IJ/Q et les lésions des IJ ou du LCA : Yeung et Suen (42) ont retrouvé chez des sprinters qu'un ratio conventionnel IJ/Q à 180°/s inférieur à 0.60 multipliait par 17 le risque de blessure des IJ. Pour Dauty et al (43) ce même ratio IJ/Q inférieur à 0,47 serait prédictif d'une lésion des IJ, alors que d'autres ne retrouvent aucune association (41,44,45).

- Isocinétisme et ski :

Dès 1980, Haymes & Dickinson (46) décrivent les tests isocinétiques des skieurs alpins à 30°/s et 180°/s. Ils remarquent que le pic de force normalisé des femmes est inférieur à celui des hommes, et que les skieurs les moins fatigables sont aussi les plus performants en compétition. Neumayr et al (47) décrivent les pics de force maximaux des skieurs de l'équipe nationale d'Autriche. Ils ne retrouvent pas d'asymétrie entre leurs membres inférieurs, et calculent des ratios IJ/Q compris entre 0.57 et 0.60. Jordan retrouve aussi que les skieurs non blessés n'ont pas d'asymétrie musculaire entre leurs membres inférieurs. Par contre, il retrouve un déficit musculaire significatif du Q après chirurgie du LCA, et par conséquent, l'augmentation du ratio IJ/Q chez les skieurs qui ont été blessés. Il signale l'importance de l'identification des déficits musculaires chez les skieurs de très haut niveau, afin de prévenir les blessures et de maximiser les performances (48).

Spring et Jordan (49) réalisent des tests isocinétiques dans le but d'identifier les changements induits par l'entraînement. Chez des skieurs japonais, Abe et al (1) constatent que

seule la force excentrique des IJ et du Q est supérieure chez les skieurs de très haut niveau versus des skieurs moins expérimentés, suggérant une corrélation à la performance.

Koutedakis et al (50) comparent les tests isocinétiques de skieurs élites réalisés en début, milieu et fin de saison : les pics de force maximaux diminuent en fin de saison, ce qui suggère l'intérêt de réaliser des programmes de renforcement musculaire adaptés au cours de la saison. Gross et al (51) montrent l'intérêt d'un travail musculaire excentrique sur bicyclette ergométrique, qui présente l'avantage de mimer les actions musculaires nécessaires en ski alpin.

Récemment, une analyse descriptive dynamique des paramètres isocinétiques a été réalisée en équipe de France. Les principaux résultats montrent que les ratios conventionnels des pics de couples maximaux (RCmax) à 60°/s retrouvés chez les femmes étaient plus faibles que chez les hommes ; par contre, le ratio fonctionnel des pics de couples maximaux (RFmax) à 90°/s (IJexc/ Qcon) ne permettait pas de mettre en évidence de différence selon les sexes. Ce travail critique surtout l'application clinique des ratios conventionnels et fonctionnels classiques, et montre l'intérêt d'analyser toute la courbe des ratios IJ/Q afin d'analyser le ratio de force réel sur toute l'amplitude angulaire du mouvement (52).

Au vu de la littérature, on peut s'interroger sur la relation entre les paramètres isocinétiques et la survenue des blessures chez les skieurs alpins. Il n'existe pas à l'heure actuelle d'étude reliant le risque de blessure en ski alpin avec une évaluation isocinétique en pré-saison.

III. LA FATIGUE

A. Définition

La fatigue peut se définir comme un état résultant de contraintes physiologiques et psychologiques aboutissant à une diminution des performances physiques ou mentales (53). C'est un phénomène multifactoriel (figure 3) réversible, qui dépend de la durée, de l'intensité de l'exercice, et de l'état d'entraînement. Trois contraintes principales semblent concourir pour aboutir à la fatigue : la charge de travail physique, le stress psychologique, et les perturbations du

rythme veille-sommeil. La répétition de contractions musculaires lors d'exercices maximaux ou sous-maximaux s'accompagne généralement d'une fatigue musculaire qui se traduit par la réduction de la capacité d'un groupe musculaire à produire une force ou une puissance et ce, que l'exercice puisse être maintenu ou non (54).

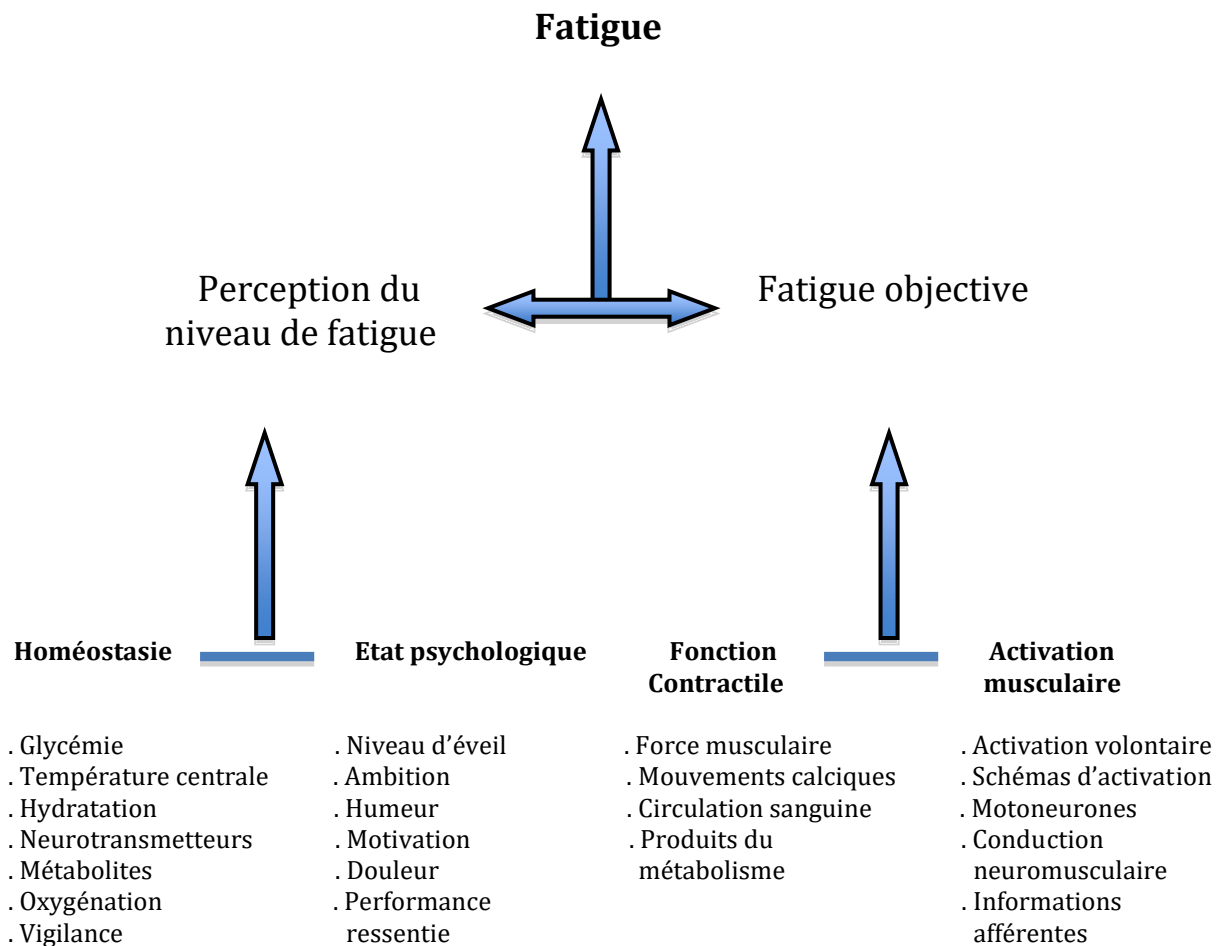


Figure 3 : d'après Enoka , «Translating Fatigue to Human Performance » (2015, congrès de l'ACAPS, Nantes)

La fatigue qui intéresse les sportifs est une fatigue aiguë qui affecte les individus sains, elle a des origines identifiables et est perçue comme ‘normale’. Elle apparaît rapidement et est de courte durée lorsque l’individu peut se reposer. La fatigue a ici un rôle protecteur puisqu’elle avertit l’individu de la nécessité de récupérer. Elle peut s’installer de façon chronique dans le syndrome de surentrainement, dans ce cas elle devient pathologique (55).

Le surentrainement est un état d’épuisement qui résulte de l’accumulation de stress sportifs et non-sportifs. Il se traduit par une diminution prolongée de la capacité de performance, avec ou sans symptômes physiologiques et psychologiques (56). Le surentrainement se caractérise par une fatigue cumulative qui persiste même après les périodes de récupération, pendant plusieurs semaines ou mois. Le symptôme le plus commun est la fatigue, mais l’athlète peut aussi présenter des troubles de l’humeur, des troubles du sommeil, des troubles du comportement alimentaire, et perdre son enthousiasme pour le sport et la compétition. L’état de bien-être au repos et la perception de la difficulté de l’effort sont significativement dégradés chez les sujets surentrainés (57). Les symptômes physiques incluent une persistance des douleurs musculaires, une augmentation de la fréquence des maladies virales (58) et une augmentation de l’incidence des blessures (59).

B. Physiologie

On parle de fatigue centrale lorsque les mécanismes à l’origine de la diminution de force se situent avant la jonction neuromusculaire (diminution de la stimulation par le motoneurone), et de fatigue périphérique lorsqu’ils se situent après la jonction neuromusculaire (60).

La fatigue résultant du travail musculaire a trois composantes :

- Composante périphérique métabolique (phénomènes métaboliques et ioniques résultant du travail musculaire, se traduisant par une diminution de la capacité contractile des muscles squelettiques). Pour des exercices courts et intenses, trois éléments concourent à la diminution des capacités contractiles du muscle squelettique, qui sont la modulation des réserves en phosphagènes (accumulation intramusculaire du phosphore inorganique), les modifications des équilibres ioniques (augmentation du potassium extracellulaire et diminution du recaptage du calcium), et l’acidose, conséquence de la glycolyse (61). Pour des efforts longs, le facteur

principal de la fatigue est la diminution des réserves en glycogène musculaire (62) qui joue un rôle à la fois sur la poursuite d'un exercice unique mené jusqu'à épuisement et sur la fatigue chronique résultant d'un entraînement intense (63).

- Composante endocrinienne : sous l'effet de la fatigue, on observe chez l'homme une baisse de la concentration de testostérone, et chez la femme une perturbation du cycle menstruel. Ceci s'explique par l'augmentation des endorphines et du CRH résultant du stress dans le système nerveux central, qui entraîne une diminution de la libération des gonadotrophines hypophysaires.

De plus, la fatigue induit une diminution de la réponse somatotrope, et l'exercice prolongé et intense induit une activation de l'axe hypothalamo-hypophysosurrénalien (HHS) et une augmentation des catécholamines plasmatiques (adrénaline et noradrénaline). On note aussi une augmentation des concentrations plasmatiques de glucocorticoïdes après un exercice court et intense. Mais il semblerait qu'il y ait à la fatigue une diminution de l'ACTH, du cortisol et des catécholamines. Une diminution de l'activité et/ou de la réactivité de l'axe HHS et du système sympatho-médullosurrénalien jouerait un rôle dans la physiopathologie de la fatigue centrale. La physiopathologie des troubles du sommeil, qui sont une cause majeure de fatigue, reste mal connue.

- Composante centrale : des mécanismes neurochimiques déterminent en partie la fatigue centrale, qui sert de support à l'explication des conséquences comportementales de la fatigue. La fatigue résultant de l'exercice musculaire modifie certains comportements, comme une diminution de la capacité de prise d'information et d'interprétation de signaux visuels, une diminution de mémoire à court terme. La fatigue chronique résultant d'un entraînement intense peut être à l'origine d'un état anxieux ou dépressif. Les sujets présentent une sensation de fatigue intense, un ralentissement des activités spontanées, une difficulté de réveil matinal, des troubles du comportement alimentaire (anorexie ou boulimie). Il existe une réduction de la commande motrice due à une baisse de la motivation, à une altération de la transmission de l'influx nerveux au niveau du système nerveux central, ou à une diminution du recrutement des unités motrices. Il est probable que les neuromédiateurs (catécholamine et dopamine) subissent une accélération de leur libération pendant la phase de travail qui pourrait conduire à leur diminution par épuisement des réserves neuronales. Il est possible que la neurochimie de la fatigue soit sous l'influence de plusieurs neuromédiateurs agissant au sein de différentes structures, tels que la sérotonine, le GABA ... (55).

La fatigue apparaît donc comme un phénomène complexe multifactoriel dépendant de plusieurs paramètres physiologiques. Le modèle de la chasse d'eau de Millet (64) schématise le phénomène de la fatigue sous la forme d'une cuvette de toilettes, (Figure 4), avec en son sein un flotteur -1-, qui matérialise la perception du niveau de l'effort. Plus l'exercice est perçu comme pénible, plus le flotteur est haut. Son niveau peut augmenter ou diminuer en fonction du remplissage -2- et de la vidange -3- de la cuvette. Ces deux derniers éléments dépendent de l'intensité de l'effort, mais d'autres paramètres tels que l'état de forme psychophysique, le niveau de courbatures, la quantité de sommeil, les facteurs nutritionnels, les facteurs environnementaux... peuvent influencer le niveau de perception de l'effort pour une même intensité d'exercice. Enfin, une réserve de sécurité -4- subsiste durant l'exercice pour prévenir les dommages physiologiques irréversibles (pour prévenir le débordement de la cuvette).

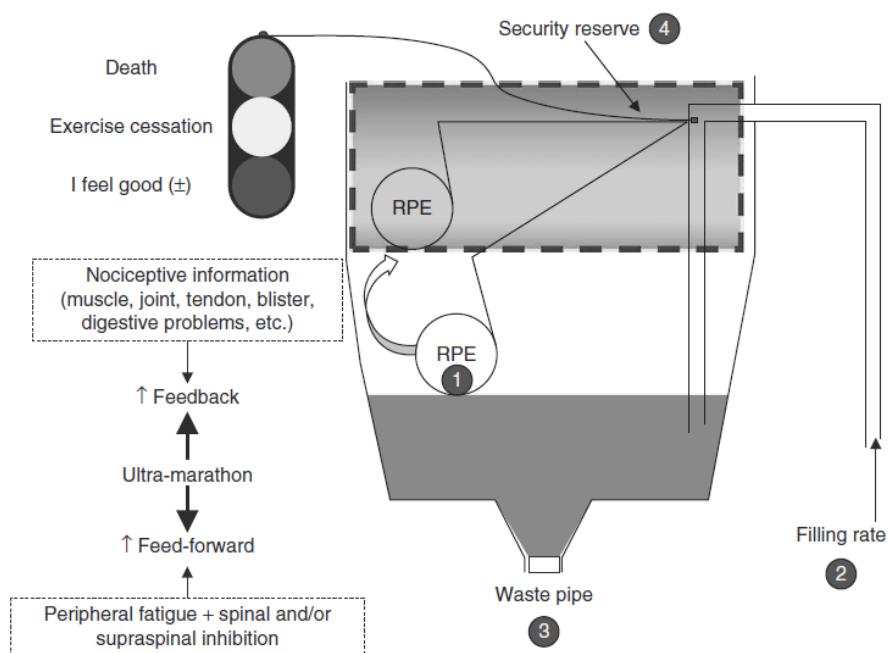


Figure 4: « Le modèle de la chasse d'eau » tirée de **Millet GY. Sports Med.** 2011

C. Méthodes d'évaluation

Etant donné les différentes fibres musculaires (rapides et lentes), les différents sites possibles d'apparition de la fatigue (fatigue centrale ou périphérique), les différents types d'exercices pratiqués (résistance, endurance), de nombreuses causes sont à l'origine de la fatigue.

Plusieurs moyens d'études ont donc été mis en œuvre pour explorer la fatigue : modèles animaux, cellulaires, biopsies musculaires, dosage de variables biologiques, mesure d'activité physique, mesure de VO2 max, mesure de fréquence cardiaque, de tension artérielle, ECG, analyse de l'excitabilité neuromusculaire (rythme, amplitude des stimulations et des contractions), perception subjective de l'effort et de l'état de forme du sportif... Ces derniers éléments peuvent être étudiés grâce à des échelles et questionnaires standardisés, tels que l'échelle de Hooper (annexe 1), et le questionnaire de la Société Française de Médecine de l'Exercice et du Sport (SFMES) (annexe 2).

Il a été observé chez des nageurs que la fatigue subjective ressentie par l'athlète au quotidien reflétait le niveau de performance qu'il allait présenter plus tard dans la saison (65). De plus, la perception d'un entraînement excessif et d'un manque de sommeil précèdent la survenue de blessures chez des adolescents sportifs (66,67). Enfin s'il est prouvé que de nombreux paramètres physiologiques (fréquence cardiaque, tension artérielle, lactatémie...) sont modifiés par l'entraînement, il est difficile de délimiter le seuil qui distinguerait les variations biologiques accompagnant tout entraînement, des variations anormales associées au syndrome de surentraînement (65). Le surentraînement apparaît donc comme un phénomène complexe influencé par des facteurs biologiques et psychologiques sans marqueur objectif unique. Il reste plus facilement détecté par une baisse de performance physique et les altérations de l'humeur des sportifs évaluées par questionnaires que par des changements immunitaires ou physiologiques (68). C'est la raison pour laquelle nous avons choisi d'utiliser le questionnaire de la SFMES et le Hooper pour monitorer l'état de fatigue de notre population de skieurs.

D. Conséquences de la fatigue en ski

La fatigue musculaire de la cuisse contribue à placer le genou en position vulnérable, en diminuant sa stabilité dans les plans frontaux et sagittaux (69). Elle entraîne une diminution du contrôle de l'équilibre (15) et on constate qu'à haut niveau en ski alpin, presque la moitié des blessures se produisent dans le quart final de la course, ce qui suggère que la fatigue de l'athlète contribue au risque de blessure (21).

Le ski alpin est un sport à haute intensité, où le métabolisme anaérobie prédomine (70), entraînant entre autres un épuisement des réserves musculaires en glycogène (71), une accumulation de lactate et une acidose musculaire, qui sont connus pour contribuer à la fatigue périphérique (72).

On remarque lors des tests isocinétiques, que la fatigue musculaire induite par des exercices répétés de flexion-extension du genou entraîne une baisse de force plus importante et plus rapide pour les IJ que pour le Q. Cette résistance différente à la fatigue provoque un déséquilibre qui pourrait affecter la fonction stabilisatrice des muscles de la cuisse, et favoriser le risque de blessure. Une des hypothèses permettant d'expliquer la différence de sensibilité à la fatigue entre les différents groupes musculaires, serait que les IJ possèdent une proportion plus importante de fibres rapides de type II, qui sont plus sensibles à la fatigue que les fibres lentes de type I (73).

Il existe peu d'études sur la fatigabilité en ski alpin lors des runs de ski ou sur le suivi d'une population de skieurs (71,72,74). Il est donc légitime d'explorer la fatigabilité musculaire des skieurs alpins lors de tests isocinétiques et de monitorer sur une saison d'entraînement une fatigue globale via des questionnaires validés (questionnaires de Hooper et de la SFMES) (65,75).

PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE

I. Introduction

Les blessures étant fréquentes en ski alpin, et notamment les atteintes du genou, leur prévention doit être une priorité (7,9,10). La mesure de la force musculaire en isocinétisme permet de décrire le profil isocinétique des sportifs avant blessure, et plusieurs auteurs ont cherché à corréler les résultats des tests isocinétiques aux performances réalisées ainsi qu'aux blessures présentées par les athlètes. Des études réalisées en sport collectif rapportent qu'une asymétrie de force trop marquée entre les deux jambes (38) ou qu'un déséquilibre des IJ par rapport aux Q (39) pourraient augmenter le risque de blessures au genou.

Les études spécifiques au ski alpin sont peu nombreuses (1,32,46,48–51), et la relation entre les paramètres isocinétiques et la survenue des blessures chez les skieurs alpins n'est pas claire. Par ailleurs, les blessures sont multifactorielles, et la fatigue est un facteur de risque de blessures pour plusieurs auteurs (19,21,66,67,69,71,76). L'étude de ce paramètre en partie subjectif est délicate et son évaluation passe par l'interprétation de questionnaires remplis par les athlètes.

Notre objectif principal est d'évaluer le rapport entre les résultats des tests isocinétiques et la survenue d'une blessure, dans une population de futurs moniteurs de ski alpin. L'objectif secondaire de cette étude est de déterminer si la blessure survient lors d'une période où le skieur est plus fatigué.

II. Matériel et Méthodes

A. Schéma d'étude

Il s'agit d'une étude observationnelle, longitudinale, monocentrique, de type cohorte, fermée. Ce type d'étude comporte plusieurs avantages : il minimise le risque d'erreur associé aux études rétrospectives et permet d'écarter les biais de mémorisation concernant le recueil des blessures.

Notre étude rentre dans le cadre d'une recherche non interventionnelle, hors produit de santé avec recueil de données anonymisées associées.

1. Population

a) Critères d'inclusion

- Tous les skieurs :
 - Alpins
 - Hommes et femmes
 - En formation professionnelle pour le brevet d'Etat de ski alpin

b) Critère de non inclusion

- Refus de participer à l'étude

Cette population n'est suivie que par un seul investigateur (JMB) concernant le suivi des blessures et un kinésithérapeute pour la réalisation des tests isocinétiques (RM) afin de garantir une reproductibilité des méthodes de collecte des données.

2. Période d'étude

Notre période de recrutement s'est déroulée sur deux années consécutives : 2013-2014 et 2014-2015.

3. Déroulement de la recherche

L'inclusion dans l'étude s'est faite à chaque début de formation en décembre 2013 et novembre 2014 sur les deux années couvrant la période d'étude. Les skieurs étaient alors suivis 5 mois jusqu'à la fin de leur formation. Leurs sites d'entraînements se trouvaient sur les stations de la Plagne et de Courchevel.

L'étude consistait à passer un test isocinétique en début de saison, à remplir quotidiennement au réveil un questionnaire de Hooper (annexe 1), et à remplir une fois par mois le questionnaire de forme de la SFMES (annexe 2).

Les sujets qui se blessaient remplissaient un questionnaire supplémentaire consignant les circonstances et conséquences de l'accident (annexe 3).

4. Information des personnes concernées

Le médecin investigateur (JMB) proposait aux skieurs de participer à cette recherche et les informait :

- de l'objectif
- du traitement informatisé des données les concernant, qui étaient recueillies au cours de cette étude et leur précisait également leurs droits d'accès, d'opposition et de rectification à leurs données.

Le médecin vérifiait également les critères d'éligibilité. Si la personne était d'accord pour participer, on recueillait par écrit son consentement. Le participant pouvait, à tout moment, s'opposer à l'utilisation de ses données, dans le cadre de la recherche.

B. Variables recueillies

1. Tests isocinétiques

Procédure de déroulement des tests isocinétiques

Les tests isocinétiques ont été effectués par 2 examinateurs experts sur un ergomètre CYBEX Humac Norm. Le protocole était standardisé afin de pouvoir comparer les tests entre les différents sujets. Les mesures étaient obtenues en une seule session afin d'avoir une bonne reproductibilité en évitant la réinstallation du sportif. Les étapes suivantes étaient respectées :

- échauffement de 10 minutes sur vélo, familiarisation avec l'appareil isocinétique avec

quelques contractions maximales.

- information du sportif sur le déroulement du test.
- position définie : assis avec inclinaison du siège à 85° (angle de la hanche), axe articulaire aligné avec l'axe du dynamomètre, sangle thoracique, contre-appui au niveau du tibia de la jambe testée, 2 cm au-dessus de la malléole latérale.
- calibrage de l'appareil.
- compensation de la gravité.
- encouragements verbaux aux sportifs : « Poussez et tirez le plus fort et le plus vite possible ».
- les sets de répétition du protocole présenté dans le tableau 1 sont séparés de 60 secondes de récupération.

Tableau 1 : Protocole isocinétique

Série	Répétitions	Contraction		Vitesse Angulaire (°/s)
		Quadriceps	Ischio-jambiers	
1	5	Concentrique	Concentrique	60
2	15	Concentrique	Concentrique	180
3	5	Passif	Excentrique	-90
4	5	Concentrique	Passif	90
5	5	Excentrique	Passif	-60

Calcul des ratios

Les moments de force maximaux (Fmax) des IJ et des Q ont été mesurés ainsi que les angles d'efficacité maximale correspondants (AEM). Un angle de 0° correspondait à l'extension complète de la jambe.

Les ratios IJ/Q ont été calculés comme le moment de force maximal des IJ divisé par celui des Q. Les ratios conventionnels (RC) ont été calculés en prenant Fmax des IJ divisé par Fmax des Q à 60°/s et 180°/s en concentrique. Le ratio fonctionnel de la flexion du genou (RFFG) a été calculé en divisant Fmax en concentrique des IJ par Fmax en excentrique du Q à 60°/s. Le ratio

fonctionnel de l'extension du genou (RFEG) a été calculé en divisant Fmax en excentrique des IJ par Fmax en concentrique du Q à 90°/s.

Indice de fatigue

Cet indice est calculé lors de contractions concentriques, en divisant la moyenne des trois derniers pics de couple par la moyenne des trois premiers pics de couple, et en multipliant le tout par 100.

$$\text{Indice de fatigue} = \frac{(\text{moyenne des 3 derniers pics de couple})}{(\text{moyenne des 3 premiers pics de couple})} \times 100$$

2. Questionnaires de Hooper

Chaque sujet avait été formé à prendre manuellement son pouls radial sur une minute tous les matins au repos. Puis chacun évaluait à l'aide d'une échelle numérique la qualité du sommeil (de 1 « très très bon » à 7 « très très mauvais »), l'intensité des douleurs musculaires, le niveau de stress et de fatigue (de 1 « très très faible » à 7 « très très élevé ») (65).

3. Questionnaires de dépistage du surentrainement de la SFMES

Le questionnaire de dépistage du surentrainement est un auto-questionnaire composé de 54 affirmations. Pour chaque affirmation la personne doit cocher la réponse « Oui » ou « Non » selon que l'affirmation correspond à son **état actuel**. On interprète le questionnaire en comptabilisant le nombre de réponses positives, avec un seuil de 20/54 définissant le surentrainement (75).

Le questionnaire de forme de la SFMES a été rempli aux mois de janvier (SFMES 1), février (SFMES 2), mars (SFMES 3), et avril (SFMES 4).

4. Blessures

Le recueil des blessures a été effectué à partir des définitions suivantes basées sur les recommandations de bonne pratique pour la mise en place d'un système de recueil de données des blessures.

a) Définition

Une blessure était définie comme toute plainte physique du skieur lors de la saison et directement liée à la pratique du sport, entraînant une indisponibilité future pour l'activité sportive, dénommée « time loss » (TL) (77).

L'indisponibilité était définie par le fait de ne pouvoir participer de manière complète à un entraînement et ce, indépendamment du fait qu'une session d'entraînement soit programmée. Les blessures multiples au cours d'un seul événement étaient enregistrées comme une seule blessure mais avec plusieurs diagnostics.

b) Classification des blessures

Les blessures étaient classées selon leur :

- localisation
- latéralité si cela était applicable
- type
- mécanisme : traumatique ou « overuse »
- circonstance de survenue (entraînement ou compétition)
- diagnostique

c) Blessure traumatique

Elle correspondait à une blessure résultant d'un événement aigu identifiable.

d) Circonstances de la blessure

Pour chaque blessure les circonstances étaient recueillies :

- Conditions climatiques et environnementales : météo, visibilité, état de la piste, état de la neige, type de neige
- Circonstances de l'accident : discipline, activité, niveau de course, topographie, portion de piste
- Facteurs liés au skieur : déséquilibre, type, distribution du poids, prise de toxique, échauffement, protections, nouveau matériel, perte de contrôle, faute technique

e) Personnes s'assurant du recueil

Le recueil et la classification des blessures étaient assurés par le médecin (JMB) qui était en relation quotidienne avec le groupe de sportifs et l'interlocuteur privilégié de ces sportifs pour tout problème de santé.

f) Rythme du recueil

Le recueil des blessures était fait au fur et à mesure de leur survenue.

g) Procédure de recueil

La base de données était remplie par JMB à l'aide d'un masque de saisie informatisé sur le logiciel Excel ®.

C. Analyse statistique

Les statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R. (R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>).

Les données des tests isocinétiques et des questionnaires ont été reportées dans un fichier Excel. Les données quantitatives ont été décrites par groupe selon le facteur sexe (féminin ou masculin) puis selon le facteur blessé (oui ou non). Pour la caractérisation des groupes, deux méthodes ont été employées : la comparaison de moyennes (test de student) pour les variables quantitatives et le test de chi2 pour les variables qualitatives. Ces analyses ont été faites au seuil de 5% dans le cas d'un test bilatéral.

La survenue ou non d'une blessure a été modélisée dans une régression logistique dont on a intégré comme variable explicative la force musculaire (force maximale mesurée lors des tests isocinétiques) et l'angle d'efficacité maximal. La régression logistique a été faite sur toutes les variables afin de sélectionner celles qui pouvaient apporter de l'information au modèle multivarié. Les variables sélectionnées ont été intégrées dans une régression logistique multivariée et une sélection pas à pas a été effectuée afin de trouver le meilleur modèle (avec l'AIC le plus faible). La régression logistique multivariée a été ensuite effectuée sur les données avec pour individu statistique une jambe et non le skieur, afin de ne pas avoir une répétition du même paramètre selon le côté droit ou gauche.

Processus de sélection des variables explicatives

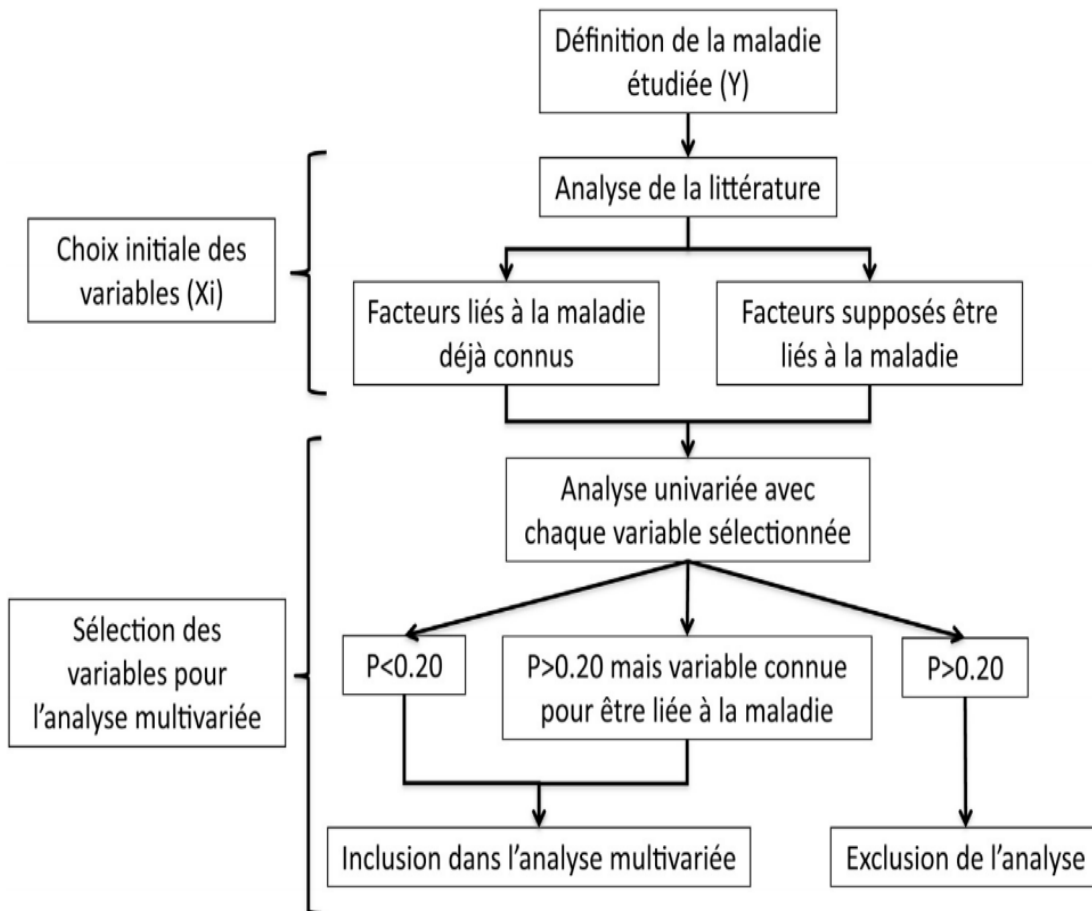


Figure 5 : Diagramme expliquant le processus de sélection des variables explicatives à inclure dans un modèle de régression logistique multiple. Source : Mohamed El Sanharawi, F. Naudet. *Comprendre la régression logistique / Understanding logistic regression. Journal Français D'Ophtalmologie, Elsevier Masson, 2013, 36 (8), pp.710-5.*

D. Considérations éthiques et réglementaires

Les personnes qui dirigent et surveillent la recherche s'engagent à ce que cette recherche soit réalisée en conformité avec la déclaration d'Helsinki (qui peut être retrouvée dans sa version intégrale sur le site <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3/>).

Les données enregistrées à l'occasion de cette recherche font l'objet d'un traitement informatisé dans le respect de la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés modifiées par la loi 2004-801 du 6 août 2004.

III. RESULTATS

A. Modélisation de la survenue des blessures dans la population décrite

La régression logistique multivariée est effectuée sur les données avec pour individu statistique une jambe. Parmi les variables ayant une p-value < 0.20 dans le modèle univarié, « indice de fatigue du Q à 180°/s » et « travail total du Q à 180°/s » ont beaucoup plus de valeurs manquantes que les autres. Quand elles sont rajoutées au modèle, plus aucune variable n'est significative dans le modèle. Elles vont donc être enlevées du modèle. Le meilleur modèle trouvé est renseigné dans le tableau ci-dessous, la variable « AEM des IJ à 60°/s » est significative à 5%, les variables « AEM du Q à 90°/s » et « Fmax normalisée du Q à 60°/s » sont significatives à 10% dans ce modèle. Les odd-ratios (OR) ajustés au modèle sont également présentés dans le tableau.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	2.5 %	97.5 %	OR
(Intercept)	2.896	4.328	0.669	0.503	NA	NA	NA
AEM IJ à 60°/s en deg	-0.131	0.047	-2.804	0.005	0.79	0.95	0.877
AEM Q à 90°/s en deg	0.085	0.051	1.652	0.099	0.99	1.22	1.088
Fmax Q 60°/s (Nm/kg)	-1.492	0.782	-1.909	0.056	0.04	0.95	0.225

La Fmax du Q à 60°/s a un OR < 1 et apparait comme un facteur protecteur des blessures avec une baisse de 78% du risque de blessure pour une hausse de 1Nm/kg, bien que ce résultat soit à la limite de la significativité ($p=0.056$).

L'AEM des IJ à 60°/s est un facteur protecteur d'après ce modèle car pour une hausse de 1 degré d'AEM on observe une baisse de 12% des blessures. Ceci signifierait qu'un AEM obtenu à un angle plus grand (muscle plus raccourci) serait protecteur. Si on augmente de 10° cet angle on baisse de 63% le risque de blessure significativement.

L'AEM du Q à 90°/s a un OR ≈ 1 et n'a donc pas d'effet sur le risque de blessure.

B. Suivi de la population

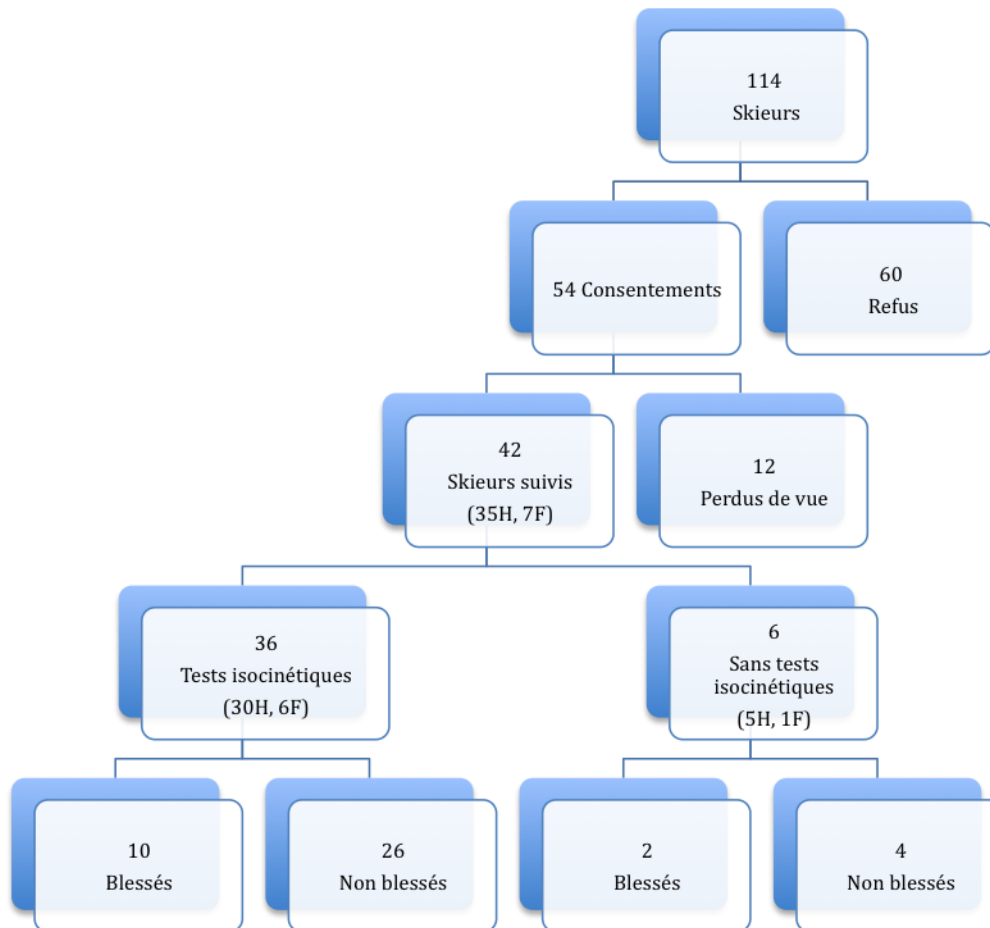


Figure 6 : Flow chart de la cohorte

C. Données anthropométriques

Les hommes avaient une taille ($p=0.002$), un poids ($p=0.002$) et un IMC ($p=0.028$) supérieurs aux femmes (Tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques des participants

	Groupe	Genre	
	Total	Femmes	Hommes
n	36	6	30
Age (années)	22.48 +/- 2.47	22.43 +/- 2.37	22.49 +/- 2.52
Taille (cm)	174.3 +/- 7.0	169.1 +/- 3.3	175.4 +/- 7.2*
Poids (Kg)	68.48 +/- 9.22	59.29 +/- 7.06	70.31 +/- 8.53*
IMC (Kg/m ²)	22.5 +/- 2.57	20.69 +/- 1.96	22.86 +/- 2.55*

* effet du genre ($p<0.05$)

D. TESTS ISOCINETIQUES

1. Moment de force (ou pic de force maximal)

Les hommes ont des moments de force supérieurs aux femmes à toutes les vitesses testées, pour les Q et les IJ ($p\leq 0.010$, tableau 5). Les valeurs normalisées sont également supérieures chez les hommes par rapport aux femmes ($p\leq 0.017$), sauf pour les IJ à $-90^\circ/s$ ($p=0.114$). Il n'existe toutefois aucune différence d'asymétrie droite – gauche entre les sexes ($p\geq 0.202$), sauf pour les Q à $60^\circ/s$ où les hommes présentent une asymétrie plus importante que les femmes ($p=0.044$). Entre les athlètes blessés au cours de la saison et les autres, il n'existe aucune différence initiale sur les valeurs des moments de force maximaux ($p\geq 0.201$) ni d'asymétrie bilatérale ($p\geq 0.405$).

2. Angle d'efficacité maximal

Les angles d'efficacité maximale ne sont pas dépendants du sexe ($p \geq 0.120$, tableau 5) sauf pour l'AEM du Q à 60°/s qui est supérieur chez les hommes ($p=0.049$). Il n'existe aucune différence initiale d'AEM entre les athlètes blessés au cours de la saison et les autres ($p \geq 0.130$), sauf pour les IJ à 60°/s où les athlètes futurs blessés ont un angle inférieur (i.e. jambe plus tendue en concentrique) aux autres ($p=0.004$).

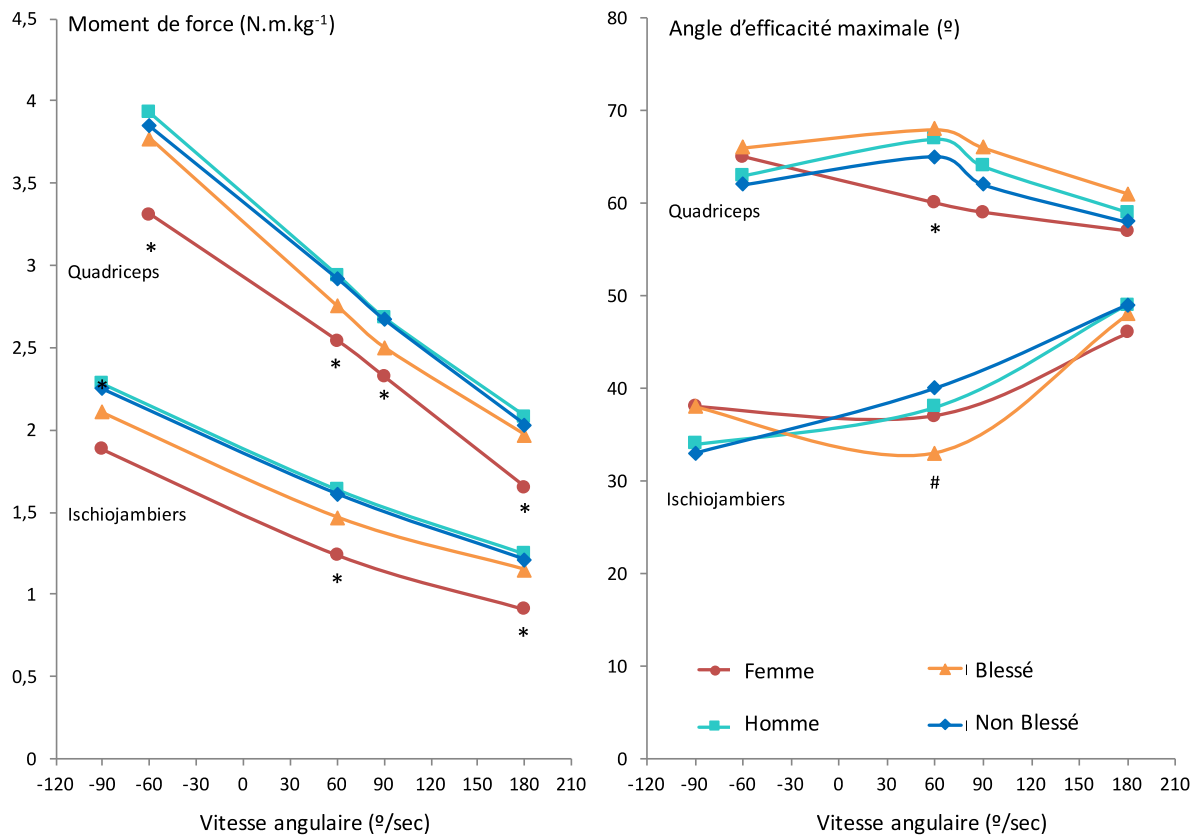


Figure 7 : Moment de force normalisé (graphique de gauche) et Angle d'efficacité maximale (graphique de droite). * Homme > Femme, # Non Blessé > Blessé, $p < 0.05$.

3. Ratios conventionnels et fonctionnels

Les ratios IJ/Q ne sont pas dépendants du sexe ($p \geq 0.141$, tableau 5) sauf le RC à 60°/s qui est supérieur chez les hommes ($p = 0.043$). Il n'existe aucune différence initiale de ratio IJ/Q entre les athlètes futurs blessés au cours de la saison et les autres ($p \geq 0.189$).

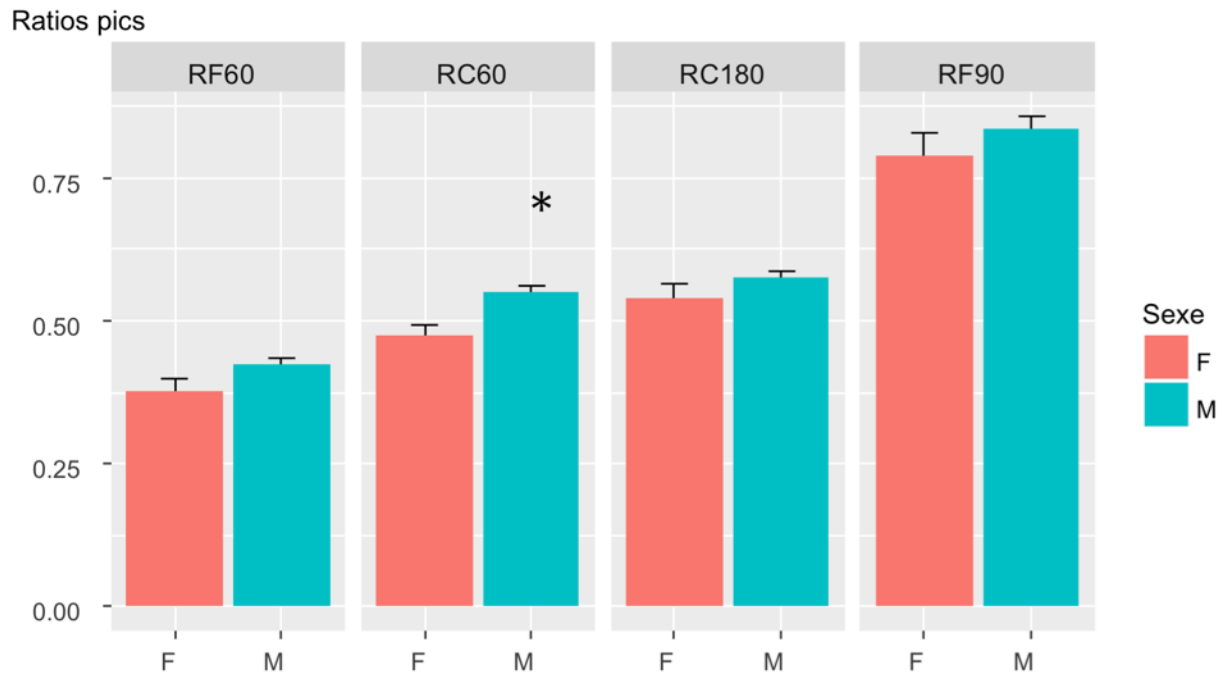


Figure 8-A : Histogrammes des ratios pics selon le sexe (RC60 et RC180, ratios conventionnels à 60 et 180°/s, RF60 ratio fonctionnel de flexion à -60° /s, et RF90 ratio fonctionnel d'extension à -90°/s). Effets globaux : * différence significative entre Hommes (M) et Femmes (F).

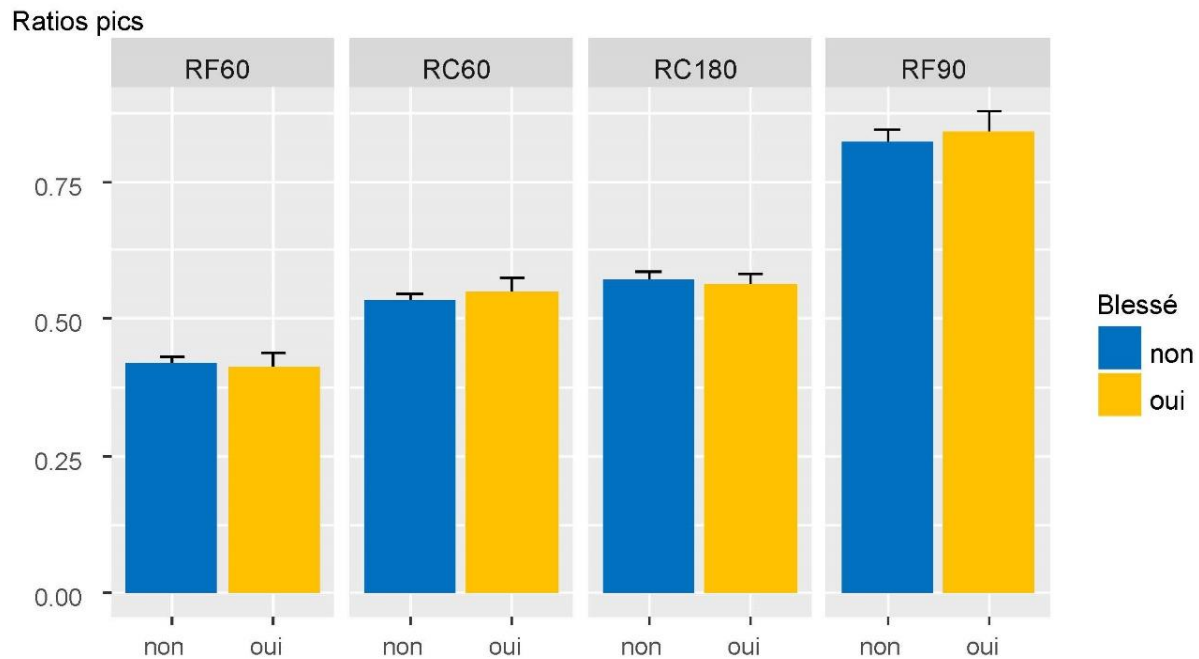


Figure 8-B : Histogrammes des ratios pics selon le groupe Blessé/ Non Blessé (RC60 et RC180, ratios conventionnels à 60 et 180°/s, RF60 ratio fonctionnel de flexion à -60° /s, et RF90 ratio fonctionnel d'extension à -90°/s).

4. Indice de fatigue et travail

Le travail total sur 15 répétitions était supérieur chez les hommes par rapport aux femmes pour les Q ($p < 0.001$) et les IJ ($p = 0.038$), mais n'était pas différent entre les athlètes qui se sont blessés au cours de la saison et les autres ($p \geq 0.338$).

Les indices de fatigue des Q et des IJ ne sont pas dépendants du sexe ($p \geq 0.291$) et ne sont pas différents entre les athlètes qui se sont blessés au cours de la saison et les autres ($p \geq 0.133$).

Tableau 3 : Paramètres classiques isocinétiques

			Groupe Total	Genre		Blessure	
Vitesse			(n=36)	Femmes (n=6)	Hommes (n=30)	Blessés (n=10)	Non Blessés (n=26)
Pic de force maximal brut (N.m)							
IJ	con	60°/s	109 +/- 25	72 +/- 16	116 +/- 19*	103 +/- 24	111 +/- 26
	exc	-90°/s	153 +/- 41	109 +/- 34	161 +/- 37*	146 +/- 42	155 +/- 41
	con	180°/s	82 +/- 18	53 +/- 10	88 +/- 12*	80 +/- 18	83 +/- 19
Q	con	60°/s	198 +/- 39	147 +/- 23	208 +/- 33*	190 +/- 37	201 +/- 40
	exc	-60°/s	265 +/- 68	192 +/- 33	280 +/- 64*	261 +/- 58	266 +/- 72
	con	90°/s	180 +/- 32	135 +/- 20	190 +/- 25*	173 +/- 29	183 +/- 33
	con	180°/s	139 +/- 28	95 +/- 11	148 +/- 21*	137 +/- 25	140 +/- 29
Pic de force maximal normalisé (N.m.kg ⁻¹)							
IJ	con	60°/s	1.57 +/- 0.27	1.24 +/- 0.22	1.64 +/- 0.23*	1.47 +/- 0.27	1.61 +/- 0.26
	exc	-90°/s	2.21 +/- 0.54	1.88 +/- 0.50	2.28 +/- 0.53	2.11 +/- 0.61	2.25 +/- 0.52
	con	180°/s	1.19 +/- 0.21	0.91 +/- 0.18	1.25 +/- 0.16*	1.15 +/- 0.23	1.21 +/- 0.20
Q	con	60°/s	2.88 +/- 0.42	2.54 +/- 0.20	2.94 +/- 0.42*	2.75 +/- 0.53	2.92 +/- 0.37
	exc	-60°/s	3.82 +/- 0.76	3.31 +/- 0.43	3.93 +/- 0.78*	3.77 +/- 0.79	3.85 +/- 0.77
	con	90°/s	2.62 +/- 0.35	2.32 +/- 0.16	2.68 +/- 0.35*	2.50 +/- 0.37	2.67 +/- 0.35
	con	180°/s	2.01 +/- 0.28	1.65 +/- 0.16	2.08 +/- 0.24*	1.97 +/- 0.30	2.03 +/- 0.27
Angle d'efficacité maximal (°)							
IJ	con	60°/s	38 +/- 8	37 +/- 9	38 +/- 8	33 +/- 5	40 +/- 9#
	exc	-90°/s	35 +/- 23	38 +/- 22	34 +/- 24	38 +/- 26	33 +/- 22
	con	180°/s	49 +/- 8	46 +/- 5	49 +/- 8	48 +/- 6	49 +/- 8
Q	con	60°/s	66 +/- 8	60 +/- 6	67 +/- 7*	68 +/- 8	65 +/- 7
	exc	-60°/s	63 +/- 17	65 +/- 8	63 +/- 18	66 +/- 14	62 +/- 18
	con	90°/s	67 +/- 7	59 +/- 6	64 +/- 7	66 +/- 9	62 +/- 6
	con	180°/s	59 +/- 6	57 +/- 4	59 +/- 6	61 +/- 5	58 +/- 6
Ratio IJ/Q							
	RC	60°/s	0.55 +/- 0.08	0.49 +/- 0.07	0.56 +/- 0.08*	0.54 +/- 0.07	0.55 +/- 0.08
	RFFG	-60°/s	0.42 +/- 0.07	0.38 +/- 0.06	0.43 +/- 0.07	0.40 +/- 0.05	0.43 +/- 0.07
	RFEG	-90°/s	0.85 +/- 0.18	0.80 +/- 0.18	0.85 +/- 0.19	0.84 +/- 0.17	0.85 +/- 0.19
	RC	180°/s	0.59 +/- 0.08	0.55 +/- 0.07	0.60 +/- 0.08	0.58 +/- 0.07	0.60 +/- 0.09
Indice de fatigue (% sur 15 répétitions)			Groupe total	Femmes	Hommes	Blessés	Non Blessés
			(n=14)	(n=2)	(n=12)	(n=7)	(n=7)
IJ	con	180°/s	22 +/- 8	25 +/- 2	21 +/- 9	23 +/- 5	21 +/- 11
Q	con	180°/s	18 +/- 6	19 +/- 3	18 +/- 6	16 +/- 6	21 +/- 5
Travail total sur 15 répétitions (N.m)							
IJ	con	180°/s	1191 +/- 182	912 +/- 84	1238 +/- 148*	1165 +/- 232	1217 +/- 128
Q	con	180°/s	2184 +/- 378	1679 +/- 44	2268 +/- 339*	2083 +/- 362	2285 +/- 393
Asymétries bilatérales (% D-G)							
IJ		60°/s	11 +/- 8	10 +/- 9	11 +/- 8	13 +/- 11	10 +/- 6
Q		60°/s	8 +/- 7	4 +/- 5	9 +/- 7*	9 +/- 8	8 +/- 6
IJ		-90°/s	11 +/- 8	15 +/- 12	11 +/- 7	13 +/- 9	11 +/- 8
Q		90°/s	7 +/- 5	6 +/- 2	8 +/- 5	8 +/- 4	7 +/- 5
IJ		180°/s	12 +/- 7	9 +/- 7	11 +/- 9	13 +/- 9	11 +/- 8
Q		180°/s	7 +/- 5	7 +/- 4	7 +/- 5	8 +/- 5	7 +/- 5
Q		-60°/s	11 +/- 9	10 +/- 7	11 +/- 9	10 +/- 9	12 +/- 10

RC= ratio conventionnel ; RFFG= ratio fonctionnel de la flexion du genou ; RFEG= ratio fonctionnel de l'extension du genou.

* effet sexe ; # effet blessure

Les valeurs du tableau prennent en compte la jambe droite des skieurs.

E. CIRCONSTANCES DES BLESSURES

Le recueil des blessures a eu lieu sur deux années consécutives (2013 et 2014). 42 skieurs ont été suivis, 35 hommes et 7 femmes, et 12 blessures ont été enregistrées.

1. Circonstances de l'accident et conditions météorologiques

Contrairement à toute attente, la réduction de la visibilité ou le mauvais temps ne sont pas les conditions où le plus de blessures ont été enregistrées, et la majorité des accidents a eu lieu sur une piste large en bon état (Tableau 4.a).

50% (n=6) des accidents se sont produits en slalom, lors d'un entraînement (58,3%, n=7). Le blessé estimait le niveau de course facile dans la moitié des cas (50%, n=4).

La majorité des accidents s'est produite alors que le membre inférieur était en flexion. Deux tiers des atteintes du genou avaient lieu lors d'une flexion forcée, et un tiers lors d'un slip catch.

La veille de l'accident, un tiers des blessés avaient consommé de l'alcool (33,3%, n=4), et un quart des blessés avaient fumé du cannabis (25%, n=3). Un seul accident s'est produit sans le port de protections (casque +/- dorsale), car il s'agissait d'un accident de basketball.

2. Diagnostique des blessures

Les blessures ligamentaires sont majoritaires (58,3%, n=7), et les blessures du genou sont les plus représentées (50%, n=6) (Tableau 4.b).

Tableau 4 : Circonstances des blessures
4.a Facteurs extrinsèques

	Variable	n	%
Année (n=42)	2013	20	47,6%
	2014	22	52,4%
Blessure (n=42)	Non	30	71,4%
	Oui	12	28,6%
Sexe (n=42)	Femmes	7	16,7%
	Hommes	35	83,3%
Conditions climatiques (n=11)			
Météo	Brouillard	2	18,2%
	Temps clair	8	72,7%
	Nuageux	1	9,1%
Visibilité	Bonne	9	81,8%
	Réduite	2	18,2%
Type de neige	Artificielle	4	36,4%
	Changeante	4	36,4%
	Fraiche	3	27,3%
Etat de la neige	Dure	5	45,5%
	Glace	1	9,1%
	Molle	5	45,5%
Etat de la piste	Bosselée	4	36,4%
	Lisse	7	63,6%
Circonstances de l'accident			
Discipline lors de la blessure (n=12)	Basketball	1	8,3%
	Freestyle	1	8,3%
	Géant	2	16,7%
	Ski libre	1	8,3%
	Slalom	6	50,0%
	Snowboard	1	8,3%
Activité (n=12)	Compétition	1	8,3%
	Démonstration	1	8,3%
	Enseignement	1	8,3%
	Entraînement	7	58,3%
	Loisir	1	8,3%
	Préparation physique	1	8,3%
Niveau de course (n=8)	Difficile	3	37,5%
	Facile	4	50,0%
	Moyen	1	12,5%
Topographie (n=10)	Pente moyenne	7	70,0%
	Pentue	2	20,0%
	Plat	1	10,0%
Portion de piste (n=10)	Etroite	1	10,0%
	Large	9	90,0%

4.b Facteurs liés au skieur et diagnostique des blessures.

Facteurs liés au skieur			
Déséquilibre lors de la blessure (n=12)	Non	5	41,7%
	Oui	7	58,3%
Type de déséquilibre (n=7)	Arrière	3	42,9%
	Avant	1	14,3%
	Latéral externe	1	14,3%
	Latéral interne	2	28,6%
Position du MI (n=9)	Extension	1	11,1%
	Flexion	8	88,9%
Distribution du poids (n=10)	Egale	2	20,0%
	Inégale sur jambe gauche	8	80,0%
Atteinte de l'épaule (n=1)	Choc direct avec bâton de ski fixé dans la main	1	100,0%
Atteinte du genou (n=6)	Atterrissage en flexion forcée	4	66,7%
	Slip catch	2	33,3%
Toxiques (n=12)	Non	5	41,7%
	Alcool	4	33,3%
	Cannabis	3	25,0%
Echauffement (n=12)	Non	4	33,3%
	Oui	8	66,7%
Protections (n=11)	Casque seul	4	36,4%
	Casque et dorsale	6	54,5%
	Aucune	1	9,1%
Nouveau matériel de ski (n=11)	Non	9	81,8%
	Oui	2	18,2%
Perte de contrôle (n=11)	Non	5	45,5%
	Oui	6	54,5%
Faute technique (n=11)	Non	5	45,5%
	Oui	6	54,5%
Diagnostic des blessures aiguës			
Type de blessure (n=12)	Articulaire/ligamentaire	7	58,3%
	Fracture	2	16,7%
	Musculaire	2	16,7%
	Plaie	1	8,3%
Localisation (n=12)	Cheville	1	8,3%
	Coude	1	8,3%
	Dorsale	1	8,3%
	Epaule	1	8,3%
	Genou	6	50,0%
	Lombaire	1	8,3%
	Poignet	1	8,3%
Côté de la blessure (n=10)	Droit	4	40,0%
	Gauche	6	60,0%

F. QUESTIONNAIRES DE HOOPER ET DE LA SFMES

1. Questionnaires de Hooper

On ne dispose des données que de 26 participants au plus sur 42 possibles. La fréquence cardiaque tendait à être supérieure chez les femmes par rapport aux hommes ($p=0.056$). On n'observe pas de différence entre la fréquence cardiaque des athlètes blessés au cours de la saison et les autres. Aucun des items du questionnaire Hooper n'était différent entre les hommes et les femmes ou entre les athlètes qui se sont blessés au cours de la saison et les autres ($p>0.278$).

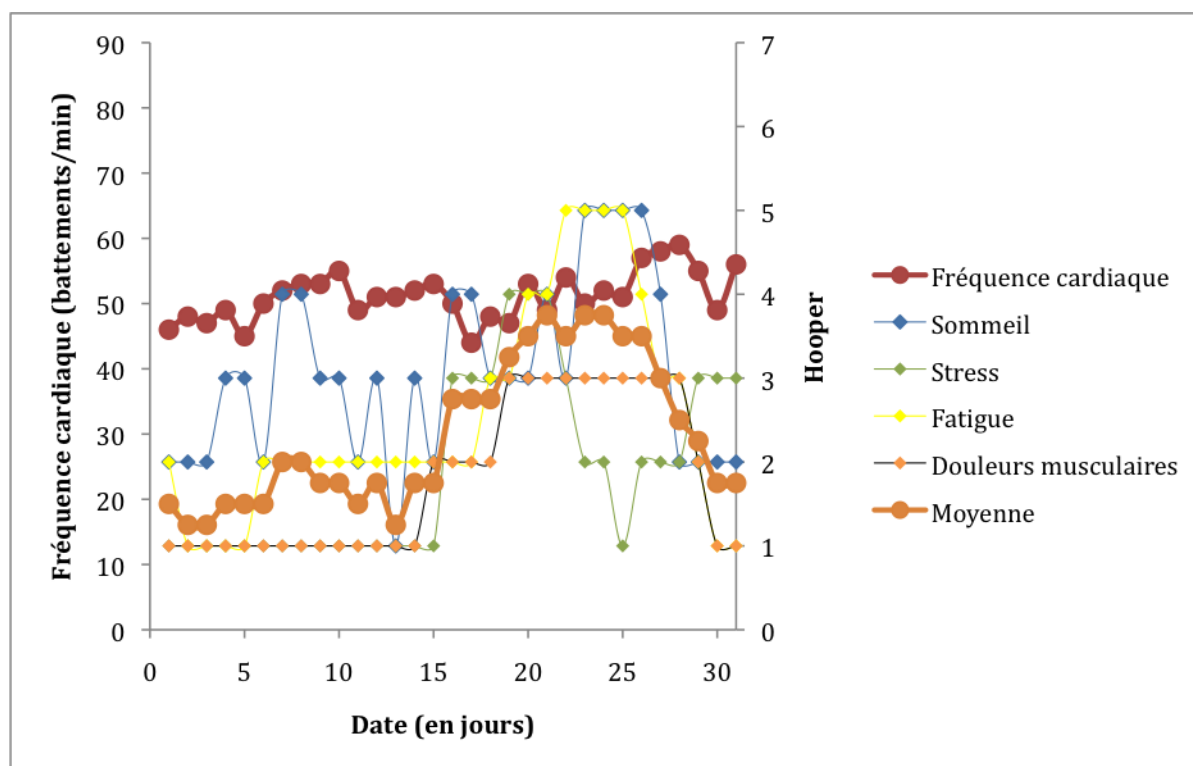


Figure 9: Exemple de représentation graphique du questionnaire de Hooper sur un mois pour l'un des skieurs.

2. Questionnaires de la SFMES

Le score du questionnaire de la SFMES n'était pas différent entre les hommes et les femmes ($p>0.178$), ou entre les athlètes qui se sont blessés au cours de la saison et les autres ($p>0.126$), sauf en mars (SFMES 3) où les athlètes du groupe futurs blessés ont un score supérieur aux skieurs non blessés ($p=0.027$).

Tableau 5 : questionnaires de Hooper et de la SFMES

	Groupe total n=42		n	Genre		n	Blessure		n	Non Blessés	DM
				Femmes	Hommes		Blessés				
FC	25	57 +/- 7	7	63 +/- 9	18	55 +/- 9	7	59 +/- 9	18	57 +/- 7	17
Sommeil	26	2.50 +/- 0.87	7	2.57 +/- 0.86	19	2.47 +/- 0.86	8	2.75 +/- 0.68	18	2.38 +/- 0.94	16
Stress	26	1.88 +/- 0.84	7	2.00 +/- 0.84	19	1.83 +/- 0.84	8	1.92 +/- 0.69	18	1.86 +/- 0.92	16
Fatigue	26	2.80 +/- 0.99	7	3.11 +/- 1.11	19	2.68 +/- 1.11	8	2.83 +/- 0.69	18	2.79 +/- 1.12	16
Douleurs musculaires	26	2.48 +/- 0.88	7	2.47 +/- 0.96	19	2.49 +/- 0.96	8	2.70 +/- 0.63	18	2.39 +/- 0.98	16
Moyenne items Hooper	25	2.39 +/- 0.8	6	2.47 +/- 0.87	19	2.36 +/- 0.87	7	2.49 +/- 0.56	18	2.35 +/- 0.89	17
SFMS 1	27	7.15 +/- 5.68	7	9.86 +/- 6.67	20	6.2 +/- 6.67	9	7.89 +/- 6.45	18	6.78 +/- 5.42	15
SFMS 2	13	5.69 +/- 8.08	3	14.33 +/- 9.87	10	3.10 +/- 9.87	7	7.14 +/- 8.13	6	4.00 +/- 8.41	29
SFMS 3	23	5.74 +/- 5.79	7	6.86 +/- 4.91	16	5.25 +/- 4.91	8	10.25 +/- 6.96*	15	3.33 +/- 3.24	19
SFMS 4	5	3.00 +/- 4.24	1	6.00 +/- NA	4	2.25 +/- 4.50	2	7.50 +/- 2.12	3	0	37

* effet significatif ($p<0.05$). Les données sont présentées en nombre n, moyenne +/- écart-type ; DM = données manquantes.

IV. DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude prospective consistait à décrire les profils isocinétiques d'une population de moniteurs, puis de les mettre en relation avec leur statut blessé ou non blessé. Les ratios max et les ratios IJ/Q n'ont pas permis de dépister les skieurs à risque, tandis que l'AEM semble être un paramètre intéressant dans la prévention des blessures. Nos résultats retrouvent un AEM des IJ à 60°/s des athlètes qui se sont blessés au cours de la saison inférieur à celui des skieurs non blessés, lors des tests de screening initiaux.

A. Paramètres isocinétiques

1. Moment de force

Les valeurs retrouvées chez nos skieurs sont inférieures à celles retrouvées en équipe de France (niveau coupe d'Europe) (52). Nos skieurs ont des Fmax du Q en concentrique à 60°/s de 208 N.m pour les hommes, et de 147 N.m pour les femmes, versus 266 N.m pour les hommes et 174 N.m pour les femmes en équipe de France au niveau de la Coupe d'Europe. Ceci est en adéquation avec le fait que la force maximale développée par l'entraînement serait l'un des déterminants de la performance en ski alpin. Abe et al. (1) ont pour leur part observé que seule la force excentrique des fléchisseurs et des extenseurs du genou était supérieure chez les skieurs élites par rapport à des skieurs de niveau inférieur. Mais la performance en ski alpin est un paramètre multifactoriel, et pour certains auteurs il n'y a pas de corrélation entre les valeurs de force mesurées en isocinétisme et la performance des skieurs (47).

Si la force maximale des Q peut expliquer une partie de la performance, nos résultats ne retrouvent pas de différence initiale entre les valeurs des moments de force maximaux des athlètes qui se sont blessés au cours de la saison et les skieurs non blessés. De même, aucune différence d'asymétrie musculaire entre les jambes droites et gauches n'a été constatée entre ces deux groupes. Ainsi les tests semblent peu discriminants mais peuvent cependant fournir des valeurs normatives spécifiques à des populations de professionnels du ski alpin pour les praticiens. Les skieurs en dehors des valeurs moyennes $\pm 2SD$ devraient être considérés comme

à risque de blessure. Ces valeurs de référence sont spécifiques aux skieurs et devraient être utiles aux médecins qui pourront appliquer des normes adaptées à cette population.

2. Angle d'efficacité maximale

Nos résultats retrouvent un AEM du Q à 60°/s en concentrique supérieur chez les hommes que chez les femmes. Il existe un retard ($\sim 7^\circ$) pour atteindre le moment de force maximal chez les femmes, soit 110 ms.

L'AEM des IJ à 60°/s en concentrique est inférieur chez les blessés (jambe plus tendue) contrairement à ce qu'on pourrait attendre. L'AEM représenterait un nouveau marqueur de risque de blessure des IJ (78). Proske et al. (28) déduisent d'une étude menée chez des footballeurs australiens que plus la jambe est fléchie lorsque les IJ atteignent leur moment de force maximal, plus les longueurs de fascicules musculaires sont raccourcies et à risque de lésion lors d'une sollicitation excentrique. Contrairement à nos résultats, deux études rétrospectives ont quant à elles retrouvé un AEM des IJ à 60°/s plus grand (c'est à dire lorsque la jambe est plus fléchie quand 0° représente l'extension du genou) sur des membres inférieurs blessés par rapport au côté sain (26,79). Une étude prospective a étudié la relation entre l'AEM des IJ et le risque de blessure des IJ chez des sprinters, et n'a pas retrouvé d'association entre ces deux paramètres (42). Contrairement aux résultats de ces auteurs, notre modèle de régression logistique multiple suggère qu'une hausse de l'AEM des IJ à 60°/s entraîne une diminution du risque de blessure conséquente. Ces données doivent être prises avec circonspection car en ski alpin, la survenue d'une blessure est multifactorielle, de plus nous avons enregistré toutes les blessures et pas seulement des lésions musculaires. Sachant qu'un déficit musculaire est considéré comme une source de défaut d'équilibre dynamique du genou, il est possible que le risque de chute soit majoré en cas de déséquilibre neuromusculaire, entraînant un risque global de blessures plus élevé, non seulement du genou, mais de toute autre partie du corps en raison de la chute.

3. Ratios IJ/Q

Seul le ratio conventionnel à 60°/s est significativement différent entre les hommes et les femmes. Il est plus élevé chez les hommes (0,56) que chez les femmes (0,49), ce qui pourrait traduire une activation supérieure des IJ chez les hommes, ou une prédominance quadricipitale chez les femmes (80).

Nos valeurs sont proches de celles retrouvées en équipe de France (0,56 chez les hommes ; 0,51 chez les femmes) (52) et sont inférieures à celles retrouvées dans les autres sports (0,6 à 0,7) (44,81,82). On peut penser que les normes utilisées chez les autres sportifs ne sont pas adaptées aux skieurs chez qui de hauts niveaux de force du quadriceps sont nécessaires.

Les ratios conventionnels et les ratios fonctionnels ne diffèrent pas entre les skieurs blessés et non blessés. L'étude 'statique' de ces ratios n'apparaît pas comme un paramètre permettant de discriminer les skieurs à risque de blessure. Même les ratios fonctionnels, censés mieux décrire les actions du genou, ne sont en fait pas représentatifs de positions propres au ski alpin (4,83). Les AEM sont obtenus à des angles différents et donc les ratios max sont reconstruits artificiellement. Ainsi ces ratios ne représentent pas les rapports de force IJ/Q réels en fonction d'un angle donné du genou du skieur. Ainsi, une étude dynamique des ratios en fonction de l'angle, comme proposée par certains auteurs (52,84–86), permettrait de décrire des ratios iso angulaires sur une plus grande plage de mouvement et se rapprocherait des positions adoptées en ski alpin. D'autres études prospectives sont nécessaires afin d'établir la valeur prédictive des ratios IJ/Q sur l'incidence des blessures en ski alpin.

Nos tests isocinétiques de début de saison n'ont pas permis dans cette étude de distinguer clairement les athlètes à risque de blessure. Une étude réalisée par Bennell et al. (44) chez des footballeurs australiens conclut aussi que les tests isocinétiques ne sont pas capables de discriminer les footballeurs à risque de blessure des IJ. D'autres études chez des joueurs de football arrivent aux mêmes conclusions (41,45). Ceci est en accord avec la littérature récente car Van Dyk et al. (87) indiquent qu'il n'est pas possible de dépister les joueurs à risque de lésion des IJ lors d'un screening sur une grande population de footballeurs professionnels, avec les marqueurs isocinétiques classiques exprimés en pic de force (Q_{con}/IJ_{con} à 60°/s, Q_{con}/IJ_{con} à 300°/s, Q_{con} 30°/s / IJ_{exc} 60°/s). C'est pourquoi certains auteurs ont cherché d'autres marqueurs plus discriminants comme le « single-root-mean-square » (SRMS Q_{exc}/Q_{con}), censé mieux décrire la coordination musculaire (86). Ces auteurs ont également critiqué les valeurs pics et les ratios reconstruits par rapport aux moments de force spécifiques à un angle donné et les ratios de co-contraction. Ils ont comparé les moments de force des Q et des IJ à 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° de flexion du genou à 60°/s entre les patients sains et les patients ayant eu une rupture du LCA. Ils indiquent que les moments de force du Q et le ratio Q_{exc}/Q_{con} à 40° ont un meilleur

potentiel diagnostique des déficits associés aux lésions du LCA. En accord avec la littérature, nos résultats confirment la nécessité de faire évoluer les tests isocinétiques vers une plus grande sensibilité et spécificité de détection des blessures, en choisissant des marqueurs adaptés.

4. Indice de fatigue

Les indices de fatigue des Q et des IJ des athlètes qui se sont blessés au cours de la saison sont similaires à ceux des skieurs indemnes.

Cet indice de fatigue n'a pas permis de dépister les athlètes les moins résistants à la fatigue musculaire. En complément des tests isocinétiques classiques, il faudrait évaluer de nouveaux protocoles de testing se rapprochant plus de la pratique du ski alpin, par exemple en réalisant des contractions excentriques sur une durée similaire à celle de la course, avec un nombre de répétitions simulant un nombre de portes (course de GS : 40 portes, courses de SL, 60 portes).

B. Blessures et Fatigue

1. Circonstances de l'accident et diagnostique des blessures

Notre étude retrouve une majorité de blessures ligamentaires, touchant notamment l'articulation du genou (une blessure sur deux). Ceci est en adéquation avec les données de la littérature, qui montrent une prédominance des lésions du genou chez les skieurs loisirs (10,74), comme chez les skieurs élites (7,9). Une analyse vidéo de 69 blessures en coupe du monde a permis de montrer que la plupart des lésions du genou en ski alpin se produisent lorsque le skieur effectue un virage ou lors d'une réception de saut, et précèdent la chute (21). Ceci est retrouvé dans d'autres sports, comme en basketball ou en football, et le premier mécanisme de lésions du LCA est donc « sans contact avec un obstacle » (88). Ce sont surtout des contraintes internes à l'articulation qui vont aboutir aux lésions ligamentaires, ce que l'on retrouve dans notre population.

Si les mécanismes de lésions du LCA sont semblables dans plusieurs sports et à des niveaux différents, ce n'est pas pour autant que l'on peut appliquer les données préventives extrapolées des tests isocinétiques des autres athlètes aux skieurs. En effet, contrairement aux autres sports comme le sprint (89), les vitesses angulaires sont faibles en ski alpin, mais le développement de force doit être rapide et la production de force doit être élevée pour permettre l'enchaînement des virages (6). La pratique du ski contribue au développement des quadriceps, qui présentent des Fmax concentriques et excentriques puissantes. Mais la phase excentrique du Q est prédominante sur la phase concentrique, et le ski alpin se caractérise par des contractions excentriques du Q à vitesses angulaires lentes, ce qui le démarque des autres sports (4). Ainsi, le RFEG (I_{JEXC}/Q_{CON}) illustrant le contrôle d'une extension rapide de la jambe ne correspond pas à la pratique du ski, et il faudrait reconsidérer l'intérêt de ratios fonctionnels plus spécifiques aux skieurs, qui pourraient par exemple inclure une contraction isométrique des IJ et une contraction excentrique du Q (52).

2. Facteurs liés au skieur

On constate une consommation importante de toxiques dans notre population: plus de la moitié des blessés avaient consommé de l'alcool ou du cannabis la veille de l'accident. Hasler (14) a retrouvé dans une étude multicentrique portant sur plus d'un millier de skieurs loisirs que la consommation de drogue est un facteur de risque de blessures, mais il n'a pas pu le mettre en évidence pour la consommation d'alcool.

De façon surprenante, il est admis par de nombreux sportifs que le cannabis pourrait augmenter la force et la performance en sport. Il serait l'un des toxiques le plus consommé par les athlètes, après l'alcool et devant le tabac (90). Il est sur la liste des substances interdites du dopage. Des études ont montré les nombreuses complications liées au cannabis (pulmonaires, cardiaques, psychiatriques, neurologiques) et il a été démontré qu'il n'augmentait ni la force, ni la tolérance à l'exercice (91).

Les toxiques altèrent les capacités physiques et psychiques des sportifs, et semblent incompatibles avec une pratique sécuritaire de la discipline. Notre population de jeunes adultes avait tendance à minimiser les risques liés aux toxiques, et une campagne de prévention doit être réalisée dans ce sens.

3. Questionnaires de Hooper et de la SFMES

Nos données ne permettent pas de mettre en évidence de différence entre les résultats du questionnaire de Hooper des non-blessés et des autres. Mais les données manquantes sont importantes, car monitorer la fatigue au quotidien chez les athlètes demande un investissement personnel de leur part. Il semble donc important de les impliquer dans leur propre suivi et de les encourager à verbaliser leur ressenti concernant leur vécu des entraînements.

Le même problème de données manquantes est retrouvé lors de l'interprétation du questionnaire de surentrainement de la SFMES.

Le seuil de surentrainement est fixé à 20 réponses positives, mais ceci est une valeur moyenne pouvant varier d'un individu à l'autre. Le suivi psycho-comportemental doit être envisagé à long terme et le suivi à l'aide d'un questionnaire constitue un excellent moyen de moduler la charge d'entraînement de l'athlète afin de mieux respecter sa progression. De plus, l'importance des variabilités individuelles qui accompagnent le syndrome de surentrainement rend nécessaire la comparaison du sportif à lui-même (75). Le caractère subjectif de la fatigue a poussé les auteurs à réaliser des questionnaires remplis par les athlètes. Ainsi, Hooper retrouve que l'auto-évaluation de l'état de forme ressenti par l'athlète au quotidien apporte des informations utiles à l'entraîneur et serait un moyen efficace pour monitorer le surentrainement et la récupération (65).

Une étude de Ruedl et al. (74) portant sur des skieurs loisirs rapporte que 57% des blessures du LCA surviennent dans les deux premiers jours de ski de la saison, et 81% des skieurs ne ressentaient pas de fatigue dans leurs jambes ou à peine lors de l'accident. Selon cet auteur, la fatigue ne semble donc pas être un facteur de risque de lésion du LCA chez les skieurs de loisir. En revanche, il a été observé chez les skieurs élites que la majorité des blessures ont lieu en fin de journée (92), et plus de la moitié des blessures se produisent dans le quart final de la course (21), ce qui suggère que la fatigue est impliquée dans ces blessures.

Dans notre étude, nous avons observé autant de blessures en début de saison (décembre-janvier) qu'en fin de saison (mars-avril).

Nos résultats montrent que seul le questionnaire rempli au mois de mars (SFMES 3) avait un score significativement supérieur en pré-blessure. Le mois de mars fait suite aux vacances d'hiver, où les jeunes de la promotion connaissent une période de travail intense et fatigante dans

les écoles de ski. Ceci peut probablement en partie expliquer le score plus élevé observé avant blessure.

Si plusieurs auteurs sont d'accord sur le fait que monitorer la fatigue de l'athlète au cours de la saison devrait contribuer à prévenir le surentrainement (59,81), en pratique il s'avère difficile d'obtenir des données exhaustives.

C. Impact de l'étude

Cette étude traite d'un domaine important de la médecine du sport : la prévention des blessures, et plusieurs points forts en ressortent :

- La cohorte se compose de skieurs de très bon niveau (futurs moniteurs), mais qui ne sont pas membres d'équipes nationales, leur profil est donc probablement extrapolable à une large population de bons skieurs alpins.
- Ce travail présente l'avantage d'être prospectif, ce qui permet notamment de se dégager des biais de mémorisation. De plus, l'investigateur (JMB) faisait partie de la cohorte, et le recueil de données en a été facilité.
- Ce travail fournit des données isocinétiques normatives pour les skieurs alpins de niveau moniteur et peut donc servir de base en prévention des blessures en retenant une norme de $\pm 2SD$ par les médecins.
- Notre étude suggère que l'AEM des IJ pourrait être un marqueur de blessures plus intéressant que les moments de force maximaux.
- Le nouveau ratio fonctionnel de flexion du genou calculé de façon originale chez nos skieurs semble un paramètre intéressant à valider dans de futures études.
- La consommation de toxiques est importante chez les jeunes adultes, et de la prévention doit être effectuée dans ce domaine.

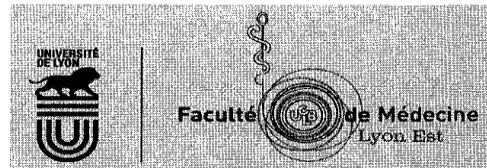
D. Limites et perspectives

Le remplissage quotidien des questionnaires tout au long de la saison demande une certaine rigueur aux athlètes, qui oublient souvent de le faire. Les données manquantes sont donc importantes. De plus, l'effectif de la population reste faible et les femmes sont peu représentées. Enfin, le caractère subjectif et surtout multifactoriel de la fatigue rend l'interprétation des résultats délicate malgré l'utilisation de scores validés.

Les tests isocinétiques actuels ne permettent pas de discriminer les skieurs plus à risque de blessures, et de nouveaux paramètres doivent être testés afin de répondre à la spécificité de la discipline:

- les ratios isoangulaires mesurés sur toute la plage par des méthodes d'analyse telles que le Statistical Parametric Mapping (SPM), qui permettent de comparer des courbes entières. D'autres méthodes basées sur des ratios de *Root Mean Square* sont encourageantes pour dépister les sujets à risque (86).
- le taux de développement rapide de force RFD (de l'anglais *rate of force development*) devrait être étudié en complément des moments de force maximaux puisqu'il donne des informations sur la capacité de production de force dans les toutes premières millisecondes de la contraction (<200ms) (32,93).
- les angles de pennation et les longueurs de fascicule ont été corrélés au risque de blessure des IJ (94). Or leur valeur a un impact sur la relation force-longueur et force-vitesse, puisque leur modification par l'entraînement en concentrique ou en excentrique décale l'AEM. Des études de screening des skieurs en échographie devraient permettre de caractériser musculairement les skieurs alpins en complément des courbes moment/angle.

V. CONCLUSIONS



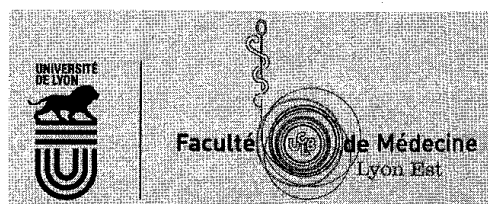
Nom, prénom du candidat : MOUTAL BOYER Juliana

CONCLUSIONS

Nous avons réalisé une étude de cohorte prospective observationnelle sur deux hivers consécutifs, dans une population de futurs moniteurs de ski alpin. L'objectif principal de cette étude était de décrire les profils isocinétiques de ces skieurs et de les mettre en lien avec la survenue des blessures. L'objectif secondaire était de décrire les circonstances des blessures, en étudiant plus particulièrement le paramètre de la fatigue.

Nos résultats ne retrouvent pas d'asymétrie bilatérale ni de différence entre les Fmax et les ratios IJ/Q des athlètes blessés au cours de la saison et des athlètes qui ne se sont pas blessés. Cela confirme les dernières études en football qui remettent en cause la capacité de dépistage des joueurs à risque grâce aux tests isocinétiques. L'AEM des IJ à 60°/s semble être un paramètre impliqué dans la survenue des blessures d'après le modèle multivarié réalisé. Ceci corrobore d'autres études qui proposent d'utiliser l'angle optimal de force comme facteur prédictif des blessures. La Fmax normalisée du Quadriceps à 60°/s est un facteur protecteur avec une baisse du risque de blessures à la limite de la significativité. Cependant ce résultat soutient l'idée largement reconnue que la force du Quadriceps est un élément clé de la performance en ski alpin et de la prévention des blessures, les athlètes les plus puissants semblant moins se blesser que les autres. Le test de fatigabilité en isocinétisme ne montrait pas de différence en fonction du groupe blessé ou non. Les nombreuses données manquantes des questionnaires n'ont pas permis de mettre en évidence une influence claire de la fatigue sur les blessures. Seul le questionnaire de surentrainement rempli au mois de mars retrouvait un score supérieur chez les athlètes avant blessure. Cependant, nous croyons qu'un remplissage plus systématique permettrait une prise de conscience des entraîneurs et des athlètes de leur état de fatigue via l'évolution des courbes et des scores de fatigue, et donc une adaptation de l'entraînement. La moitié des blessures recensées concernaient l'articulation du genou, et se produisaient dans des conditions météorologiques favorables.

Au total, la forte prévalence des blessures en ski et en particulier celles du genou, encourage le développement des tests isocinétiques à large échelle, non seulement pour les sportifs élités mais également pour les sportifs professionnels ou amateurs. Notre étude suggère que les tests isocinétiques actuels ne permettent pas de discriminer les athlètes à risque de blessure. D'autres études prospectives sont nécessaires afin d'établir la valeur prédictive des ratios IJ/Q, ainsi que d'autres paramètres tels que



l'AEM sur l'incidence des blessures en ski alpin. Le caractère multifactoriel des blessures motive une évaluation globale du sportif, intégrant des paramètres subjectifs. Ainsi, l'auto-évaluation de l'état de forme du sportif semble être un outil intéressant dans le suivi de l'athlète, que l'on se doit d'informer et de responsabiliser dans sa prise en charge.

Le Président de la thèse,

Nom et Prénom du Président

Signature

P. Servien
 Professeur Émile SERVIER
 CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE
 Pavillon R
 Hôpital de la Croix Rousse
 103, Grande rue de la Croix Rousse
 69317 LYON CEDEX 04
 RPPS 10003133880 - Finess 690784152

Vu :

Pour Le Président de l'Université

Le Doyen de l'UFR de Médecine Lyon Est



Gilles Rode
Professeur Gilles RODE



Vu et permis d'imprimer
 Lyon, le 07 NOV. 2017

VI. BIBLIOGRAPHIE

1. Abe T, Kawakami Y, Ikegawa S, Kanehisa H, Funkunaka T. Isometric and isokinetic knee joint performance in Japanese alpine ski racers. *J Sports Med Phys Fitness*. 1992 Dec;32(4):353-7.
2. Zeglinski C., Swanson S., Self B., Greenwald R. Muscle activity in the slalom turn of alpine skiing and in-line skating. *Int J Sports Med*. 1998 Oct;19(7):447-54.
3. Hintermeister RA, O'Connor DD, Dillman CJ, Suplizio CL, Lange GW, Steadman JR. Muscle activity in slalom and giant slalom skiing. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(3):315-22.
4. Berg HE, Eiken O. Muscle control in elite alpine skiing. *Med Sci Sports Exerc*. 1999 Jul;31(7):1065-7.
5. Hintermeister RA, O'Connor DD, Lange GW, Dillman CJ, Steadman JR. Muscle activity in wedge parallel and giant slalom skiing. *Med Sci Sports Exerc*. 1997 Apr;29(4):548-53.
6. Berg HE, Eiken O, Tesch P. Involvement of eccentric muscle actions un giant slalom racing. *Med Sci Sports Exerc*. 1995;27(12):1666-70.
7. Steenstrup S, Bahr R. FIS Injury Surveillance System 2006-2015. Oslo Sports Trauma Research Center; 2015.
8. Pujol N, Blanchi M, Chambat P. The incidence of anterior cruciate ligament injuries among competitive Alpine skiers: a 25-year investigation. *Am J Sports Med*. 2007 Jul;35(7):1070-4.
9. Flørenes TW. Injuries among male and female World Cup alpine skiers. *Br J Sports Med*. 2009 Dec;43(13):973-8.
10. Médecins de montagne. L'accidentologie des sports d'hiver, hiver 2014-2015, Dossier de presse. 2015.
11. Bere T, Flørenes TW, Krosshaug T, Koga H, Nordsletten L, Irving C, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in world cup alpine skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *Am J Sports Med*. 2011;39(7):1421-9.
12. Bere T, Flørenes TW, Krosshaug T, Nordsletten L, Bahr R. Events leading to anterior cruciate ligament injury in World Cup Alpine Skiing: a systematic video analysis of 20 cases. *Br J Sports Med*. 2011 Dec 15;45(16):1294-302.

13. Sulheim S, Holme I, Rødven A, Ekeland A, Bahr R. Risk factors for injuries in alpine skiing, telemark skiing and snowboarding - case-control study. *Br J Sports Med.* 2011 Dec 15;45(16):1303–9.
14. Hasler RM. Are there risk factors in alpine skiing? A controlled multicentre survey of 1278 skiers. *Br J Sports Med.* 2009 Dec;43(13):1020–5.
15. Spörri J, Kröll J, Amesberger G, Blake OM, Müller E. Perceived key injury risk factors in World Cup alpine ski racing--an explorative qualitative study with expert stakeholders. *Br J Sports Med.* 2012 Dec;46(15):1059–64.
16. Lloyd Ireland M. Anterior cruciate ligament injury in female athletes: epidemiology. *J Athl Train.* 1999 Jun;34(2):150–4.
17. Kröll J, Spörri J, Gilgien M, Schwameder H, Müller E. Effect of ski geometry on aggressive ski behaviour and visual aesthetics: equipment designed to reduce risk of severe traumatic knee injuries in alpine giant slalom ski racing. *Br J Sports Med.* 2016 Jan;50(1):20–5.
18. Kröll J, Spörri J, Gilgien M, Schwameder H, Müller E. Sidecut radius and kinetic energy: equipment designed to reduce risk of severe traumatic knee injuries in alpine giant slalom ski racing. *Br J Sports Med.* 2016 Jan;50(1):26–31.
19. Spörri J, Kröll J, Schwameder H, Schieffermüller C, Müller E. Course setting and selected biomechanical variables related to injury risk in alpine ski racing: an explorative case study. *Br J Sports Med.* 2012 Dec;46(15):1072–7.
20. Haaland B, Steenstrup SE, Bere T, Bahr R, Nordsletten L. Injury rate and injury patterns in FIS World Cup Alpine skiing (2006-2015): have the new ski regulations made an impact? *Br J Sports Med.* 2016 Jan;50(1):32–6.
21. Bere T, Flørenes TW, Krosshaug T, Haugen P, Svandal I, Nordsletten L, et al. A systematic video analysis of 69 injury cases in World Cup alpine skiing. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;
22. Steenstrup S, Bere T, Flørenes TW, Bahr R, Nordsletten L. Injury incidence in qualification runs versus final runs in FIS World Cup snowboard cross and ski cross. *Br J Sports Med.* 2011 Dec 15;45(16):1310–4.
23. Di Palma E. Isocinétique - guide clinique. 2009.
24. Aagaard P, Simonsen EB, Trolle M, Klausen K. Specificity of training velocity and training load on gains in isokinetic knee joint strength. *Acta Physiol Scand.* 1996;(156):123–9.

25. Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P. A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med.* 1998;26(2).
26. Brockett CL, Morgan DL, Proske U. Predicting hamstring strain injury in elite athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2004 Mar;36(3):379–87.
27. Brockett C, Morgan D, Proske U. Human hamstring muscles adapt to eccentric exercise by changing optimum length. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 May;33(5):783–90.
28. Proske U, Morgan D, Brockett C, Percival P. Identifying athletes at risk of hamstring strains and how to protect them. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2004;31:546–50.
29. Kellis E. Quantification of quadriceps and hamstring antagonist activity. *Sports Med.* 1998 Jan;25(1):37–62.
30. Croisier J-L, Forthomme B, Namurois M-H, Vanderthommen M, Crielaard J-M. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med.* 2002;30(2).
31. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players. *Am J Sports Med.* 2008;36(8).
32. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Rapid hamstrings/quadriceps strength in ACL-reconstructed elite Alpine ski racers. *Med Sci Sports Exerc.* 2015 Jan;47(1):109–19.
33. Hewett TE, Ford KR, Myer GD. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes; part 2, a meta-analysis of neuromuscular interventions aimed at injury prevention. *Am J Sports Med.* 2006;34(3):490–8.
34. Hewett TE, Myer GD. Reducing knee and anterior cruciate ligament injuries among female athletes. A systematic review of neuromuscular training interventions. *J Knee Surg.* 2005 Jan;18(1):82–8.
35. Myer GD, Ford KR, Palumbo JP, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):51–60.
36. Sapega AA. Muscle performance evaluation in orthopaedic practice. *J Bone Jt Surg.* 1990 Dec;72(10).
37. Baratta R, Solomonow M, Zhou B, Letson D. Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *Am J Sports Med.* 1988;16(2).
38. Opar DA, Serpell BG. Is there a potential relationship between prior hamstring strain injury and increased risk for future anterior cruciate ligament injury? *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;(95):401–5.

39. Dallinga JM, Benjaminse A, Lemmink K. Which screening tools can predict injury to the lower extremities in team sports? *Sports Med.* 2012;42(9):791–815.
40. Söderman K, Alfredson H, Pietilä T, Werner S. Risk factors for leg injuries in female soccer players: a prospective investigation during one out-door season. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA.* 2001 Sep;9(5):313–21.
41. van Dyk N, Bahr R, Whiteley R, Tol JL, Kumar BD, Hamilton B, et al. Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries: A 4-Year Cohort Study. *Am J Sports Med.* 2016 Jul;44(7):1789–95.
42. Yeung SS, Suen AMY, Yeung EW. A prospective cohort study of hamstring injuries in competitive sprinters: preseason muscle imbalance as a possible risk factor. *Br J Sports Med.* 2009 Aug 1;43(8):589–94.
43. Dauty M, Menu P, Fouasson-Chailloux A, Ferréol S, Dubois C. Prediction of hamstring injury in professional soccer players by isokinetic measurements. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2016 Mar;6(1):116–23.
44. Bennell K, Wajswelner H, Lew P, Schall-Riaucour A, Leslie S, Plant D, et al. Isokinetic strength testing does not predict hamstring injury in Australian Rules footballers. *Br J Sports Med.* 1998 Dec 1;32(4):309–14.
45. Zvijac JE, Toriscelli TA, Merrick S, Kiebzak GM. Isokinetic concentric quadriceps and hamstring strength variables from the NFL Scouting Combine are not predictive of hamstring injury in first-year professional football players. *Am J Sports Med.* 2013 Jul;41(7):1511–8.
46. Haymes EM, Dickinson AL. Characteristics of elite male and female ski racers. *Med Sci Sports Exerc.* 1980;12(3):153–8.
47. Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, Koller A, Eibl G, Raas E. Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *Int J Sports Med.* 2003 Nov;24(8):571–5.
48. Jordan MJ, Aagaard P, Herzog W. Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scand J Med Sci Sports.* 2015 Jun;25(3):e301-309.
49. Spring H, Jordan K. [Maximal and high-velocity power. A study in Swiss male and female national ski athletes]. *Schweiz Z Für Med Traumatol Rev Suisse Pour Médecine Traumatol.* 1994;(2):27–9.
50. Koutedakis Y, Boreham C, Kabitsis C, Sharp NC. Seasonal deterioration of selected physiological variables in elite male skiers. *Int J Sports Med.* 1992 Oct;13(7):548–51.

51. Gross M, Lüthy F, Kroell J, Müller E, Hoppeler H, Vogt M. Effects of eccentric cycle ergometry in alpine skiers. *Int J Sports Med*. 2010 Aug;31(8):572–6.
52. Alhammoud M. Influence du sexe et de la spécialité sportive sur le profil isocinétique des skieurs alpins en équipe de France B. Claude Bernard Lyon 1; 2016.
53. Hausswirth C. Récupération et Performance en Sport: S'améliorer à haut-niveau par la récupération. INSEP. 2010.
54. Barry BK, Enoka RM. The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. *Integr Comp Biol*. 2007 Oct;47(4):465–73.
55. Chennaoui M, Gomez-Merino D, Duclos M, Guézennec C. La fatigue:mécanismes et conséquences. *Sci Sports*. 2004;(19):270–9.
56. Kreider RB, Fry AC, O'Toole ML. Overtraining in sport. *Human Kinetics*; 1998. 403 p.
57. Urhausen A, Gabriel HH, Weiler B, Kindermann W. Ergometric and psychological findings during overtraining: a long-term follow-up study in endurance athletes. *Int J Sports Med*. 1998 Feb;19(2):114–20.
58. Gabriel HH, Urhausen A, Valet G, Heidelberg U, Kindermann W. Overtraining and immune system: a prospective longitudinal study in endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 1998 Jul;30(7):1151–7.
59. MacKinnon LT. Overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol Cell Biol*. 2000 Oct;78(5):502–9.
60. Place N, Yamada T, Bruton J., Westerblad H. Muscle fatigue: from observations in humans to underlying mechanisms studied in intact single muscle fibres. *Eur J Appl Physiol*. 2010;(110):1–15.
61. Rouillon J., Candau R. La fatigue périphérique: sites subcellulaires et mécanismes biologiques. *Sci Sports*. 2000;(15):234–41.
62. Blom P, Vøllestad N, Costill D. Factors affecting changes in muscle glycogen concentration during and after prolonged exercise. *Acta Physiol Scand Suppl*. 1985 1986;556:67–74.
63. Coyle E., Hagberg J., Hurley B., Martin W. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *JApplPhysiol*. 1983;(55):230–5.
64. Millet GY. Can neuromuscular fatigue explain running strategies and performance in ultra-marathons?: the flush model. *Sports Med Auckl NZ*. 2011 Jun 1;41(6):489–506.
65. Hooper SL, Mackinnon LT, Howard A, Gordon RD, Bachmann AW. Markers for monitoring overtraining and recovery. *Med Sci Sports Exerc*. 1995 Jan;27(1):106–12.

66. Luke A, Lazaro R., Bergeron M., Keyser L, Holly B, Brenner J. Sports-related injuries in youth athletes: is overscheduling a risk factor? *Clin J Sport Med.* 2011 Jul;21(4).
67. Milewski M., Skaggs D., Bishop G. Chronic lack of sleep is associated with increased sports injuries in adolescent athletes. *J Pediatr Orthop.* 2014 Mar;34(2).
68. Shephard RJ, Shek PN. Acute and chronic over-exertion: do depressed immune responses provide useful markers? *Int J Sports Med.* 1998 Apr;19(3):159–71.
69. Ortiz A, Olson SL, Etnyre B, Trudelle-Jackson EE, Bartlett W, Venegas-Rios HL. Fatigue effects on knee joint stability during two jump tasks in women. *J Strength Cond Res.* 2010 Apr;24(4):1019–27.
70. Tesch P. Aspects on muscle properties and use in competitive alpine skiing. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;
71. Andersen RE, Montgomery DL. Physiology of alpine skiing. *Sports Med.* 1988;6:210–21.
72. White GE, Wells GD. The effect of on-hill active recovery performed between runs on blood lactate concentration and fatigue in alpine ski racers. *J Strength Cond Res.* 2015 Mar;29(3):800–6.
73. Sangnier S, Tourny-Chollet C. Comparison of the decrease in strength between hamstrings and quadriceps during isokinetic fatigue testing in semiprofessional soccer players. *Int J Sports Med.* 2007;(28):952–7.
74. Ruedl G, Helle K, Tecklenburg K, Schranz A, Fink C, Posch M, et al. [Impact of Self-Reported Fatigue on ACL Injuries in Alpine Skiing: A Sex Comparison]. *Sportverletz Sportschaden Organ Ges Für Orthop-Traumatol Sportmed.* 2015 Dec;29(4):226–30.
75. Maso F, Lac G, Brun JF. Analyse et interprétation du questionnaire de la Société française de médecine du sport pour la détection de signes précoces de surentraînement : étude multicentrique . *Sci Sports.* 2005 Feb 1;20(1):12–20.
76. Chamarro A, Fernández-Castro J. The perception of causes of accidents in mountain sports: A study based on the experiences of victims. *Accid Anal Prev.* 2009 Jan;41(1):197–201.
77. Verhagen E, van Mechelen W. Sports Injury Research [Internet]. Oxford University Press; 2009 [cited 2016 Oct 7]. Available from: <http://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/acprof:oso/9780199561629.001.0001/acprof-9780199561629>
78. Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Opar DA. Is There Evidence to Support the Use of the Angle of Peak Torque as a Marker of Hamstring Injury and Re-Injury Risk? *Sports Med.* 2016 Jan 1;46(1):7–13.

79. Brughelli M, Nosaka K, Cronin J. Application of eccentric exercise on an Australian Rules football player with recurrent hamstring injuries. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med*. 2009 May;10(2):75–80.
80. Hewett TE, Myer GD, Zazulak BT. Hamstrings to quadriceps peak torque ratios diverge between sexes with increasing isokinetic angular velocity. *J Sci Med Sport Sports Med Aust*. 2008 Sep;11(5):452–9.
81. Sangnier S, Tourny-Chollet C. Study of the fatigue curve in quadriceps and hamstrings of soccer players during isokinetic endurance testing. *J Strength Cond Res*. 2008;22(5):1458–67.
82. Gerodimos V, Mandou V, Zafeiridis A, Ioakimidis P, Stavropoulos N, Kellis S. Isokinetic peak torque and hamstring/quadriceps ratios in young basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2003;44(4):444–52.
83. Kröll J, Spörri, Jörg, Kandler C, Fasel B, Müller E, Schwameder H. Kinetic and kinematic comparison of alpine ski racing disciplines as a base for specific conditioning regimes. In Poitiers, France; 2015.
84. El-Ashker S, Carson BP, Ayala F, De Ste Croix M. Sex-related differences in joint-angle-specific functional hamstring-to-quadriceps strength ratios. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc Off J ESSKA*. 2015 Jul 7;
85. Hansen C, Einarson E, Thomson A, Whiteley R, Witvrouw E. Hamstring and calf muscle activation as a function of bodyweight support during treadmill running in ACL reconstructed athletes. *Gait Posture*. 2017 Oct;58:154–8.
86. Huang H, Guo J, Yang J, Jiang Y, Yu Y, Müller S, et al. Isokinetic angle-specific moments and ratios characterizing hamstring and quadriceps strength in anterior cruciate ligament deficient knees. *Sci Rep*. 2017 Aug 4;7(1):7269.
87. van Dyk N, Bahr R, Whiteley R, Tol JL, Kumar BD, Hamilton B, et al. Hamstring and Quadriceps Isokinetic Strength Deficits Are Weak Risk Factors for Hamstring Strain Injuries: A 4-Year Cohort Study. *Am J Sports Med*. 2016 Jul;44(7):1789–95.
88. Arendt E, Dick R. Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med*. 1995 Dec;23(6):694–701.
89. Jacobs R, Bobbert MF, van Ingen Schenau GJ. Function of mono- and biarticular muscles in running. *Med Sci Sports Exerc*. 1993 Oct;25(10):1163–73.
90. Brisola-Santos MB, Gallinaro JG de ME, Gil F, Sampaio-Junior B, Marin MCD, de Andrade AG, et al. Prevalence and correlates of cannabis use among athletes-A systematic review. *Am J Addict*. 2016 Oct;25(7):518–28.

91. Kennedy MC. Cannabis: Exercise performance and sport. A systematic review. *J Sci Med Sport*. 2017 Sep;20(9):825–9.
92. Margreiter R, Raas E, Lugger LJ. The risk of injury in experienced Alpine skiers. *Orthop Clin North Am*. 1976 Jan;7(1):51–4.
93. Andersen LL, Aagaard P. Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol*. 2006 Jan;96(1):46–52.
94. Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Architectural adaptations of muscle to training and injury: a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness. *Br J Sports Med*. 2016 Jan 27.

VII. ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire de Hooper

Hooper et al. 1995 Original 1 – 7 Scale

SUBJECTIVE RATINGS OF QUALITY OF SLEEP, FATIGUE, STRESS AND MUSCLE SORENESS

Determine your rating for each category every morning before any training or other activity

SLEEP 1- VERY, VERY GOOD 2- VERY GOOD 3- GOOD 4- AVERAGE 5- BAD 6- VERY BAD 7- VERY, VERY BAD	STRESS 1- VERY, VERY LOW 2- VERY LOW 3- LOW 4- AVERAGE 5- HIGH 6- VERY HIGH 7- VERY, VERY HIGH
FATIGUE 1- VERY, VERY LOW 2- VERY LOW 3- LOW 4- AVERAGE 5- HIGH 6- VERY HIGH 7- VERY, VERY HIGH	MUSCLE SORENESS 1- VERY, VERY LOW 2- VERY LOW 3- LOW 4- AVERAGE 5- HIGH 6- VERY HIGH 7- VERY, VERY HIGH

Annexe 2 : Questionnaire de surentrainement de la SFMES

Fiche de renseignement concernant le sportif examiné

Nom : Prénom : Date du jour :

Date de naissance :

Quelle est votre profession ?

Si vous êtes étudiant, êtes-vous en période d'examens ? oui non

Quelle est votre discipline sportive principale ?

Niveau de pratique ? International ou National ou Régional ou Départemental ou Loisir

Combien d'heures d'entraînement réalisées dans ce dernier mois ?.....

Combien d'heures réalisées cette dernière semaine dans la discipline principale?.....

Combien d'heures réalisées cette dernière semaine hors de cette discipline principale?.....

Nombre de compétitions dans le mois qui précède (en journées de compétition) :.....

Si vous pratiquez d'autres disciplines sportives, citez les ?

Y a-t-il eu au cours du dernier mois, un événement important ayant perturbé votre vie personnelle ou familiale ? oui non

Avez-vous arrêté votre entraînement pour maladie ou blessure ? oui non

Prenez-vous un traitement actuellement ? oui non

Lequel ?

Avez-vous effectué un stage récent en altitude (dans les derniers 15 jours) ? oui non

Avez-vous été privé de sommeil dans la dernière semaine (décalage horaire ou autres raison) ?
oui non

Avez-vous des troubles des règles ? oui non

Mettre une croix pour se situer entre ces deux extrêmes :

Mon niveau de performance est : Mauvais Excellent

<----->

Mon état physique : Grande forme Méforme

<----->

Je me fatigue : Plus lentement Plus rapidement

<----->

Je récupère de mon état de fatigue :

Plus vite <-----> Plus lentement

Je me sens :

Très détendu <-----> Très anxieux

J'ai la sensation que ma force musculaire a :

Augmenté <-----> Diminué

J'ai la sensation que mon endurance a :

Augmenté <-----> Diminué

Ce dernier mois :

Entourer la bonne réponse

1	Mon niveau de performance sportive/mon état de forme a diminué	OUI	NON
2	Je ne soutiens pas autant mon attention	OUI	NON
3	Mes proches estiment que mon comportement a changé	OUI	NON
4	J'ai une sensation de poids sur la poitrine	OUI	NON
5	J'ai une sensation de palpitation	OUI	NON
6	J'ai une sensation de gorge serrée	OUI	NON
7	J'ai moins d'appétit qu'avant	OUI	NON
8	Je mange davantage	OUI	NON
9	Je dors moins bien	OUI	NON
10	Je somnole et baille dans la journée	OUI	NON
11	Les séances me paraissent trop rapprochées	OUI	NON
12	Mon désir a diminué	OUI	NON
13	Je fais de contre-performances	OUI	NON
14	Je m'enrhume fréquemment	OUI	NON
15	J'ai des problèmes de mémoire	OUI	NON
16	Je grossis	OUI	NON
17	Je me sens souvent fatigué	OUI	NON
18	Je me sens en état d'infériorité	OUI	NON
19	J'ai des crampes, douleurs musculaires fréquentes	OUI	NON
20	J'ai plus souvent mal à la tête	OUI	NON
21	Je manque d'entrain	OUI	NON
22	J'ai parfois des malaises ou des étourdissements	OUI	NON
23	Je me confie moins facilement	OUI	NON
24	Je suis souvent patraque	OUI	NON
25	J'ai plus souvent mal à la gorge	OUI	NON
26	Je me sens nerveux, tendu, inquiet	OUI	NON
27	Je supporte moins bien mon entraînement	OUI	NON
28	Mon cœur bat plus vite qu'avant au repos	OUI	NON
29	Mon cœur bat plus vite qu'avant à l'effort	OUI	NON
30	Je suis souvent mal fichu	OUI	NON
31	Je me fatigue plus facilement	OUI	NON
32	J'ai souvent des troubles digestifs	OUI	NON
33	J'ai envie de rester au lit	OUI	NON
34	J'ai moins confiance en moi	OUI	NON
35	Je me blesse facilement	OUI	NON
36	J'ai plus de mal à rassembler mes idées	OUI	NON
37	J'ai plus de mal à me concentrer dans mon activité sportive	OUI	NON
38	Mes gestes sportifs sont moins précis, moins habiles	OUI	NON
39	J'ai perdu de la force, du punch	OUI	NON
40	J'ai l'impression de n'avoir personne de proche à qui parler	OUI	NON
41	Je dors plus	OUI	NON
42	Je tousse plus souvent	OUI	NON
43	Je prends moins de plaisir à mon activité sportive	OUI	NON
44	Je prends moins de plaisir à mes loisirs	OUI	NON
45	Je m'irrite plus facilement	OUI	NON
46	J'ai une baisse de rendement (activité scolaire ou professionnelle)	OUI	NON
47	Mon entourage trouve que je deviens moins agréable à vivre	OUI	NON
48	Les séances sportives me paraissent trop difficiles	OUI	NON
49	C'est ma faute si je réussis moins bien	OUI	NON
50	J'ai les jambes lourdes	OUI	NON
51	J'égare plus facilement les objets (clefs, etc..)	OUI	NON
52	Je suis pessimiste, j'ai des idées noires	OUI	NON
53	Je maigris	OUI	NON
54	Je me sens moins motivé, j'ai moins de volonté, moins de ténacité	OUI	NON

Annexe 3 : Questionnaire rempli par les blessés

QUESTIONNAIRE BLESSE			
-Date :	âge : ans	sexe : ☐ M ☐ F	
-Discipline lors de la blessure :	☐ Descente	☐ SuperG	☐ Géant
☐ compétition	☐ entraînement officiel lors de la compétition		
☐ entraînement habituel de ski	☐ ski Libre	☐ préparation physique	☐ autre :
-Marque du matériel : skis : _____		chaussures : _____	bâtons : _____
-Météo :			
Temps :	☐ clair/ensoleillé	☐ brouillard/nuageux	☐ neigeux
Visibilité :	☐ bonne	☐ réduite	☐ autre : _____
Neige :	☐ fraîche	☐ ancienne	☐ artificielle
Piste :	☐ lisse	☐ bosselée	☐ fondue
	☐ dure	☐ molle/poudreuse	☐ injectée
-Situation de ski :			
Accident lors d'un :	☐ virage	☐ saut	☐ ligne droite
chute : ☐ oui ☐ non	ouverture de la fixation :		☐ autre : _____
☐ contact (filet de sécurité/ porte)	☐ accident sans contact		☐ oui ☐ non
Vitesse :	☐ élevée	☐ moyenne	☐ faible
Niveau de course :	☐ difficile	☐ moyen	☐ facile
Topographie :	☐ plat	☐ pente moyenne	☐ pentu
Portion de piste :	☐ large	☐ étroite	☐ compression
Déséquilibre : ☐ oui ☐ non			☐ autre : _____
Si oui : ☐ arrière	☐ avant	☐ latéral : ☐ vers l'intérieur	☐ extérieur
Membre inférieur en :	☐ flexion importante	☐ presque en extension	☐ autre : _____
Distribution du poids :	☐ égale	☐ inégal, principalement sur :	☐ jambe droite ☐ jambe gauche
	☐ autre : _____		
Si atteinte épaule : ☐ charge axiale sur un bras tendu ☐ choc direct sur l'épaule			
☐ résistance du skieur (charge excentrique) contre une abduction forcée et rotation externe			
☐ bâton de ski fixé dans la main			
Si atteinte du genou :			
☐ slip-catch (virage avec perte d'équilibre en arrière et/ou intérieur)			
☐ landing back-weighted (en descente, atterrissage en déséquilibre arrière)			
☐ dynamic snowplow ('chasse-neige dynamique')			
☐ atterrissage en flexion forcée après un saut			
☐ enfouissage			
☐ lors d'un virage, la carre externe du ski intérieur mord la surface de la neige, forçant le genou en valgus rotation externe dans une position hyperfléchie.			
☐ Autre mécanisme: _____			
-Type d'accident : fiche des Médecins de Montagne à remplir			

-Patient:

Expérience du ski (nb d'années) : _____

Consommation durant le ski de: ☐ drogues ☐ alcool ☐ abstinence de ces substances

Echauffement >10 min : ☐ oui ☐ non

Port de protections : ☐ casque ☐ protections de poignets ☐ dorsale

Nouveau matériel de ski : ☐ oui ☐ non

Préparation à la vitesse autoévalué à : EVA_{vitesse} (1 signifiant vitesse minimale par rapport à celle de la course et 10 vitesse maximale) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Préparation au risque autoévalué à : EVA_{risque} (1 signifiant prise de risque minimal et 10 risque maximal) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Perte de contrôle: ☐ oui ☐ non

Faute technique/tactique : ☐ oui ☐ non

si saut : (cocher et entourer)

☐ erreur au décollage du saut : vitesse inappropriée/ ligne de course inappropriée/mauvais timing ?

☐ problème à l'atterrissage : sur le plat / compression/ la carre de ski a mordu ?

☐ Autre : _____

Description de la situation conduisant à la blessure avec vos propres mots :

Schéma :

-Suivi blessure :

Temps de retour à l'entraînement : ____ jours

Temps de retour à la compétition : ____ jours

Médecin : Dr _____

Date de consultation (first consultation) : ____ / ____ / ____

seuls les champs grisés seront pris en compte lors de la saisie

Nom (surname) : _____ Prénom (firstname) : _____
 Date de naissance (birth date) : ____ / ____ / ____ Sexe : ☐ F ☐ M Tél (mobile phone) : _____
 Pays (country) : _____ Code postal (zip code) : _____ Ville (city) : _____
 Adresse principale (home address) : _____

**PARTIE
MÉDICALE À
REmplir AU
VERSO TSVP →**

TYPE D'ACCIDENT (Type of injury)

☐ sport ☐ accident domestique (accident in the home) ☐ accident de la voie publique (road traffic accident) ☐ autre (other)
 ↳ si sport : ☐ ski alpin (alpine ski) ☐ snowboard ☐ miniski (skiboard)
☐ ski de fond (Cross-country skiing) ☐ luge ☐ autre (other), précisez : _____

Niveau : ☐ débutant <7j (beginner <7days) ☐ débrouillé (medium)
☐ confirmé (expert) ☐ professionnel (professional)

Intervention des pisteurs (ski-patrol) : ☐ non ☐ oui

Collision (collision) : ☐ non ☐ oui avec une autre personne (with another person) ☐ oui avec un obstacle (with an obstacle)

Accident en snowpark (injury in a snowpark) : ☐ non ☐ oui

Casque (Helmet) : ☐ non ☐ oui

Protection de poignet (wrist guard) : ☐ non ☐ oui

Commentaires et diagnostic : _____

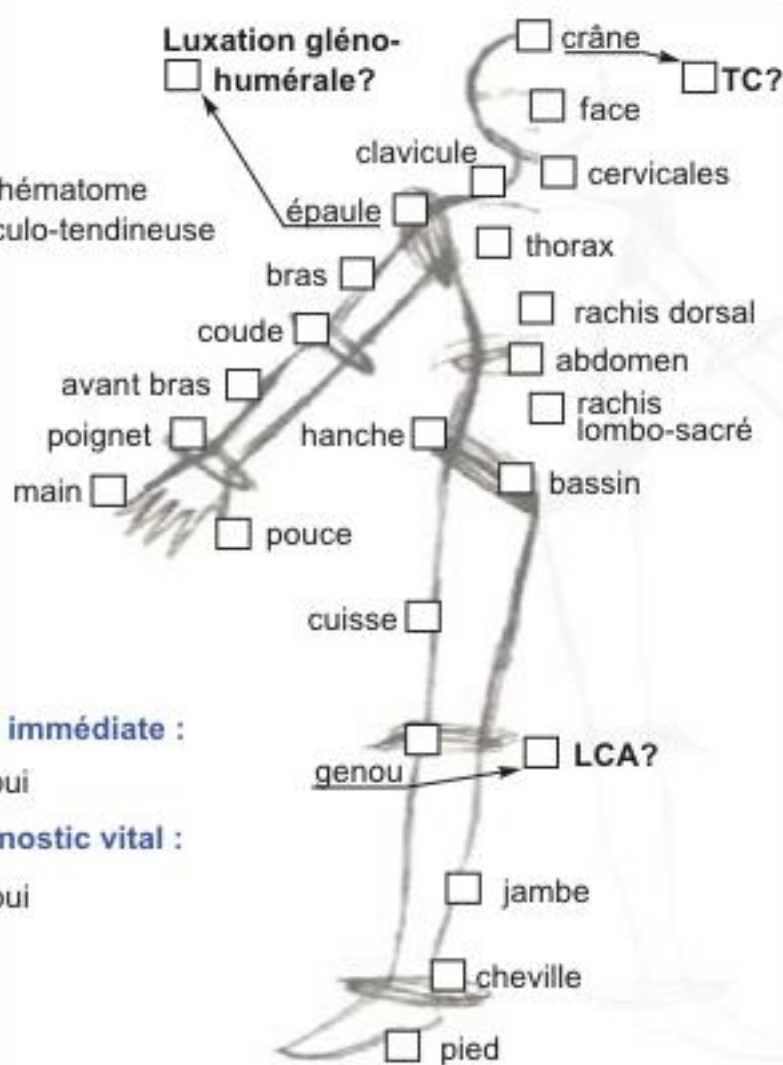
A REMPLIR PAR LE MEDECIN

A. Nombre de lésions : En cas de lésions multiples, renseigner le numéro de la lésion dans la case lésion et siège.

B. Type de lésion :

- ☐ Fracture
- ☐ Entorse
- ☐ Luxation
- ☐ Plaie
- ☐ Contusion / hématome
- ☐ Lésion musculo-tendineuse

C. Siège :



D. Hospitalisation immédiate :

- ☐ non ☐ oui

Atteinte du pronostic vital :

- ☐ non ☐ oui

E. Evaluation de la douleur sur une échelle numérique :

A l'arrivée du patient :

EVA (entourez) : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ☐ Non demandé

Après la prise en charge :

EVA (entourez) : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ☐ Non demandé



MOUTAL BOYER JULIANA

EVALUATION ISOCINETIQUE ET RISQUE DE BLESSURES CHEZ LES MONITEURS DE SKI

Résumé : Objectif : L'objectif principal de cette étude était de décrire les profils isocinétiques d'une population de futurs moniteurs de ski alpin, et de les mettre en relation avec la survenue des blessures. L'objectif secondaire était d'étudier les circonstances des blessures et notamment le paramètre de la fatigue.

Méthodes : de 2013 à 2015, 42 skieurs ont été suivis prospectivement (remplissage de questionnaires de Hooper et de la SFMES), 36 d'entre eux ont réalisé un test isocinétique en début de saison. Toutes les blessures ont été répertoriées.

Résultats : aucune différence entre les moments de force maximaux et les ratios ischio-jambiers/quadriceps (IJ/Q) des athlètes blessés au cours de la saison et des autres n'a été trouvée. L'angle d'efficacité maximale des IJ à 60°/s semble être un paramètre impliqué dans la survenue des blessures ($p=0,04$). 12 blessures ont été recensées, et la moitié concernait l'articulation du genou. L'influence de la fatigue n'a pas pu être mise en évidence.

Conclusion : les tests isocinétiques actuels ne permettent pas de dépister les athlètes à risque de blessure. D'autres études sont nécessaires afin d'établir la valeur prédictive des ratios IJ/Q. Le caractère multifactoriel des blessures motive une évaluation globale du sportif, incluant l'auto-évaluation de son état de forme.

Mots clés : isocinétisme, ski, blessure, fatigue

JURY :

Présidente : Madame le Professeur Elvire SERVIEN

Membres : Monsieur le Professeur Michel-Henri FESSY

Monsieur le Professeur Karim TAZAROURTE

Madame le Docteur Marine RACINAIS ALHAMMOUD

Date de soutenance : 14 décembre 2017

Adresse postale de l'auteur : 13 Quai Romain Rolland, 69005 LYON

Email : juliana.moutalboyer@gmail.com