UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

DIFFÉRENTES MODALITÉS D'ÉVALUATION DE LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE MAXIMALE CHEZ DES SKIEURS DE FOND ÉLITES EN PAS ALTERNATIF

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR

PATRICK COBELLO

MAI 2020

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.10-2015). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à débuter mon mémoire en prenant le temps de remercier certaines personnes qui m'ont aidé à compléter ma maitrise, directement ou indirectement. Quand j'ai décidé de débuter ma maitrise, j'avais un semblant de plan en tête, mais rien de concret pour savoir ce que j'allais faire avec ce cheminement. Une chose était certaine, lorsque je suis retourné à l'école, j'avais l'intention de terminer quelque chose que j'aurais dû faire directement après le baccalauréat. Après avoir essayé pratiquement tous les domaines de la kinésiologie, je voulais uniquement me concentrer sur la performance humaine, dans le domaine sportif. La maîtrise était donc une obligation pour ma part afin de me démarquer des autres. Pour débuter cette maîtrise, je devais donc produire un thème et une question de recherche, ce qui a été la portion la plus difficile de la maîtrise, selon moi.

La première personne que je vais remercier est Benoît Léveillé. Mon mentor et coach en triathlon, mais aussi en ski de fond! Toute ma passion du sport ne m'aura pas amené sur le plan national, mais m'aura permis de devenir une ressource en sport et d'avoir pu tirer plaisir de chaque moment que j'ai lorsque je m'entraine, malgré la fatigue et les conditions météorologiques. Cette façon de penser a su contribuer à ce mémoire, car aucun défi n'est trop grand et c'est un peu grâce à SmO2!

Rémi Brière, tu m'as permis de vivre de bons moments et confirmer ma passion. Malgré l'école qui ne m'a pas permis de persister avec le club, cette maitrise est le

résultat d'une passion plus grande que moi. Cette maîtrise m'a ramené à mes sources du sport, à créer un club de ski de fond et à poursuivre mon cheminement à titre d'entraineur.

Mylène Briand, qui m'aura vu devant l'ordinateur taper des mots et qui comprend très bien la réalité d'un mémoire. Merci pour ton assistance technique sur l'écriture, mais aussi merci pour m'avoir encouragé dans ce périple. C'est toujours un défi financier, mais supporter un être cher financièrement lorsque l'on peut, dans une passion et un parcours académique comme celui-ci, n'a pas de prix.

Merci à Alain Steve Comtois pour l'encadrement, l'aide lors de l'écriture, les prises de données et ton mentorat.

DÉDICACE

À mes parents, ami(e)s
ainsi qu'à toutes les personnes qui ont participé
de près ou de loin à la réalisation de ce travail.
Ma plus profonde reconnaissance
pour votre soutien et vos encouragements.

AVANT-PROPOS

La présente recherche s'inscrit dans un processus réflexif par l'auteur principal de celle-ci afin d'explorer les possibilités de la création d'un test sur neige pour les skieurs de fond. La problématique des clubs de ski de fond à travers le Canada, si ce n'est pas le monde, est le manque énorme d'outils à jour et précis pour apprécier les athlètes dans leur processus athlétique. Plusieurs corrélations existent afin d'aider les intervenants dans l'évaluation des athlètes, mais ceux cherchant ainsi la vérité restent sceptiques face aux données ainsi qu'aux résultats, car plusieurs athlètes qui devraient performer n'y arrivent pas.

La contribution de la présente recherche vient appuyer le désir de Nordiq Canada ainsi que Ski de fond Québec dans la quête de mieux comprendre notre sport ainsi que nos athlètes qui y évoluent. En nous basant sur notre revue des connaissances actuelles dans le domaine au niveau mondial, nous voulons amener une réflexion constante dans l'observation des performances, afin d'éviter la nonchalance intellectuelle qui serait à l'encontre de notre expertise canadienne.

De plus, cette recherche contribue aux connaissances scientifiques dans le secteur de la haute performance, spécialement dans les sports à nature aérobie, afin de mettre en lumière les tests sur neige, peu exploité dans la littérature. Par conséquent, cette étude est limitée par son caractère exploratoire. Nous espérons qu'une seconde équipe de chercheurs pourra poursuivre le travail déjà entamé, afin de possiblement découvrir les relations que nous n'aurons pas pu voir dans celle-ci.

TABLES DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS ii
DÉDICACE iv
AVANT-PROPOS v
LISTE DES FIGURES x
LISTE DES TABLEAUX xii
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES xiii
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS xiv
RÉSUMÉ xv
CHAPITRE 1 16
INTRODUCTION 16
1.1 Contexte général 16
1.2 Explications du sport 17
1.2.1 Sprint individuel en technique classique 18
1.2.2 Sprint en équipe (Technique libre ou pas de patin) 18
1.2.3 Départ individuel (Technique libre ou pas de patin) 19
1.2.4 Départ de masse (Technique classique) 19
1.2.5 Relais 20
1.2.6 Skiathlon 20
1.3 Questions de recherche 21
1.4 Objectifs de l'étude 22
1.5 Pertinence scientifique 22
1.6 Pertinence pratique 23
1.7 Hypothèse 23
CHAPITRE 2 24
ÉTAT DES CONNAISSANCES 24
2.1 Test de course et test de ski à roulettes 27

2.2 Déterminants sportifs importants pour un skieur de fond 32
2.2.1 Longue distance 32
2.2.2 Courte distance 34
2.2.3 L'atteinte du VO_2 Max par le VO_2 de pointe 37
2.2.4 Métabolisme du lactate chez le skieur de fond 40
2.2.5 Comparaison entre un fondeur de niveau national et international 42
2.2.6 Comparaison des disciplines connexes 46
2.3 Comparaison et validité entre un test en laboratoire et un test sur le terrain 48
CHAPITRE 3 55
MÉTHODOLOGIE 55
3.1 Participants 55
3.1.1 Critère d'inclusion 55
3.1.2 Critère d'exclusion 56
3.2 Variables 56
3.2.1 Variables dépendantes 56
3.2.2 Variables indépendantes 57
3.3 Matériel 57
3.3.1 Analyse de l'échange gazeux par un analyseur métabolique portatif 57
3.3.2 Analyseur de lactate sanguin 57
3.3.3 Saturation d'oxygène musculaire par spectroscopie près de l'infrarouge 58
3.3.4 Tapis roulant extra large en laboratoire 58
3.4 Procédures 59
3.4.1 Recrutement 59
3.4.2 Questionnaire de consentement et directives pré-test 59
3.4.3 Instructions 60
3.4.4 Tests 63
3.5 Analyses statistiques 66
CHAPITRE 4 67
RÉSULTATS 67
4.1 Caractéristiques des participants 67

4.2 Tests progressifs et validation du VO_2 Max 68
4.3 Résultats des tests à palier progressifs 71
4.3.1 Course à pied (CAP) 72
4.3.2 Ski à roulettes (SR) 73
4.3.3 Épreuve sur neige (SN) 75
4.4 Comparaison du VO_2 Max et du questionnaire analogue de 100mm 77
4.5 Valeurs de saturation d'oxygénation musculaire à travers les différents tests 78
4.6 Valeurs d'échantillons de lactate sanguin 81
4.7 Valeurs des données du test sur neige 82
4.8 Puissance statistique des tests de VO_2 Max 84
CHAPITRE 5 86
DISCUSSION 86
5.1 Relation des différentes mesures et de l'effort maximal lors du test sur neige 86
5.2 Relation des différents VO_2 Max 89
5.3 Régression linéaire et formule de prédiction 91
5.4 Questionnaire analogue de 100 mm 95
5.5 Limites de l'étude 96
CHAPITRE 6 99
CONCLUSION 99
ANNEXES A 101
ANNEXE B 102
ANNEXE C 103
ANNEXE D 104
ANNEXE E 109
BIBLIOGRAPHIE 117

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Style classique, Championnats suisses de ski de fond 2011 (Schertzer, F. 2011). 17
Figure 1.2 Photo d'un skieur en style pas de patin (Smith, W. 2006)..... 18
Figure 2.1 Processus d'élimination des articles..... 25
Figure 2.2 Énergie mécanique du centre de masse durant la course et le style classique en ski de fond. de Kehler et al. (2014). 27
Figure 2.3 VO_2 Max lors de différents styles en ski de fond, Losnegard et al. (2014). 29
Figure 2.4 Modèle montrant la relation entre le pointage FIS, la masse maigre (LM) et la consommation d'oxygène maximale absolue (Litres par min), (Carlsson et al. 2016)..... 35
Figure 2.5 Pourcentage de la contribution de l'énergie totale, adaptée de McArdle et al. (2014)..... 36
Figure 2.6 Vérification du VO_2 Max à l'aide d'un intervalle supra-maximal. (Poole et al. 2017). 38
Figure 2.7 Vérification du VO_2 Max à l'aide d'un intervalle sous-maximal. (Pettitt, et al. 2014). 40
Figure 2.8 Différence entre la puissance à vélo d'une personne sédentaire (A) et d'une personne entrainée en endurance (B) en comparant différents niveaux de wattage avec la production de lactate à l'effort, Messonnier et al. (2013). 42
Figure 2.9 Comparatif du VO_2 Max des fondeurs hommes et femmes en double poussée avec tout le corps, avec le tronc et les bras et seulement avec les bras, respectivement. (Hegge et al. 2015) 43
Figure 2.10 Volume d'entrainement selon les zones d'entrainements (A) et selon le sport (B), en saison morte. HIT (Haute intensité), MIT (Moyenne intensité), LIT (Basse intensité) (Sandbakk et al. 2016). 45
Figure 2.11 Réponses physiologiques et ratio d'efficience brute chez les athlètes en combiné nordique et en ski de fond de niveau mondial à un niveau sous-maximal (14 km/h), (Sandbakk et al. 2016) 46
Figure 2.12 Modèle de régression chez les fondeurs masculins sur différents paramètres de la performance et les points FIS des événements de distances (FISdist) et une simulation de compétition sur 15 km (SNC15), Carlsson et al. (2012)..... 52
Figure 2.13 Corrélations de Pearson avec différents paramètres de tests en relation avec les pointages FIS (FISdist), les simulations de course de 15 km (SNC15) et 30 km (SNC30), Carlsson et al. (2012). 53

Figure 3.1 Un participant lors de l'épreuve sur neige. 65
Figure 4.1 Participant pendant le test de course à pied (CAP)..... 69
Figure 4.2 Graphiques comparatifs entre le test par palier (TPP) et le palier de validation (PV) avec ligne d'identité. Sur l'axe des abscisses, la valeur de TPP et sur l'axe des ordonnées, la valeur du PV. 70
Figure 4.3 Courbes des moyennes de consommation d'oxygène à chaque 60s pour les différents paliers des 3 tests incluant la donnée maximale sur neige. 71
Figure 4.4 Un participant lors de l'épreuve en ski à roulettes classique en laboratoire. 74
Figure 4.5 Graphique représentant le dénivelé de l'épreuve sur neige en pas alternatif 76
Figure 4.6 Comparaison de l'index d'oxygénation musculaire (SMO2) avec 3 mesures à l'effort pendant les 3 tests différents. Au repos, lors de la première minute et la fin des tests. 79
Figure 4.7 Comparaison entre le SmO_2 et le VO_2 Max absolue, relatif au kg et avec correction allométrique. 80
Figure 4.8 Graphique à barres présentant les moyennes de concentration de lactate sanguin au repos et post-effort dans les 3 conditions testées 81
Figure 4.9 Graphique du test Anova unidirectionnel qui propose l'axe des x étant la puissance statistique (Puissance (1-β probabilité erreur)) en fonction de l'axe des y étant l'échantillonnage total pour les 3 tests de VO_2 Max en course à pied (CAP), ski roulette (SR), ski de fond sur neige (SN). 85
Figure 5.1 Relation entre les différentes expressions du VO_2 Max et les différents tests..... 90
Figure 5.2 Comparatif (exprimé en absolue) entre le VO_2 Max en ski à roulettes et en ski de fond au VO_2 Max en course à pied présenté avec la ligne d'identité. Les cercles noirs représentent le ski à roulettes (SkiR) et les carrés noirs représentent le ski sur neige (SkiN) 93
Figure 5.3 Comparatif (exprimé en relatif) entre le VO_2 Max en ski à roulettes et en ski de fond au VO_2 Max en course à pied présenté avec la ligne d'identité. Identification des symboles comme à la Figure 5.3..... 94
Figure 5.4 Comparatif (exprimé avec correction allométrique) entre le VO_2 Max en ski à roulettes et en ski de fond au VO_2 Max en course à pied présenté avec la ligne d'identité. Identification des symboles comme à la Figure 5.3. 95
Figure 5.5 Représentation pour chaque technique du pourcentage de sujets ayant déclaré que cette technique était favorisée, pour différentes pentes à une vitesse fixe de 10 km / h (panneau A) et pour des conditions en fonction de la vitesse (panneau B). Les symboles font référence à différentes techniques: technique DP (double poussée): zone pointillée et trait plein, technique DK (un pas double poussée): zone pointillée et longue ligne pointillée, technique DS (pas alternatif): zone pointillée haute densité et ligne pointillée courte. (Pellegrini et al. 2013)..... 98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Tableau des thèmes et mots clefs utilisés pendant la recherche d'articles 26
Tableau 4.1 Caractéristiques des participants 68
Tableau 4.2 Pointages canadiens des participants 68
Tableau 4.3 Corrélation de Pearson entre Test par palier (TPP) et le palier de validation (PV) pour la course à pied (CAP). 71
Tableau 4.4 Corrélation de Pearson entre Test par palier (TPP) et le palier de validation (PV) le ski à roulette (SR). 71
Tableau 4.5 Moyennes ± ET de la consommation d'oxygène par palier lors du test sur tapis roulant en course à pied (CAP) 73
Tableau 4.6 Moyennes ± ET de la consommation d'oxygène par palier lors du test sur tapis roulant en ski à roulettes (SR) 74
Tableau 4.7 Comparaison des valeurs maximales des paramètres cardiorespiratoires obtenues lors du test en CAP, sur SR et SN. 75
Tableau 4.8 Moyennes ± ET des épreuves sur neige et des paramètres de la pente. 76
Tableau 4.9 Résultats subjectifs des paramètres du ski sur neige avec le questionnaire analogue de 100 mm en ski de fond. 77
Tableau 4.10 Corrélation de Pearson bilatérale entre les paramètres du questionnaire analogue 100mm en ski de fond et le VO_2 Max allométrique sur neige (SN). 78
Tableau 4.11 Moyennes ± ET de la SmO_2 des différents tests au repos, à la minute 1 et à la fin des tests pour le vaste latéral. 79
Tableau 4.12 Moyennes ± ET de la SmO_2 des différents tests au repos, à la minute 1 et à la fin des tests pour le biceps fémoral. 79
Tableau 4.13 Moyennes de concentration de lactate sanguin au repos et post-effort dans les 3 conditions testées 82
Tableau 4.14 Données des participants lors du test sur neige à la première tentative. 82
Tableau 4.15 Corrélations de Pearson entre le VO_2 Max et les différentes questions 83
Tableau 4.16 Corrélations de Pearson entre Le VO2 Max et la somme des 3 questions 83
Tableau 4.17 Corrélations de Pearson entre le temps du parcours et les différentes questions 83
Tableau 4.18 Corrélations de Pearson entre le temps du parcours et la somme des 3 questions 84
Tableau 4.19 Corrélations de Pearson entre le temps du parcours et le VO_2 Max 84
Tableau 4.20 Corrélations de Pearson entre le SmO_2 et le VO_2 Max 84
Tableau 4.21 Résultats du test Anova unidirectionnel pour l'analyse de l'effet de taille et l'estimation d'un échantillonnage pour les tests de VO_2 Max en CAP, SR, SN. 85

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

EET	Estimé de l'erreur type
ET	Écart type
NADH	Nicotinamide adénine dinucléotide
VO_2	Volume d'oxygène
VO_2 Max	Volume d'oxygène maximal
Mmol	Millimoles
L	Litre
SmO_2	Oxygénation musculaire
Bpm	Battement par minute
Bla	Lactate sanguin
VM	Vitesse maximale
TPP	Test par palier
PV	Palier de validation
CAP	Course à pied
SR	Ski roulette
SN	Ski de fond sur neige
FIS	Fédération International de Ski

LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

bpm	Battement par minute
cm	Centimètre
kg	Kilogramme
km/h	Kilomètre par heure
La	Lactate
lb	Livre
L	Litre
L/min	Litre par minute
m	Mètre
m^2	Mètre carré
min	Minute
ml	Millilitre
ml/kg/min	Millilitre par minute par kilogramme
$ml/kg^{0,5}/min$	Millilitre par minute par kilogramme exposant 0,5
mmol/L	Millimole par litre
m/s	Mètre par seconde
O_2	Oxygène
%	Pourcentage
s	Seconde

RÉSUMÉ

Pour permettre d'évaluer le skieur sur la neige, la présente recherche avait pour but d'étudier la faisabilité d'un test en style classique sur la neige en comparant les variables étudiées avec un test de course à pied et de ski à roulettes en laboratoire. 4 skieurs masculin et d'âge variant de 17 à 23 ans ont participé à cette prise de données et à la passation des trois tests. Le premier test était exécuté de manière continue avec paliers progressifs en course à pied sur tapis roulant. La vitesse initiale du test était de 7,00 km/h et augmentait par la suite de 1,00 km/h à chaque minute. Le participant devait suivre les incrémentations en vitesse jusqu'à épuisement (arrêt volontaire). Le deuxième test était celui en ski à roulettes de style classique sur tapis roulant. Le protocole utilisé impliquait un échauffement de 10 min à une vitesse au choix du participant, puis la vitesse était fixée à 11,00km/h. La pente débutait à 7,00% pour augmenter entre 1,50 et 2,00% chaque minutes jusqu'à épuisement ou jusqu'à ce qu'il n'arrive plus à maintenir la cadence. Finalement, le test sur neige comportait 4 intervalles à intensité maximale de 394,00±71,10 m de distance et 7,25±1,06 % de pente. Plusieurs paramètres respiratoires ont été mesurés, dont la consommation d'oxygène et l'oxygénation musculaire (SmO_2) des membres inférieurs pour les trois tests ainsi que les réponses subjectives à un questionnaire (échelle visuelle analogue) durant l'épreuve sur neige. Les résultats de VO_2 Max en ml/kg/min et de correction allométrique (ml/kg$^{0.5}$/min) étaient de 66,13±7,88 et 578,29±78,51, 71,75±8,67 et 627,29±84,70, 62,68±11,03 et 548,20±103,65, pour la course à pied, le ski à roulettes et le test sur neige, respectivement. Les résultats de SmO_2 maximale exprimés en % de saturation de l'hémoglobine à l'O_2 dans la microcirculation locale du vaste latéral étaient de 17,60±9,60% pour la course à pied, de 10±1% pour le ski à roulettes et de 60,31±5,93 % pour le test sur neige. Pour le biceps fémoral, les résultats en % étaient de 38,65±20,35, 25,04±0,04, 38,05±12,95 pour la course à pied, le ski à roulettes et le test sur neige, respectivement. Selon nos résultats, la course à pied demeure encore un bon outil pour évaluer le VO_2 Max chez le skieur de fond, mais ne permet pas d'apprécier la qualité physique en ski de fond considérant les valeurs plus hautes du ski à roulettes en style classique en laboratoire. De plus, les résultats obtenus sur neige ne concordent pas avec ceux en laboratoire dû à des limitations techniques (ski, neige, etc.), de temps et de longueur de l'effort sur neige.

Mots clés : VO_2max, ski de fond, oxygénation musculaire, test cardiorespiratoire, ski à roulettes, course à pied, évaluation.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Contexte général

Les sports d'endurance génèrent de l'intérêt en science du sport depuis de nombreuses années afin d'établir une compréhension pratique de l'adaptation du corps humain dans des situations ardues tant au niveau systémique que moléculaire. On se base certainement sur des théories et des notions pragmatiques pour mettre en évidence certains paramètres afin de trouver une façon d'analyser et répondre à nos questionnements face aux exigences des sports d'endurance et ainsi permettre de continuellement améliorer les performances humaines au plus haut niveau. En effet, pour bien comprendre les aspects des filières énergétiques et des composantes physiologiques, l'athlète subit une batterie de tests afin de connaitre l'état de ses déterminants sportifs. Les filières énergétiques dominantes des sports d'endurance peuvent varier légèrement, mais la plus importante reste celle de la consommation maximale d'oxygène (VO_2 Max). Un des sports réputés pour avoir les plus hautes valeurs de VO_2 Max est le ski de fond.

1.2 Explications du sport

En ski de fond, il existe deux styles : le style classique (Figure 1.1) et le pas de patin (Figure 1.2). Dans chacun des styles, nous avons un lot d'épreuves différentes. Les épreuves de ski de fond sont variées et vont du sprint 1,20 kilomètres aux plus grandes distances de 50 kilomètres chez les hommes. Lors de ces épreuves individuelles, les concurrents se lancent un par un, avec un intervalle de 15 à 30 secondes ou en départ de masse. En se basant sur les olympiques de PyeongChang 2018, nous décortiquerons les différentes épreuves.

Figure 1.1 Style classique, Championnats suisses de ski de fond 2011 (Schertzer, 2011)

1.2.1 Sprint individuel en technique classique

Le parcours de sprint individuel n'est que de 1,40 km pour les hommes et de 1,20 km pour les femmes. La compétition de sprint est organisée comme la compétition de sprint pour les épreuves sur piste. Cela commence par un tour de qualification. Les 30 meilleurs skieurs se rendent aux quarts de finale. À partir de là, les deux meilleurs skieurs de chaque série passent aux demi-finales et cette tendance se poursuit jusqu'aux rondes finales.

Figure 1.2 Photo d'un skieur en style pas de patin (Smith, 2006).

1.2.2 Sprint en équipe (Technique libre ou pas de patin)

Chaque équipe est composée de deux skieurs. Le premier skieur court deux tours autour du parcours de sprint et échange ensuite avec son coéquipier. Puis, ce dernier effectue

deux tours. Cela continue jusqu'à ce que les deux skieurs aient skié six tours complets. La première équipe à franchir la ligne d'arrivée gagne.

Les coéquipiers ne passent pas de relais comme ils le feraient dans une course à pied. Au lieu de cela, un skieur doit toucher son coéquipier sans bloquer ou interférer avec d'autres équipes avant de pouvoir reprendre la course.

1.2.3 Départ individuel (Technique libre ou pas de patin)

Dans ce cas, les skieurs partent d'un départ décalé; un skieur part toutes les 30 secondes. Le skieur avec le meilleur temps gagne, ce qui n'est pas nécessairement celui qui franchit la ligne d'arrivée en premier. Le parcours masculin est de 15 km de long et le parcours féminin de 10 km.

1.2.4 Départ de masse (Technique classique)

Le départ de masse est le plus long événement de ski de fond aux Jeux olympiques d'hiver. Les femmes courent sur 30 km et les hommes sur 50 km. Contrairement à la course individuelle, toutes les skieuses et tous les skieurs partent ensemble sur une seule ligne (en forme de flèche). L'événement de départ de masse est un grand sport de spectateur. Il est habituellement skié en grandes boucles au lieu de longues distances solitaires. Cela permet au public de voir les skieurs toutes les quelques minutes. Parce qu'il n'y a pas de décalage en début de course, le premier skieur à franchir la ligne d'arrivée est le vainqueur.

1.2.5 Relais

La course de relais est très similaire au sprint de l'équipe en format. Cependant, chaque équipe a quatre membres au lieu de deux. La course féminine est de 4 x 5 km et celle des hommes de 4 x 10 km. Le relais commence par un départ groupé, de sorte que le premier skieur à franchir la ligne d'arrivée est le gagnant. Cet événement nécessite que les équipes utilisent les deux styles de ski de fond. Pour les deux premiers tours, ils utilisent le style classique, et pour les deux derniers tours, ils passent au style libre.

1.2.6 Skiathlon

Le skiathlon est un autre événement qui combine les deux disciplines du ski de fond. Le skiathlon est une course de ski de fond en deux étapes. La première étape se fait avec la technique classique, après quoi les skieurs de fond peuvent changer de skis dans une zone de transition et continuer à compétitionner en utilisant la technique libre. La course est longue de 22,5 km et dure environ 40 minutes pour les femmes et 30 km et une heure pour les hommes.

Toutes ces épreuves nous montrent à quel point le ski de fond est varié tant au niveau biomécanique, technique, tactique que physiologique. En effet, avec les variations de distances s’accompagnent une variation de vitesse, de puissance et de filières énergétiques sollicitées. Il serait donc judicieux de comparer les différences pour mieux cibler le type d’intervention à nature d’évaluation chez les fondeurs.

1.3 Questions de recherche

Le VO_2 Max est souvent testé en milieu contrôlé tel qu'un laboratoire dans des conditions qui ne sont pas exactement identiques à ce que vivent les fondeurs. En plus d'être coûteux, ces tests sont néanmoins utiles lorsqu'on veut isoler une variable déterminante, mais qu'en est-il de la pratique en utilisant la résultante? En fait, une série de questions se posent : pouvons-nous utiliser les données obtenues en laboratoire et les appliquer parfaitement sur le terrain? Est-il possible de reproduire la résultante d'un test à l'effort mesurant le VO_2 Max en laboratoire lors d'un test terrain en ski de fond sur neige? Est-ce que le test en laboratoire permet une prédiction avec un haut degré de corrélation sur la performance d'un athlète élite en ski de fond sur des distances de plus de 5 kilomètres?

Toutes les questions énumérées ci-haut ont amené des équipes sportives à utiliser les analyseurs métaboliques portatifs pour effectuer leur test sur le terrain en ski à roulettes durant l'été. De plus, notre questionnement dans le présent mémoire remet en cause le ski à roulettes et la course à pied comme la meilleure alternative pour les tests sur terrain. En effet, malgré le geste sportif similaire, les athlètes n'atteignent pas leur VO_2 Max réel en ski à roulettes (Losnegard et al. 2014). Le choix de la technique testée semble avoir un impact sur la prédiction de performance selon Sandbakk et al. (2016). En effet, selon cette étude, ils ont trouvé que la majorité du temps était en montée lors des 10 km en style classique et ils ont déterminé que le temps passé à monter les côtes était essentiel dans la performance globale de la compétition.

Nous avons tenté d'identifier des thèmes afin d'être en mesure d'aborder ce questionnement. Ceux-ci sont présentés à travers l'objectif de l'étude, soit l'explication de la mise en contexte ainsi que de l'état des connaissances pratique et scientifique par un cadre conceptuel et une recension d'écrits scientifiques spécifiques à notre sujet de

recherche. Ceci démontrera l'aspect théorique de notre mémoire et permettra d'approfondir nos connaissances sur le sujet. Notre méthodologie présentera notre démarche scientifique en détails afin de répondre à notre questionnement. Puis, une présentation des données récoltées sur le terrain sera faite. Ensuite, une discussion permettra de faire des liens entre notre état de connaissance et ce dont nous avons mesuré afin de répondre à notre problématique. Finalement, une conclusion viendra clore cette recherche où nous pourrons ouvrir et débattre sur les limites et les forces de celle-ci et ainsi ouvrir notre débat à des problématiques qui s'y rattachent.

Ainsi, notre question de recherche spécifique était dirigée vers la mise en place d'un test de terrain pour la prédiction du VO_2 Max, soit, est-ce possible de créer un test de terrain prédictif du VO_2 Max?

1.4 Objectifs de l'étude

L'étude a pour but de produire une recension des données scientifiques récoltées partout sur la planète et pouvoir valider certains concepts en rapport à la physiologie du sport en ski de fond. Un deuxième objectif sera d'établir un test à effort maximal sur neige pour mesurer l'aptitude aérobie afin qu'il puisse être utilisé par les clubs de développement.

1.5 Pertinence scientifique

Du point de vue scientifique, nous pourrons contribuer à valider la pertinence des tests faits en course à pied chez les skieurs de fond et évaluer si l'emploi de tests spécifiques pour ceux-ci (ski à roulettes ou sur neige) démontrent une plus grande corrélation avec le VO_2 Max. Il sera aussi intéressant de confirmer la différence physiologique entre la course à pied et le ski de fond en situation réelle chez les skieurs de fond.

1.6 Pertinence pratique

Afin d'outiller les clubs et les entraineurs, l'objectif général de la présente étude est de fournir un protocole facile à utiliser en camp d'entrainement sur neige, sur glacier ou durant la saison hivernale. L'aspect de faible coût pourra bénéficier toutes les intervenantes et intervenants.

1.7 Hypothèse

Le VO_2 Max obtenu avec l'épreuve sur neige en ski de fond en style classique, en utilisant le pas alternatif, aura une corrélation significative avec le VO_2 Max obtenu lors du test sur tapis roulant, en ski à roulettes classique en pas alternatif, et aura une corrélation peu significative avec le test sur tapis de course à pied.

CHAPITRE 2

ÉTAT DES CONNAISSANCES

Avant de pouvoir discuter d'une possible création ou validation d'un test sur neige, il faut comprendre ce qui se fait maintenant en termes d'évaluation des performances de pointe chez les fondeurs. Pour ce faire, nous avons fait une recherche dans les bases de données les plus populaires dans le domaine du ski de fond afin de trouver le fondement nécessaire à notre compréhension des derniers faits sur le sujet. De ce fait, nous avons utilisé les bases de données Medline et Pubmed. Nos critères d'exclusions ont été en premier l'élimination des études de 6 ans et plus.

De ce filtre (Figure 2.1), nous avons récolté 1461 articles à travers 3 thèmes de recherche : la différence entre les tests laboratoires et les tests terrains, le VO_2 Max et le ski de fond. À travers ces thèmes, nous avions plusieurs mots clef afin de cibler notre recherche (Tableau 2.1).

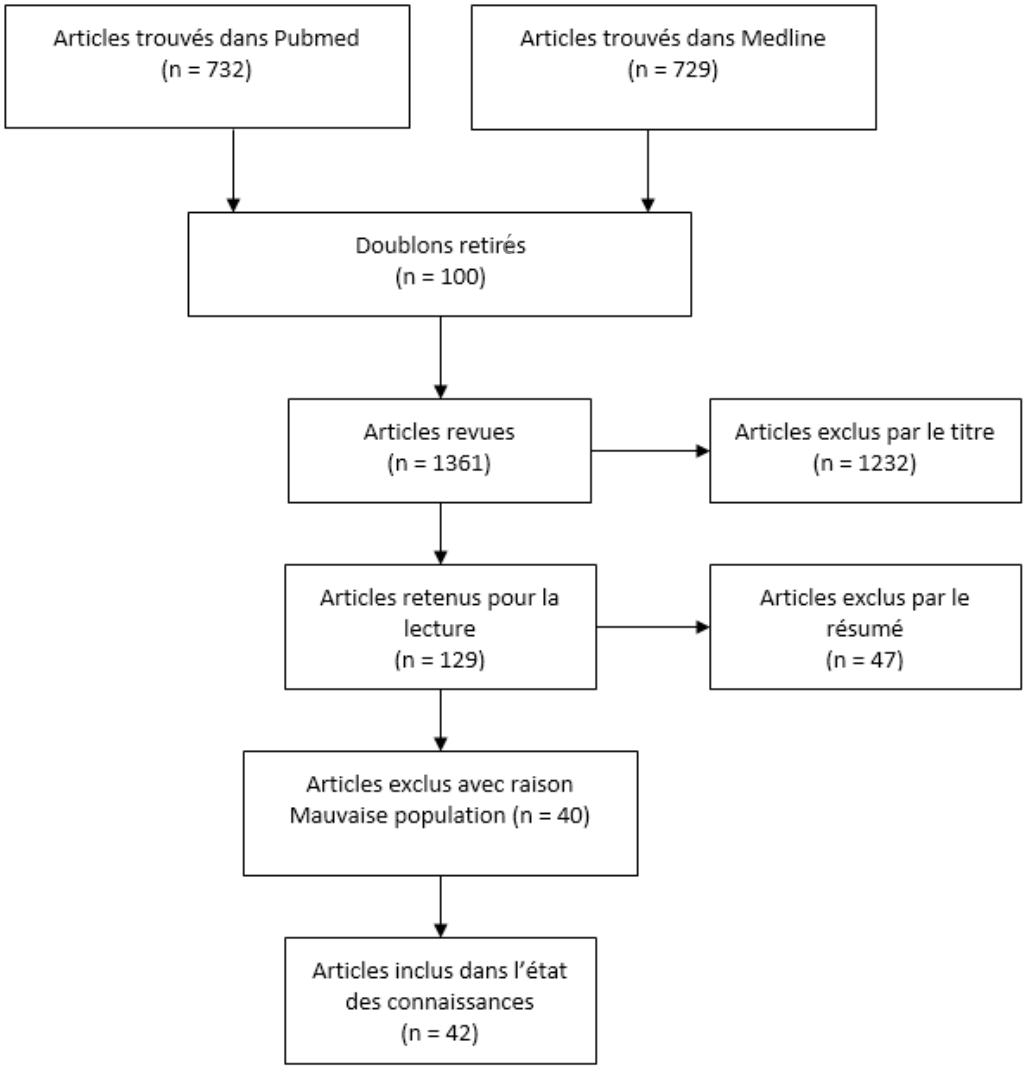

Figure 2.1 Processus d'élimination des articles

Tableau 2.1 Tableau des thèmes et mots-clefs utilisés pendant la recherche d'articles.

Test terrain vs Test lab	VO_2 Max	Ski de fond	Athlète
Sport field testing *Sport Lab testing* *Comparison* *Nordic ski testing* *Cross-country skiing test*	*Vo2max* *Vo2peak* *Endurance*	*Nordic skiing* *Cross-country skiing* *Skate skiing* *Classic skiing*	*Athletes* *Elite athletes* *Young adult athlete* *Adult athletes* *Female athletes* *Male athletes*

Nous avons rejeté 100 articles doublons, 1232 articles par le titre, 47 par le résumé et 40 pour la population. Ceci nous amène donc à 42 articles que nous avons acceptés dans notre base d'articles. Pour bien comprendre la situation actuelle du développement de notre sujet, nous avons donc divisé cette revue en plusieurs thèmes adressant plusieurs problématiques venant de notre question de recherche.

En premier, nous allons comparer la validité ainsi que la fidélité des tests de vitesse critique et de vitesse maximale en course à pied contre les tests de ski à roulettes faits sur tapis roulant ou sur terrain en ajoutant l'analyse biomécanique afin de voir la différence pour chacun des sports et de vérifier la pertinence pour l'analyse d'un fondeur. Ensuite, nous allons étudier les différents déterminants sportifs qu'un fondeur doit développer et ainsi positionner notre but de recherche afin de bien comprendre quel spectre métabolique nous analyserons dans notre collecte de données.

Finalement, notre questionnement se poursuivra vers un point important en comparant l'efficacité d'un test terrain contre un test laboratoire. Ceci viendra approfondir le questionnement même de ce mémoire.

2.1 Test de course et test de ski à roulettes

Dans la réalité du ski de fond, la plupart des groupes ou des clubs d'entrainement utilisent généralement deux modalités de test soit, à la course à pied et en ski à roulettes.

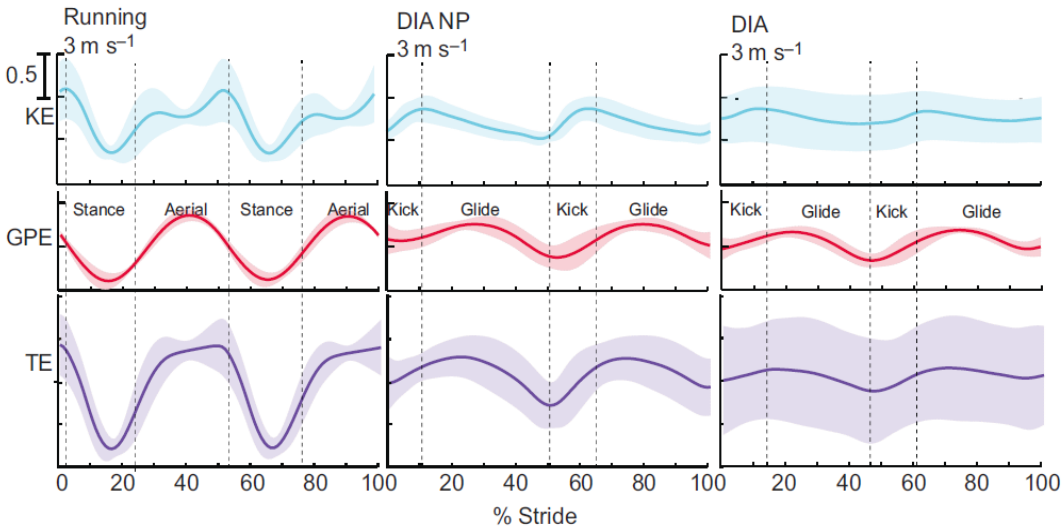

Figure 2.2 Énergie mécanique du centre de masse durant la course et le style classique en ski de fond. de Kehler et al. (2014).

Tout d'abord, on peut comparer le ski de fond classique qui est un mouvement ressemblant à la course à pied par sa coordination entre les membres supérieurs et inférieurs. Cependant, l'énergie cinétique et le potentiel d'énergie gravitationnel sont différents entre le style classique et la course à pied (Figure 2.2). En effet, le style classique permet d'identifier des patrons moteurs similaires à la marche lors de vitesse basse et à la course lors d'une vitesse élevée. Toutefois, une différence est présente entre la course à pied et le ski de fond, soit la phase de glisse (Kehler et al. 2014). Au niveau de la retenue, lorsqu'en ski à roulettes le système anti-retour bloque la roue pour permettre une traction vers l'arrière ou en ski de fond sur neige où le poids permet de créer une friction et permet une traction, deux facteurs biomécaniques apparaissent semblables avec la course. Cependant, lors de la glisse sur neige ou lors du roulement

des skis à roulettes la majeure partie de l'énergie cinétique est dissipée au sol (Kehler et al. 2014). Cette réalité vient donc de la théorie de la restitution d'énergie faite par le tendon d'Achille et la cambrure du pied avec leurs fonctions élastiques qui emmagasinent près de la moitié de l'énergie mécanique pour restituer l'énergie dans le sol comme mode de propulsion (Kehler et al. 2014). Du même auteur, l'efficacité motrice de la marche, de la course et même durant la propulsion en fauteuil roulant est plus importante qu'en vélo au niveau du coût énergétique chez l'humain. Ceci pose donc un problème à savoir si un test spécifique doit être employé chez les plus jeunes fondeurs par le manque d'habileté technique. Il est important de constater que 72,00% de la littérature scientifique en lien avec le ski de fond depuis 2005 utilise le ski à roulettes plutôt que la course à pied comme méthode d'évaluation fidèle au ski de fond sur neige (Kehler et al. 2014). Selon une étude de Stangier et al. (2014), les résultats obtenus lors de tests du VO_2 Max peuvent être influencés par les groupes musculaires utilisés, leur implication dans le mouvement du sport testé et la posture globale de l'athlète. Les athlètes qui s'entrainent en aviron, vélo ou en ski de fond montrent une consommation d'oxygène de pointe de 3,00 à 12,00 % plus élevée dans leur sport que lors d'une course à pied effectuée lors d'une montée en côte. D'un autre côté, les patineurs de vitesse montrent un VO_2 Max plus élevé au test de course et de vélo qu'à un test de patinage à la vitesse maximale. Il est donc important de bien choisir le type de test afin de ne pas sous ou surestimer les résultats obtenus.

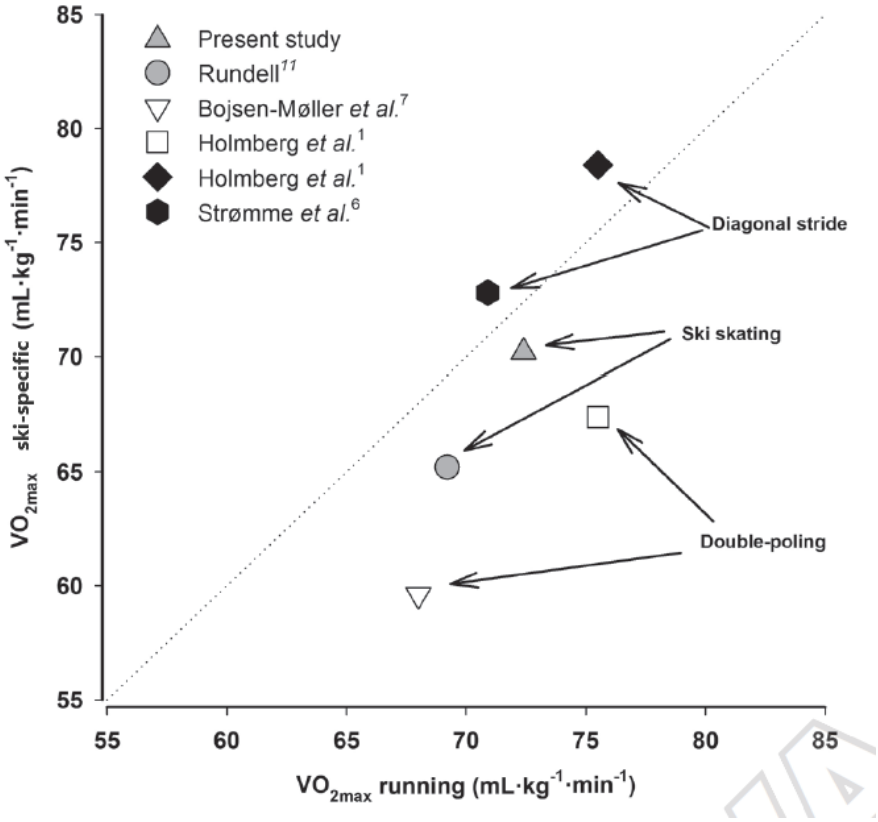

Figure 2.3 VO_2 Max lors de différents styles en ski de fond, Losnegard et al. (2014).

Sachant que le ski de fond est composé du style patin et du style classique, comment se compare le ski à roulettes en style pas de patin à la course à pied? On a pu observer que la consommation d'oxygène est supérieure en course à pied qu'en ski à roulettes avec le pas de patin (Losnegard et al. 2014). En revanche, Losnegard et al. (2014) rapportent que des données du VO_2 Max plus hautes qu'à la course ont été saisies. Ce dernier rapporte aussi que la double poussée démontre un VO_2 Max 10,00% plus faible (Figure 2.3). Cela pourrait être expliqué par l'implication plus importante des membres supérieurs de 20,00 à 30,00 % sur la puissance totale exercée pendant l'effort amenant une réduction du VO_2 Max. Ceci pourrait donc expliquer la situation de la double poussée et même en style pas de patin, qui affichent des VO_2 Max inférieurs au style

classique. De ce fait, le choix du style lors d'un test à l'effort pour relever le VO_2 Max est essentiel pour qu'il soit le plus spécifique possible.

Qu'arrive-t-il alors si nous souhaitons utiliser la course à pied comme évaluation et que selon les faits mentionnés, nous augmentons la pente afin d'augmenter le VO_2 Max pour rendre l'aspect de spécificité encore plus présent pour simuler une montée en style classique? Lors d'un test sur tapis roulant à la course sans pente contre celui avec une pente de 12,50% et 25,00%, la fréquence cardiaque, le taux de lactate ainsi que la ventilation maximale demeurent les mêmes (Balducci et al. 2016). La seule différence était le coût énergétique à la course à pied qui différait chez les participants lors du test avec pente, démontrant ainsi une influence de l'efficience et probablement de la qualité technique de chacun (Balducci et al. 2016). Donc, en plus d'avoir une différence technique, biomécanique et physiologique entre la course à pied et le ski de fond en style classique, il serait donc important de questionner l'utilisation de la course à pied pour comparer les performances en ski de fond, spécialement en style classique. En effet, une étude de Carlson et al. (2014) démontre des corrélations chez les hommes de $r=0,81$ $p<0,001$ pour le pointage des épreuves de distances (FIS) et $r=0,78$ $p<0,001$ pour les épreuves de sprint (FIS), et pour les femmes respectivement $r=0,73$ $p<0,05$ et $r=0,78$ $p<0,05$, avec une épreuve de course à pied faisant la prédiction de performance chez les skieurs juniors. Ceci suggérant que la course à pied demeure un outil prédictif intéressant pour la performance des skieurs sur le circuit compétitif. D'un autre côté, Osteras et al. (2016) démontre qu'une évaluation sur tapis roulant à la course à pied pour déterminer le VO_2 Max avait une corrélation entre ce dernier et les points FIS des athlètes seniors de ($r = -0.58$ [95% CI: -0.91 à -0.34], $p = 0.05$).

Stangier et al. (2014) mentionnent que l'importance d'un test spécifique s'applique surtout pour les athlètes élites. Aussi, l'importante des analyses en laboratoire, lorsque le sport en question comprend beaucoup de variables incontrôlables (neige, température, etc.) et que les données dans un sport connexe qui n'en a pas ou n'a pas

les mêmes variables incontrôlables, ne peut pas prédire correctement l'évolution biomécanique et physiologique de l'athlète de haut niveau. Dans ce sens, il est donc préférable d'opter pour un test lié au ski de fond plutôt qu'à la course à pied. Ayant démontré que l'implication du travail des membres supérieurs réduit la puissance totale déployée, on se penche donc sur le style classique qui compose trois techniques différentes soit la double poussée, le un pas double poussée et le pas alternatif. Pellegrini et al. (2013) montre la différence de chaque technique en fonction de l'implication biomécanique des membres inférieurs et supérieurs. La force appliquée au niveau des bâtons est plus haute lors de la double poussée et moins haute lors du pas alternatif. Aussi, la propulsion des jambes est diminuée en fonction de l'augmentation de la vitesse du skieur soit, à partir de 14,00 km/h pour le seuil maximal du pas alternatif et jusqu'à 22,00 km/h en double poussée (Pellegrini et al. 2013). En effet, selon cette étude, entre 9,00 et 14,00 km/h, dans une pente à 7,00°, les fondeurs préféraient le pas alternatif, requérant ainsi plus de propulsion des jambes. En contrepartie, plus la vitesse augmentait et donc du même coup, plus le terrain était plat, les fondeurs préféraient la double poussée pour garder une vitesse de pointe à près de 22,00 km/h. Enfin, sachant que le coût énergétique est plus important avec le pas alternatif en monté, ceci pourrait donc supporter l'idée que l'utilisation des bâtons influence la consommation maximale d'oxygène en augmentant celle-ci de 20,00 à 30,00% tel que mentionné plus haut.

Bref, le ski de fond est un sport avec plusieurs techniques appropriées en fonction du terrain et, longtemps, nous avons utilisé la course à pied comme prédicteur de la performance chez le fondeur. Cependant, le ski à roulettes est devenu la source principale d'évaluation afin de reproduire le plus près possible la situation du ski de fond, mais cette méthode n'est pas toujours représentative en raison des différentes variables qu'imposent la nature. Finalement, en considérant les études mentionnées ci-haut, il serait logique qu'un test à roulettes soit préférable à la course à pied pour évaluer un skieur de fond, car le VO_2 Max obtenu en course à pied peut être supérieur

ou inférieur et que la biomécanique entre la course à pied et le ski de fond style classique est profondément différente.

2.2 Déterminants sportifs importants pour un skieur de fond

2.2.1 Longue distance

Selon les épreuves en ski de fond, nous pouvons fractionner les épreuves en 2 catégories, soit les longues et courtes distances. La longue distance inclut les épreuves entre 5 et 50 km, tous les genres compris. Pour bien apprécier la qualité physiologique d'un skieur de fond dans ces épreuves, il faut définir la plus importante valeur, soit la puissance aérobie (VO_2 Max). Souvent identifiée en litre par minute ou millilitre par kilogramme de poids par minute, cette dernière unité de mesure est employée la plupart du temps dans les sports d'endurance à forte influence de la masse corporelle de l'athlète tel que la course à pied et, dans notre cas, le ski de fond. La valeur absolue ou le ratio simple entre la consommation d'oxygène et la masse corporelle, appelé VO_2 Max relatif, est employé depuis longtemps, mais le VO_2 Max relatif n'arrive pas à bien estimer la performance chez les fondeurs. Pour améliorer l'appréciation des fondeurs en fonction de leur masse corporelle, Carlsson et al. (2015) rapportent que des études antérieures ne montraient pas de données concluantes avec les valeurs absolues ou de ratio simple par rapport à la masse corporelle selon un intervalle de confiance à 95,00%. Toutefois, les études démontraient une meilleure appréciation des performances avec une correction allométrique en utilisant 0,50 comme exposant de la masse corporelle sur la valeur de VO_2 Max relative suggérée pour les fondeurs. Non seulement l'utilisation des valeurs absolues ou relatives au poids est déconseillée, mais cette étude montre que l'utilisation d'un exposant de 0,50 était encore mieux qu'un exposant de 0,67, d'après la loi de la surface (Winter et al. 2007). Une autre proposition basée sur la théorie de l'élasticité qui consiste à prendre en compte l'absorption et le relâchement

de l'énergie généré par les tendons influencerait la relation entre la masse corporelle et le coût métabolique (Carlsson et al. 2015). L'exposant pour cette théorie passerait donc à 0,75 afin de refléter les facteurs physiologiques comme le coût métabolique, le débit cardiaque et la consommation d'oxygène. Carlsson et al. (2015) ont donc tenté de confirmer quel était le meilleur exposant pour refléter une performance sur un 15 kilomètres en style classique chez les hommes. En se basant sur les dernières normes de parcours de la Fédération Internationale de Ski (FIS), le parcours simulé viendrait donc confirmer l'hypothèse de l'étude qu'un exposant de 0,50 à la masse corporelle reflèterait la meilleure unité de mesure pour la distance de 15 kilomètres. Les fondeurs les plus lourds démontreraient des temps intermédiaires de plus en plus élevés au courant du parcours, c'est-à-dire une baisse de vitesse jusqu'à l'arrivée, ce qui prouverait que les skieurs plus lourds sont désavantagés, démontrant une diminution de l'importance de la filière anaérobie lors d'un parcours avec des dénivelés, mais surtout de longue distance. Bref, pour bien apprécier un skieur de fond dans une longue distance et ainsi permettre de mieux prédire ses performances, il serait alors conseillé d'abandonner l'utilisation de l'expression du VO_2 Max sous forme absolue (L/min). De plus, il serait aussi important d'abandonner l'expression sous forme simple relative à la masse du fondeur (ml/kg/min), car celle-ci a tendance à surestimer les performances des fondeurs légers, alors que les performances des fondeurs plus lourds seraient sous-estimées (Carlsson et al. 2015). Finalement, il serait donc important d'adopter l'expression ml/kg$^{0.5}$/min en incluant l'exposant de 0,50 en fonction de la masse corporelle, car le $\dot{V}O_2$ Max est influencé par l'inclinaison du parcours et la distance parcourue. Par conséquent, lorsque le temps passé en côte augmente, les skieurs de fond plus légers, privilégiés dans les ascensions, sont de plus en plus privilégiés pendant la dernière partie d'une course de distance (Carlsson et al. 2015). De plus, Sandbakk et al. (2016) mentionnent que les valeurs de temps passé en montée serait donc un très bon prédicteur de performance, chez les fondeuses, pour les compétitions de 10 km de style classique. La masse corporelle devient donc essentielle dans la prédiction de performance en longue distance.

2.2.2 Courte distance

Plus tôt, nous avons déterminé que la masse du skieur de fond pouvait influencer l'interprétation du VO_2 Max, un déterminant important en ski de fond, sur des longues distances. De plus, nous constatons que l'expression du VO_2 Max relatif simple n'est plus une bonne méthode pour rendre justice au fondeur avec une masse corporelle faible ou importante à travers une performance intégrant des dénivelés et une distance prolongée. Dans un autre ordre d'idée, il existe le sprint qui se situent entre 0,80 et 1,80 kilomètres. On parle, chez l'élite mondiale spécialiste, d'un temps approximatif de moins de 4 minutes pour les plus longues distances de cette épreuve. Nous avons affaire à une filière énergétique totalement différente et il serait donc intéressant d'aborder l'importance de la consommation d'oxygène pour un temps aussi court. On pourrait croire que le système aérobie est présent en majorité du temps de l'effort. Carlsson et al. (2016) rapporte qu'une montée en ski à roulettes de style classique sur 600 mètres prenait en moyenne 3 minutes à faire et l'échantillonnage pendant le test montrait donc une contribution de l'ordre de 20,00 à 26,00 % du système anaérobie et la consommation d'oxygène de pointe était identique à la consommation maximale. On peut donc en conclure que le système aérobie est d'une haute importance, mais pour cette épreuve, la filière anaérobie est déterminante pour gagner. Encore dans cette même étude, en effectuant un test maximal à l'effort pour mesurer la consommation d'oxygène et ensuite faire une analyse de la masse maigre de l'athlète, on rapporte une corrélation directe entre la masse maigre et la performance rapportée par la FIS sous forme de pointage de même qu'avec la puissance anaérobie de l'athlète et ce même pointage (Figure 2.4) (Carlsson et al. 2016).

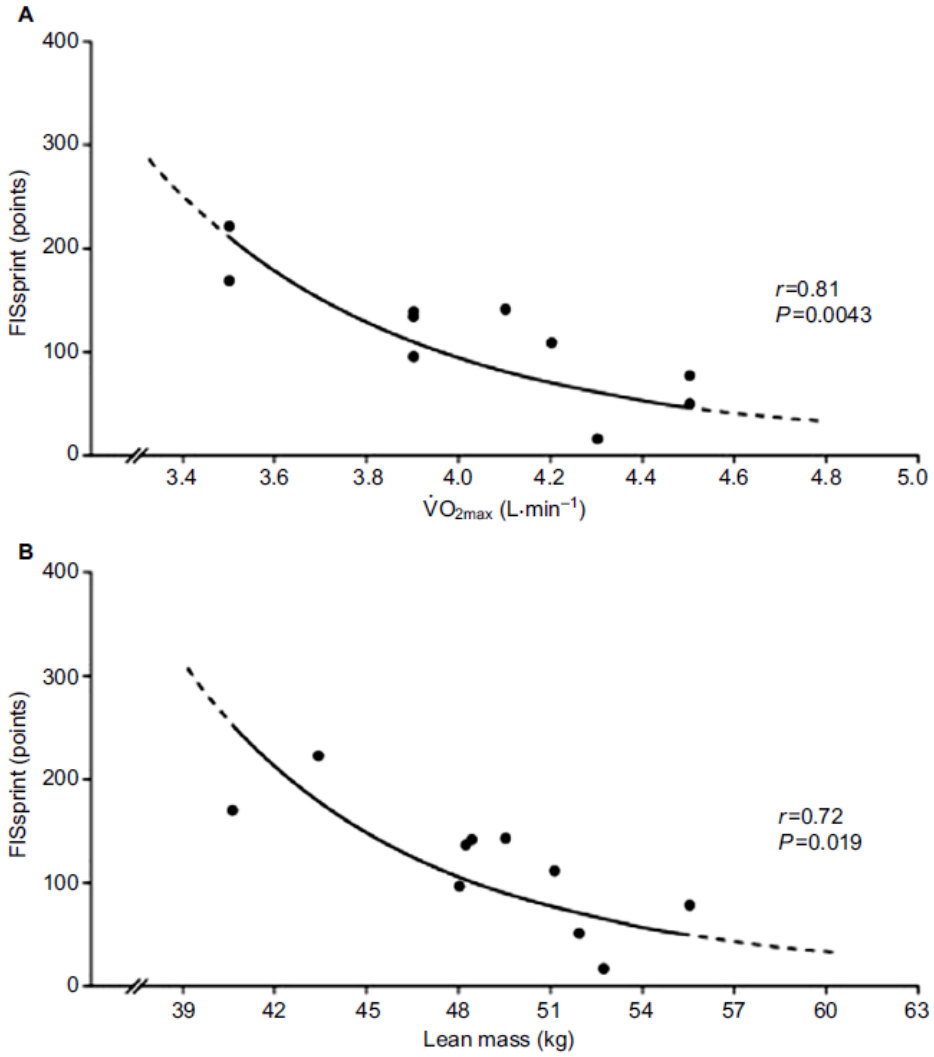

Figure 2.4 Modèle montrant la relation entre le pointage FIS, la masse maigre (LM) et la consommation d'oxygène maximale absolue (Litres par min), (Carlsson et al. 2016).

Le type d'expression de la consommation d'oxygène chez les athlètes de sprint est importante à déterminer afin d'apprécier les qualités physiques. On propose donc d'exprimer cette consommation en valeur absolue pour éviter de croire qu'un fondeur plus lourd serait moins performant en sprint, car il s'agit du contraire (Carlsson et al. 2016). Ainsi, l'ajout d'une donnée pour mesurer la performance serait donc la masse maigre. Celle-ci, utilisée pour déterminer la quantité de la masse totale des muscles

uniquement, est considérée en bonne proportion à la capacité anaérobie (glycolyse, phosphorylation, etc.) et ce volume des muscles démontre une augmentation du potentiel en énergie de la filière anaérobie, sous forme de phosphocréatine et de glycogène (Carlsson et al.2016).

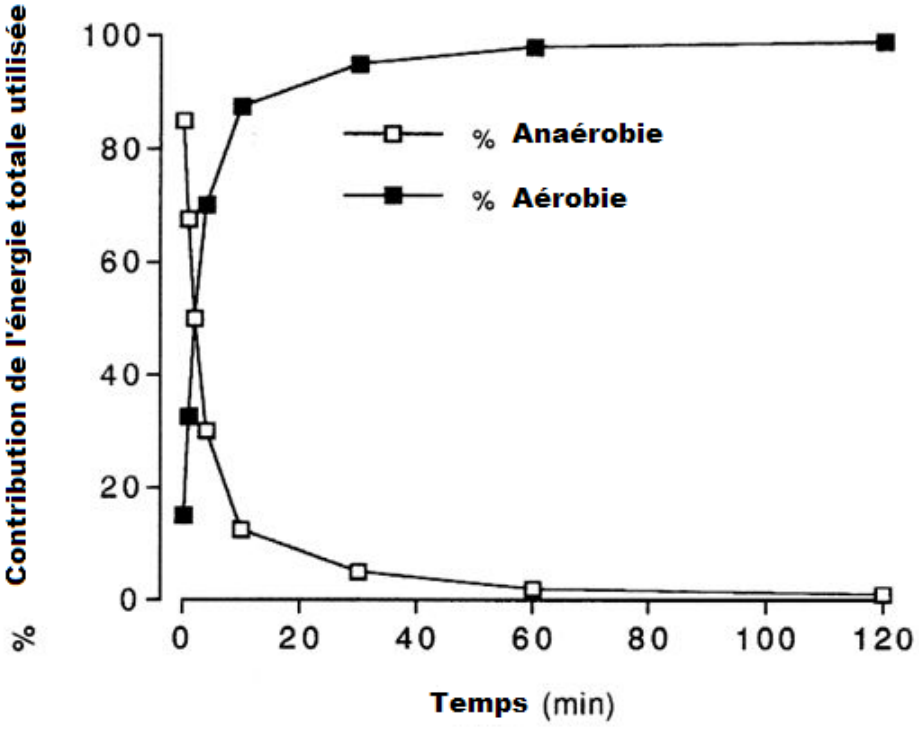

Figure 2.5 Pourcentage de la contribution de l'énergie totale, adaptée de McArdle et al. (2014).

Nous pourrions donc conclure qu'avec un VO_2 Max absolu élevé en fonction d'une masse en kilogramme (kg) importante et avec une masse maigre en bonne majorité de la masse totale du fondeur, cet attribut physique pourrait être un prédicteur d'une présence accrue de fibres musculaires à caractères glycolytiques (type 2A et 2B) chez les athlètes spécialistes de l'épreuve du sprint. Bref, plus le fondeur a un VO_2 Max absolu haut (importance d'environ 80,00%) et plus sa masse maigre est élevée

(importance d'environ 20,00%) (Figure 2.5), plus le fondeur aura une meilleure performance lors d'une épreuve de sprint.

2.2.3 L'atteinte du VO_2 Max par le VO_2 de pointe

Pour que l'on puisse évaluer un sprinteur ou un fondeur de longue distance, une évaluation de la consommation maximale de l'oxygène s'impose pour déterminer le niveau de l'athlète et, ainsi, pouvoir déterminer avec précision les zones d'entrainement de celui-ci. Les athlètes sont donc amenés à faire différents types de tests pour déployer un effort maximal pour atteindre une vitesse, une vélocité ou une puissance maximale. Ces différents tests sont donc généralement des tests à palier qui augmentent de façon continue ou discontinue, jusqu'à épuisement total de l'athlète. Généralement, la conduction de ce genre de test demande plusieurs appareils tels qu'un analyseur d'échange gazeux, un électrocardiogramme, un analyseur de lactate, etc. En plus de la lecture des données recueillies par l'équipement, nous pouvons, pour certifier une consommation maximale d'oxygène, nous rapporter à des critères secondaires pour s'assurer de la validité du résultat. Les critères secondaires les plus utilisés sont le ratio d'échange respiratoire (RER), l'atteinte de la fréquence cardiaque maximale (FCM) prédite selon l'âge ou la FCM qui est déjà connue chez les athlètes élites et le taux de lactate sanguin (Poole et al. 2017). Le RER doit être supérieur à 1,00, 1,10 ou 1,15, la fréquence cardiaque inférieure ou égale à 10 battements par minutes estimés selon la formule d'Astrand et al. (1954) et obtenir un taux de lactate égal ou supérieur à 8,00 millimoles (Poole et al. 2017; Pettitt, et al. 2014).

Toutefois, l'utilisation de critères secondaires peut fausser les résultats. En effet, Poole et al. (2017) rapportent que l'atteinte du RER peut varier entre un ratio de 1,00 à 1,44 selon la même mesure, pour le même athlète. Aussi, dans cette même étude, ils démontrent que la fréquence cardiaque maximale peut atteindre, avec un intervalle de confiance de 95,00%, plus ou moins 35 battements par minute, selon le maximum

estimé à l'aide d'une formule. Puis, le taux de lactate quant à lui peut varier entre 4 et 17 mM (Poole et al. 2017). Les deux études (Poole et al. 2017; Pettitt, et al. 2014) s'entendent pour dire qu'ils suggèrent de ne plus utiliser les critères secondaires lors d'un test maximal pour valider l'atteinte du VO_2 Max, car nous devrions appeler le résultat comme étant un VO_2 de pointe, qui s'avère une donnée inutile pour les athlètes de haut niveau. De plus, les critères secondaires permettent une marge d'erreur qui sous-estime le résultat de 30,00 à 40,00% (Poole et al. 2017).

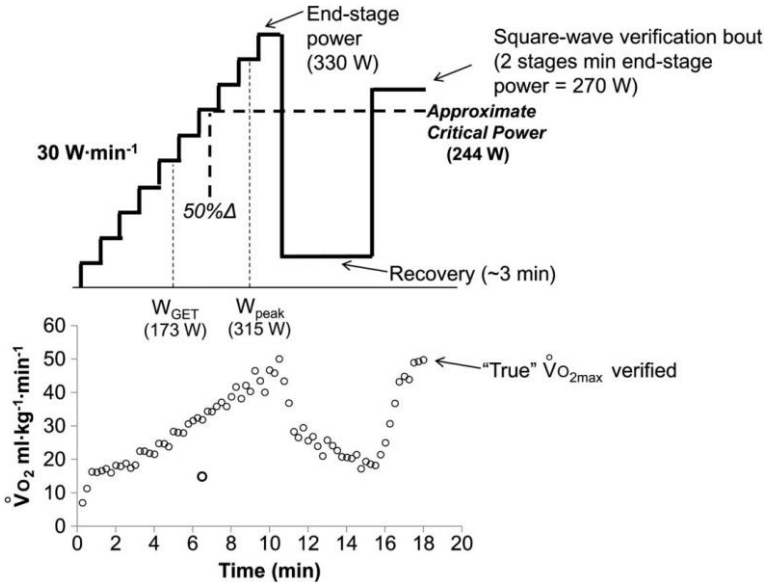

Figure 2.6 Vérification du VO_2 Max à l'aide d'un intervalle supra-maximal. (Poole et al. 2017).

Afin de valider l'atteinte du VO_2 Max, Poole et al. (2017) suggèrent un intervalle constant à une intensité déterminée à la suite d'un test progressif (Figure 2.6). Brièvement, l'approche permet l'atteinte du VO_2 Max hypothétique. Ensuite, l'athlète récupère pour environ 20 minutes avant de faire un intervalle constant à 10,00% au-dessus de la valeur finale du test progressif. Cette augmentation permettra une cinétique qui favorisera l'apparition d'un VO_2 Max identique ou possiblement plus élevé que celui obtenu durant le test à palier progressif (Poole et al. 2017). Par ailleurs, Pettitt et al. (2014) propose un concept (Figure 2.7) semblable avec un second test d'une durée

de 2 minutes après le test progressif. Toutefois, il s'agit d'un palier sous-maximal afin d'atteindre à nouveau une valeur semblable ou supérieure au premier test. Néanmoins, dans le cas de Pettitt et al. (2014) ou Poole et al. (2017), pour déterminer l'atteinte de l'épuisement, l'athlète doit donc demander, sur tapis roulant, de réduire la vitesse indiquant l'incapacité de poursuivre ou de maintenir la vitesse de course initiale. Sur un vélo, l'épuisement est atteint si la cadence diminue de 10 rotations par minute pendant plus de 10 secondes. À ce moment, dans les deux cas (course ou vélo) la différence de la consommation d'oxygène doit se situer à un maximum de 3,00 % du test progressif ce qui validera le VO_2 Max et la vitesse de course ou la puissance où celle-ci fut atteinte selon le cas (Pettitt, et al. 2014) Bref, pour évaluer un athlète et espérer atteindre un VO_2 Max, il faut s'assurer d'avoir un environnement le permettant. Nous avons donné des exemples tirés de la littérature, mais nous discuterons plus en profondeur de la différence entre le laboratoire et le terrain, ainsi que d'autres méthodes de test valide. Néanmoins, un skieur de fond devrait se faire évaluer seulement en atteignant le vrai VO_2 Max.

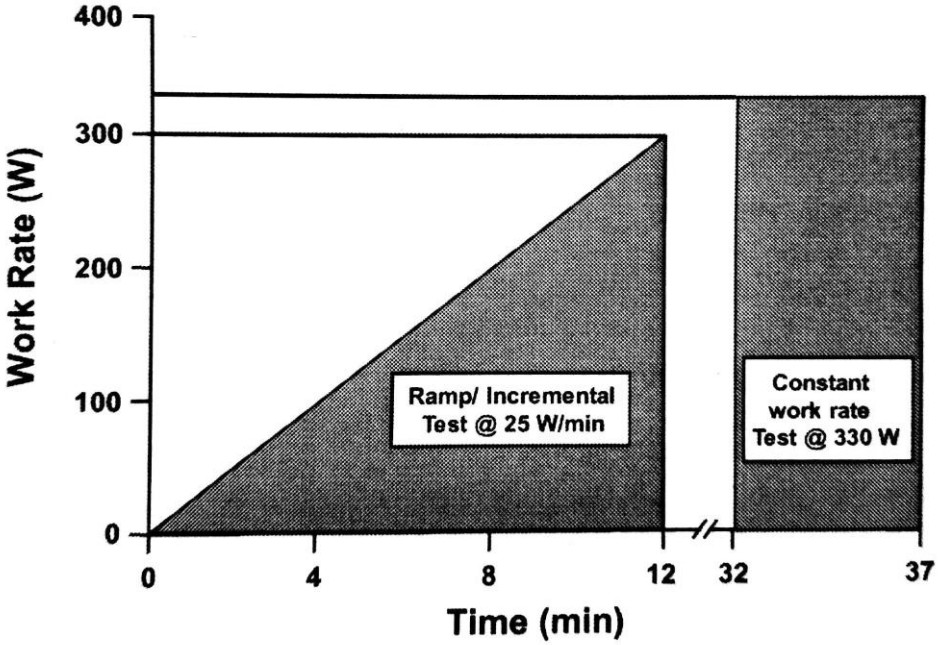

Figure 2.7 Vérification du VO_2 Max à l'aide d'un intervalle sous-maximal. (Pettitt, et al. 2014).

2.2.4 Métabolisme du lactate chez le skieur de fond

Dans les distances qui varient entre 5 et 50 kilomètres, les skieurs de fond sont habitués au terme seuil lactate comme étant un point à ne pas dépasser dans la gestion d'énergie en compétition et en entrainement. Afin de bien comprendre les dernières tendances en cette matière chez les fondeurs, nous devons décortiquer ce concept qui est utilisé depuis plusieurs décennies. Lorsqu'un athlète entreprend une intensité de plus de 50,00% de sa puissance maximale, nous observons une augmentation de lactate au niveau de la circulation sanguine. Cette augmentation de lactate sanguin est une indication de glycolyse accrue en lien avec l'apparition de nicotinamide adénine dinucléotide réduit (NADH) qui est le produit du transport des électrons à l'intérieur même de la mitochondrie pour produire de l'ATP. Ensuite, le cytoplasme de la cellule musculaire observe une augmentation du NADH influençant la conversion du pyruvate en lactate pour ainsi être en mesure de transporter à nouveau un électron dans la mitochondrie. En ce sens, Winter et al. (2007) proposent que l'ancien concept de

métabolisme anaérobie ne doit plus être considéré comme étant un système bien défini, car le lactate est présent à toutes les intensités et que l'oxygène est toujours disponible au niveau de la mitochondrie. L'ancien concept mentionne donc une barrière stipulant que le système anaérobie débute et qu'un manque d'oxygène fait en sorte que le lactate augmente, mais étant erroné, nous devons donc trouver un terme plus approprié. Le seuil lactate est la première augmentation marquée lors d'une analyse à l'effort. Selon Winter et al. (2007), le seuil lactate est le terme le plus approprié pour définir la mesure du lactate sanguin. Un second terme est le début de l'accumulation de lactate sanguin ou en anglais O*nset of blood lactate accumulation* (OBLA). Ce terme fait donc mention d'une augmentation substantielle du lactate que nous mesurons afin de déterminer l'état où le lactate sanguin n'est plus constant et persiste à augmenter, généralement au-delà de 4,00 mmol/L. On peut aussi appeler cette mesure *lactate turnpoint* (LTP), souvent dit en laboratoire comme le seuil lactate, qui est identique au niveau des valeurs d'échantillons (4,00 mmol/L). Dans la Figure 2.8, nous observons que le LTP se situe autour de 4,00 mmol/L, mais que la cinétique suivant le LTP diffère d'un athlète à une personne sédentaire. Finalement, il y a l'état stable maximal du lactate (MLSS) qui montre à quelle intensité l'athlète doit se maintenir pour éviter une augmentation du lactate sanguin et ainsi, maintenir l'intensité la plus élevée et le plus longtemps possible sans se fatiguer, dans une zone que l'on appelle *Isocapnic buffering*. Dans la Figure 2.8, nous pouvons voir la différence d'une personne entrainée et non-entrainée sur la puissance déployée à vélo, étant plus grande, mais montrant ainsi que le seuil lactate vient beaucoup plus tard chez l'athlète entrainé.

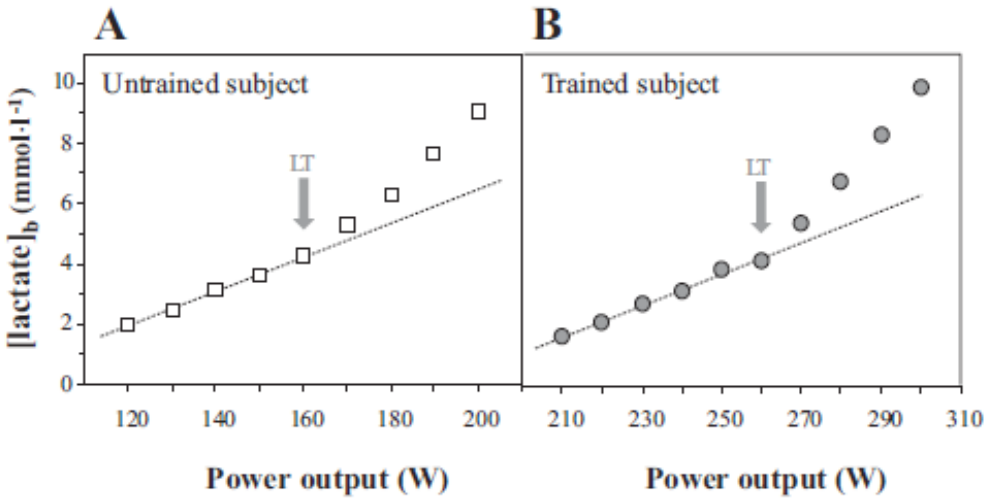

Figure 2.8 Différence entre la puissance à vélo d'une personne sédentaire (A) et d'une personne entrainée en endurance (B) en comparant différents niveaux de wattage avec la production de lactate à l'effort, Messonnier et al. (2013).

Le lactate est un produit de la sollicitation des fibres glycolytiques non-résistantes à la fatigue (Type IIX) et le ski de fond, selon la discipline, est un sport de nature majoritairement aérobie (fibre de type I oxydative et de type IIA glycolytique-oxydative). On peut donc dire que le seuil lactate, qui peut être modifié avec l'entrainement, influence les performances et doit être utilisé pour la gestion des zones d'intensité (Messonnier et al. 2013). Il s'agit donc d'une mesure importante à considérer pour un skieur de fond, étant donné que le lactate peut augmenter rapidement en fonction de l'intensité et surtout du type de parcours lors de compétition. Une capacité de repousser le seuil lactate est primordiale pour améliorer la performance malgré la valeur du VO_2 Max qui peut rester stable.

2.2.5 Comparaison entre un fondeur de niveau national et international

Le stade de développement de l'athlète est un spectre assez large, étant donné qu'il englobe la totalité des périodes de développement de la personne du jeune âge à l'accomplissement international à l'âge adulte. Les différences marquées à chaque

moment de son développement fait en sorte que le choix de l'intervention et de l'évaluation va influencer grandement l'avenir de l'athlète, mais aussi l'interprétation des données recueillies. Aussi, en ski de fond, l'aspect technique est un déterminant important de la performance de l'athlète. En regardant certaines études, on observe une différence marquée entre les hommes et les femmes. On remarque que les fondeurs hommes sont 12,00 % plus rapides que les femmes (Hegge et al. 2015).

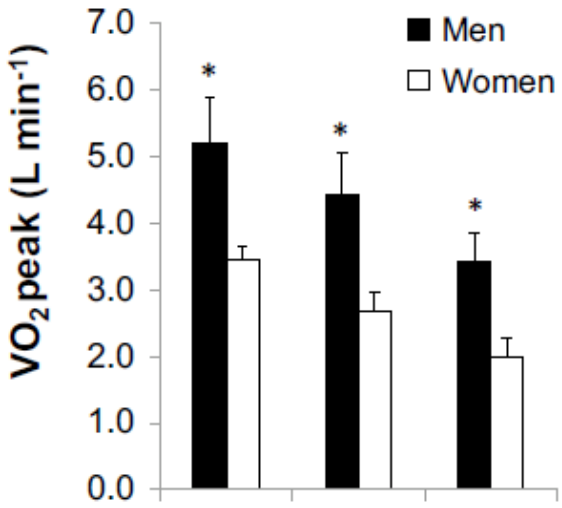

Figure 2.9 Comparatif du VO_2 Max des fondeurs hommes et femmes en double poussée avec tout le corps, avec le tronc et les bras et seulement avec les bras, respectivement. (Hegge et al. 2015)

La puissance aérobie (Figure 2.9) qui est supérieure chez l'homme pourrait être attribuée à la distribution de la masse musculaire qui semble être un facteur plus important que la puissance aérobie, surtout en observant une plus grande masse musculaire chez l'homme au niveau des membres supérieurs. En effet, Hegge et al. (2015) ont observé que la différence entre les sexes se situe sur la distribution plus importante de la masse musculaire dans le haut du corps chez l'homme et à une qualité technique légèrement supérieure que chez la femme. Les mêmes auteurs notent qu'en

ski de fond, la différence entre les sexes est plus élevée que pour tous les autres sports d'endurance.

Un autre facteur important à bien identifier chez un athlète est son niveau d'agilité. Nous savons que le ski de fond est un sport d'endurance très technique comparativement au cyclisme ou à la course à pied. Aussi, on note plusieurs différences entre les fondeurs de niveau national et international au niveau du nombre de séances d'entrainements annuel. Par une analyse métabolique, on caractérise les athlètes internationaux supérieurs en termes de performance en raison de leur volume d'entrainement plus grand, soit ayant 13,00% plus de séances d'entrainement avec des séances qui durent en moyenne 18,00% plus longtemps que leur collègue national (Sandbakk et al. 2016). Sandbakk et al. (2016) relatent une situation importante dans leur étude, soit que l'aspect technique des fondeurs élites, national et international, était de niveau semblable et efficient au niveau sous-maximal (en-dessous du VO_2 Max).

Contrairement à ce que l'on a pu remarquer chez les hommes, la performance des femmes ne semblent pas être influencées par la puissance des membres supérieurs autant en double poussée qu'en pas alternatif (Sandbakk et al. 2016). Encore chez les femmes, le déficit d'oxygène lors d'un test maximal de 3 minutes en pas alternatif était semblable, pour la même technique, autant chez les athlètes internationales que nationales (Sandbakk et al. 2016). Cependant, la différence marquée entre les niveaux nationaux et internationaux chez les femmes est sans aucun doute la valeur maximale de la puissance aérobie sur le plat et lors de montée d'une côte (Sandbakk et al. 2016). Dans cette optique, nous pouvons donc penser que l'aspect technique linéaire est bien appris chez les deux types de compétitrices, mais que la stratégie, l'habilité des transitions de techniques et l'adaptation selon le terrain ne sont pas encore optimaux chez les athlètes nationaux contrairement aux athlètes internationaux (Sandbakk et al. 2016).

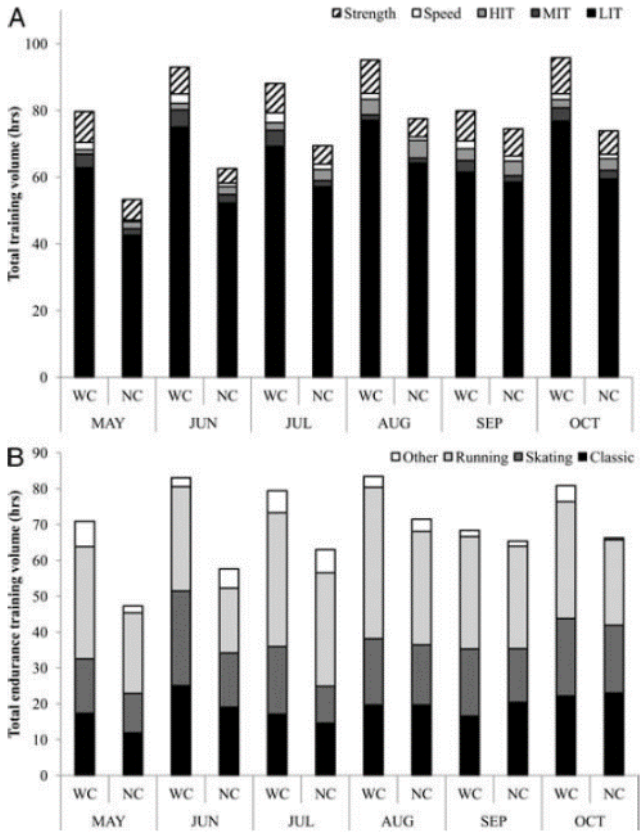

Figure 2.10 Volume d'entrainement selon les zones d'entrainements (A) et selon le sport (B), en saison morte. HIT (Haute intensité), MIT (Moyenne intensité), LIT (Basse intensité) (Sandbakk et al. 2016).

Bref, les hommes et les femmes semblent avoir un niveau technique semblable au niveau national et international respectivement. Toutefois, les athlètes internationaux font beaucoup plus de volume que leurs compatriotes nationaux (Figure 2.10). De manière générale, on note un temps important en basse et moyenne intensité, et beaucoup de travail de vitesse, de force maximale et de puissance pour les deux niveaux de compétiteur (Sandbakk et al. 2016).

2.2.6 Comparaison des disciplines connexes

Plusieurs athlètes qui ont été en mesure de participer aux Olympiques d'hiver et d'été sont aussi en mesure de performer dans plusieurs sports. Sandbakk et al. (2016) ont évalué la différence entre les performances des athlètes en ski de fond comparativement aux athlètes en combiné nordique. Ils ont sélectionné 5 athlètes de différentes disciplines et leur ont fait passer une batterie de tests : imitation au saut à ski, test sous-maximal en ski à roulettes du style pas de patin, test maximal en ski à roulettes du style pas de patin et mesure de la cinématique en ski à roulettes du style pas de patin pour quantifier l'économie. Sandbakk et al. (2016) rapportent donc que les fondeurs en combiné n'avaient pas de différence sur l'efficience (Figure 2.11) avec les fondeurs à vitesse sous-maximale, mais que les données physiologiques étaient grandement différentes.

Table 4 Physiological Responses and Gross Efficiency in World-Class Nordic Combined (NC) Athletes and Cross-Country (XC) Skiers at Submaximal Intensity (14 km/h) While Roller Ski Skating at 5% Incline, Mean ± SD (Range)

Variable	NC athletes (n = 5)	XC skiers (n = 5)
$\dot{V}O_2$ (L/min)	3.71 ± 0.19 (3.4–3.9)***	4.33 ± 0.13 (4.2–4.5)
$\dot{V}O_2$ (mL · min^{-1} · kg^{-1})	51.2 ± 2.1 (49.0–54.3)	52.7 ± 1.5 (51.6–54.0)
$\dot{V}O_2$ in % of $\dot{V}O_2$peak	73.2 ± 4.6 (68.2–78.0)	68.8 ± 2.2 (67.0–71.1)
HR in % of peak HR	86.8 ± 3.3 (84.2–91.1)**	78.0 ± 2.5 (75.1–80.6)
RER	0.91 ± 0.05 (0.85–0.97)*	0.87 ± 0.04 (0.83–0.89)
BLa (mmol/L)	3.2 ± 1.2 (2.2–5.1)*	1.4 ± 0.4 (1.1–1.9)
Gross efficiency (%)	16.5 ± 0.7 (15.5–17.3)	15.8 ± 0.2 (15.6–16.1)

Abbreviations: $\dot{V}O_2$, oxygen uptake; $\dot{V}O_2$peak, peak oxygen uptake; HR, heart rate; RER, respiratory-exchange ratio; BLa, blood lactate concentration.

*$P < .05$. **$P < .01$. ***$P < .001$.

Figure 2.11 Réponses physiologiques et ratio d'efficience brute chez les athlètes en combiné nordique et en ski de fond de niveau mondial à un niveau sous-maximal (14 km/h), (Sandbakk et al. 2016)

En effet, dans un test maximal, les fondeurs ont montré un plus grand VO_2 Max que les athlètes en combiné nordique. Dans un test sous-maximal avec une pente de 5,00%, les fondeurs combinés affichaient 3,20mmol/L de lactate sanguin contre 1,40mmol/L pour les skieurs de fond.

Selon l'étude, les meilleurs athlètes en ski de fond, patin de vitesse, triathlon, course à pied et autres s'entrainent vers un modèle polarisé avec un grand volume d'entrainement à basse intensité et un moyen/bas volume en haute intensité avec environ 5,00% à 15,00% du temps annuel en entrainement en force. Cela dit, ce modèle s'applique aussi aux fondeurs et aux athlètes en combiné nordique, mais diffère grandement entre les deux groupes d'athlètes au sujet du volume en basse intensité en style classique. Encore selon ces auteurs, ils concluent que bien que la haute intensité puisse induire une adaptation physiologique importante sur la performance, l'étude présente des observations démontrant que c'est le volume à basse intensité pendant un cycle annuel qui apporte le plus d'adaptation de la capacité aérobie, soit le VO_2 Max. Cependant, Sandbakk et al. (2016) ont démontré que la faible différence de l'efficience en pas de patin entre les fondeurs et les athlètes en combiné nordique s'expliquait avec un temps d'entrainement similaire en pas de patin pour les deux parties. Toutefois, l'entrainement en course à pied et en style classique chez les fondeurs, dans un régime à basse/moyenne intensité, aurait probablement favorisé l'adaptation physiologique pour atteindre un VO_2 Max plus élevé chez les fondeurs, comparativement aux athlètes en combiné nordique (Sandbakk et al. 2016). La course à pied et le style classique n'auraient pas d'impact sur la qualité technique et l'efficience en style patin. Enfin, cette démonstration proposerait donc une tendance à vouloir tester les fondeurs de manière spécifique dans leurs champs pour bien apprécier les qualités spécifiques des fondeurs comparativement aux autres sports d'endurance.

2.3 Comparaison et validité entre un test en laboratoire et un test sur le terrain

De plus en plus d'entraineurs se tournent vers les tests sur le terrain en raison de leur facilité d'exécution et les coûts peu élevé dans l'utilisation de ceux-ci. Les équipes nationales continuent d'utiliser les tests laboratoires afin d'avoir des mesures qu'on appelle *Gold Standard* ou des mesures étalons. Ces tests en laboratoire consistent à récolter la consommation d'oxygène, le lactate et toutes autres données qui demandent un contrôle de l'environnement. Ce genre de situation semble très contraignante pour les clubs sportifs avec peu de revenus, mais qui abritent souvent des athlètes d'élite. Il est donc nécessaire d'évaluer la nécessité de payer un montant important pour des appareils en sciences du sport. Plusieurs études se sont donc penchées sur des alternatives notamment en course à pied et en ski de fond. Galbraith et al. (2014) rapportent donc que de nouvelles approches ont été développées pour la course à pied. Ils parlent donc de vitesse critique qui s'apparente au seuil lactate en voyant un maintien d'une vitesse élevée sans l'augmentation immédiate de la consommation d'oxygène vers la consommation maximale. Outre la vitesse critique, Galbraith et al. (2014) parlent de la plus longue distance parcourue à une vitesse supérieure à la vitesse critique. Cela semblerait donc, selon l'étude, des mesures plus intéressantes que celle récoltée en laboratoire, car ces tests sont assez sensibles pour être en mesure de démontrer des changements mineurs contrairement au test maximal en laboratoire. Dans son étude, Galbraith et al. (2014) comparent des tests en laboratoire sur tapis roulant à des tests de vitesse critique sur piste d'athlétisme. Les tests de vitesse critique étaient dans l'ordre : 3600m, 2400m et 1200m avec 30 minutes de pause entre chacune des distances. Le test en laboratoire étaient réalisés en 2 phases. La première phase était pour déterminer la vitesse au seuil lactate à 4 mmol/L de lactate sanguin et la deuxième phase avait pour but de déterminer la consommation maximale d'oxygène. Une grande corrélation, de $r=0,89$ ($P< 0.01$), fut observée par Galbraith et al. (2014) entre la vitesse critique et la vitesse au seuil lactate et une corrélation à $r =0,96$ ($P< 0.01$) pour la vitesse

critique et le seuil ventilatoire. Une faible corrélation, de r=0.40 ($P < 0.01$), fut observée entre la vitesse critique et le VO_2 Max.

Cappa et al. (2014) ont validé un test hexagonal, UNCa, de course à pied pour comparer les valeurs d'un test en laboratoire. Le test en laboratoire consistait en un premier palier de 3 minutes à 8,00 km/h puis d'un deuxième palier de 2 minutes à 10,00 km/h. Les prochains paliers étaient des paliers de 1 minute avec une augmentation de 1 km/h pour atteindre la fatigue complète de l'athlète. Le test UNCa avait le même protocole que le test en laboratoire dans un environnement hexagonal avec un espacement de 20 mètres entre chaque coin, ayant un angle de 120 degrés. Cappa et al. (2014) ont donc comparé les données et ont obtenu une corrélation de r=0,83 ($P< 0.01$) entre les deux tests. Cette étude démontre encore une fois qu'un test terrain pourrait agir avec une bonne fidélité pour l'analyse de la capacité aérobie et que, dans un environnement avec peu de moyen, les athlètes pourraient obtenir des résultats très précis de leur capacité aérobie.

On peut donc conclure que la course à pied sur le terrain est tout aussi valide qu'un test en laboratoire, en respectant tous les critères afin de bien reproduire l'environnement nécessaire pour avoir un résultat valide. Chez les fondeurs, il est nécessaire d'avoir un suivi rigoureux puisque les athlètes changent parfois de sport, par exemple entre le ski à roulettes et le ski de fond sur neige ou chez les plus jeunes pour du vélo, du triathlon ou de la course au ski de fond sur neige. Il est donc important d'avoir une évaluation dans les différentes étapes de l'année afin de relever le niveau de la performance. Çetin et al. (2013) mentionnent que dans un monde un idéal, les athlètes devraient s'entrainer sur neige même l'été, mais que le coût est trop important pour en faire une tendance et c'est pour cela que les sports pratiqués par les fondeurs l'été en ordre d'importance sont le ski à roulettes, la course à pied, le patin à glace, le patin à roue alignée, la course en montagne avec bâton, l'aviron, l'escalade, le vélo, la natation et le tennis. Il est donc

très important de choisir un test qui peut représenter, même chez les athlètes élites, la valeur pratiquée sur le terrain. Carlsson et al. (2014) a étudié la question afin de comparer une possible option qui s'adresse au club de ski de fond avec les athlètes juniors. Selon Carlsson et al. (2014), la course à pied permet d'obtenir une corrélation ($r=0,81$ pour les épreuves de distance sur neige, $r=0,78$ pour les épreuves de sprints sur nige, $p<0,001$) assez haute pour équivaloir le ski à roulettes. Les recherches de Carlsson et al. (2014) proposent que les différentes formes de techniques en ski à roulettes comme le style classique en pas alternatif lors d'un protocole de test dans une montée en colline est la mesure la plus corrélative chez les hommes à $r=0.86$ avec le pointage de la FIS sur longue distance et en sprint pour démontrer l'importance du VO_2 Max et du seuil lactate. Plus en détails, ce test a été réalisé sur une route d'asphalte avec un gain d'altitude total de 96 m le long du parcours sur 2 kilomètres, ce qui correspond à une inclinaison moyenne de 2,80° ou 4,80%. Le gradient de la côte était constant du début jusqu'à la fin du parcours. De plus, selon Carlsson et al. (2014) le pas alternatif reste toujours avec une haute corrélation même quand la performance à la course à pied est insérée dans une formule de prédiction de pointage FIS à $r^2=0.823$ pour la distance et $r^2=0.812$ pour le sprint. Bref, Carlsson et al. (2014) montrent que les tests à la course à pied et en ski à roulettes chez les athlètes juniors sont comparables au test laboratoire, coûtent moins cher et sont moins contraignant avec le temps.

Sachant que Çetin et al. (2013) proposent l'entrainement sur neige durant l'été chez les fondeurs élites pour améliorer leur performance, il serait donc valable de comprendre la faisabilité de test sur neige comparativement à des tests en laboratoire. Spencer et al. (2014) ont créé un parcours afin de simuler une compétition sur neige et analyser les résultats des fondeurs de haut niveau afin de mettre en évidence les déterminants d'une haute performance. Dans la mesure qu'il s'agit d'athlètes accomplis (top 10 mondial), la condition de la neige ne semble pas avoir affectée le produit des simulations et des résultats en temps de performance (moins de 2,00 %). Spencer et al. (2014) ont créé un

questionnaire avec une échelle analogue pour quantifier la qualité de la neige de façon subjective pour chaque athlète après avoir complété le parcours. D'une course à l'autre, on voit une variation de temps d'environ 1,10% chez les hommes et 1,30% chez les femmes indépendamment de la qualité de l'air et de la neige, et de la température de la neige et de l'air. Nous avons donc une ouverture à une possibilité d'évaluation sur neige. Carlsson et al. (2012) reviennent sur le fait qu'il est important d'avoir une évaluation constante pendant l'année pour bien capter les changements physiologiques pour donner suite à l'adaptation par l'entrainement fait par l'athlète. Dans leur étude, les auteurs proposent l'idée d'avoir une équation mettant en relation les tests et la performance, soit une corrélation avec les points provenant de la FIS. En créant un modèle régressif, on peut, selon Carlsson et al. (2012), prédire la réduction du pointage FIS montrant ainsi une forme de progression quantitative pour l'athlète. En effet, les athlètes dans cette étude ont effectué plusieurs tests en laboratoire afin de visualiser leurs déterminants sportifs: un test progressif sur ski à roulettes sur tapis roulant jusqu'à épuisement pour déterminer le VO_2 Max, un test discontinu pour déterminer le seuil lactate avec 5 paliers de 3,50 minutes et finalement 3 tests avec un ergomètre à double poussée de 20, 60 et 360 secondes pour mesurer la puissance maximale et moyenne pour chaque temps. Finalement, Carlsson et al. (2012) ont analysé la corrélation entre les déterminants avec une compétition de 15 km et de 30 km sur neige. Deux résultats se sont démarqués (Figure 2.12) dans cette étude selon les auteurs. D'une part, il y avait une corrélation r=0,80 entre la consommation maximale d'oxygène et le test en double poussée 60 secondes prouvant ainsi de l'importance du VO_2 Max et de la puissance anaérobie des membres supérieurs chez un fondeur. D'autre part, il y avait une corrélation significative r=-0.786 et r=-0.709 respectivement avec la simulation de 15 km sur neige et le pointage de la FIS pour les épreuves de distance (FISdist) et le VO_2 Max/$kg^{2/3}$ (Figure 2.13).

Regression models for elite male cross-country skiing performance parameters.*

Model formula	R^2
FISdist	
$643.9 - 79.2\ (N\ m \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}) - 6.6 \cdot DP60\dot{V}O_2mean/kg$	0.814
$903.2 - 7.5 \cdot \dot{V}O_2max/kg - 87.3 \cdot DP60\dot{V}O_2mean$	0.764
$932.8 - 2.06 \cdot \dot{V}O_2max/kg^{2/3} - 71.7 \cdot DP60\dot{V}O_2mean$	0.716
$922.6 - 90.9\ (N\ m \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}) - 6.6 \cdot \dot{V}O_2max/kg$	0.643
SNC15 (s)	
$6022.5 - 7.94 \cdot \dot{V}O_2max/kg^{2/3} - 201.9 \cdot DP60\dot{V}O_2mean$	0.780
$5617.2 - 24.6 \cdot \dot{V}O_2max/kg - 269.6 \cdot DP60\dot{V}O_2mean$	0.735
$5697.3 - 291.4\ (N\ m \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}) - 21.6 \cdot \dot{V}O_2max/kg$	0.641

*No statistical valid regression model was found for SNC30. Standard multiple regression analysis was used to create statistical valid regression models for each performance parameter. The regression model's formula and to what degree the model explains the variance for the performance parameter (R^2) are presented. FISdist = ski ranking points for distance competitions collected from International Ski Federation's 4th Cross-Country Points List 2007/2008 (FIS points) ($n = 12$); SNC15 = skiing time for 15 km in classical technique with interval start in Swedish National Championships (seconds) ($n = 12$); SNC30 = skiing time for 30 km double pursuit with mass start in Swedish National Championships (seconds) ($n = 9$); test parameters in order of appearance: $RER_{1.0}$ = relative work intensity where respiratory exchange ratio ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$) reached 1.0 during treadmill roller skiing ($N\ m \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$); $DP60\dot{V}O_2mean/kg$ = mean relative oxygen consumption during the 60-second double poling ski ergometer test ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$); $\dot{V}O_2max/kg$ = maximal relative oxygen consumption during treadmill roller skiing ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$); $DP60\dot{V}O_2mean$ = mean oxygen consumption during the 60-second double poling ski ergometer test ($L \cdot min^{-1}$); $\dot{V}O_2max/kg^{2/3}$ = maximal relative oxygen consumption during treadmill roller skiing ($ml \cdot min^{-1}/kg^{2/3}$); $OBLA_{4mmol}$ = relative work intensity where blood lactate reached 4 $mmol \cdot L^{-1}$ during treadmill roller skiing ($N\ m \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$).

Figure 2.12 Modèle de régression chez les fondeurs masculins sur différents paramètres de la performance et les points FIS des événements de distances (FISdist) et une simulation de compétition sur 15 km (SNC15), Carlsson et al. (2012).

Correlations between test and performance parameters for elite male cross-country skiers.§

Test parameter	FISdist *r*	SNC15 *r*	SNC30 *r*
PT60 (N·m)	0.174	0.060	0.412
PT180 (N·m)	0.083	−0.058	0.309
PT300 (N·m)	−0.100	−0.191	0.101
SQJ (cm)	−0.293	−0.318	−0.143
CMJ (cm)	−0.101	−0.133	0.088
CMJA (cm)	−0.010	−0.051	0.035
$Rise_{1mmol}$ ($N\ m \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)	−0.699*	−0.718†	−0.682*
$OBLA_{4mmol}$ ($N\ m \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)	−0.663*	−0.660*	−0.635
$RER_{1.0}$ ($N\ m \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$)	−0.773†	−0.732†	−0.624
$\dot{V}O_2max$ ($L \cdot min^{-1}$)	−0.482	−0.669*	−0.374
$\dot{V}O_2max/kg^{2/3}$ ($ml \cdot min^{-1}/kg^{2/3}$)	−0.709†	−0.786†	−0.506
$\dot{V}O_2max/kg$ ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)	−0.637*	−0.639*	−0.430
TTEX (s)	−0.794†	−0.864‡	−0.815†
$DP20F_{peak}$ (N)	−0.208	−0.345	−0.399
$DP20F_{peak}/kg$ (N/kg)	−0.406	−0.463	−0.605
$DP60P_{mean}$ (W)	−0.826*	−0.809*	−0.517
$DP60P_{mean}/kg$ ($W \cdot kg^{-1}$)	−0.724*	−0.694	−0.350
$DP60\dot{V}O_2mean$ ($L \cdot min^{-1}$)	−0.694*	−0.668*	−0.759*
$DP60\dot{V}O_2mean/kg$ ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)	−0.803†	−0.689*	−0.810†
$DP360P_{mean}$ (W)	−0.459	−0.507	−0.497
$DP360P_{mean}/kg$ (W/kg)	−0.616	−0.598	−0.650
$DP360\dot{V}O_2mean$ ($L \cdot min^{-1}$)	−0.333	−0.446	−0.437
$DP360\dot{V}O_2mean/kg$ ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)	−0.486	−0.473	−0.533

§Values are Pearson's product-moment correlation coefficients (*r*). Alpha levels of significance: $*p < 0.05$; $†p < 0.01$; $‡p < 0.001$. FISdist = ski ranking points for distance competitions collected from International Ski Federation's 4th Cross-Country Points List 2007/2008 (FIS points) ($n = 12$); SNC15 = skiing time for 15 km in classical technique with interval start in Swedish National Championships (seconds) ($n = 12$); SNC30 = skiing time for 30-km double pursuit with mass start in Swedish National Championships (seconds) ($n = 9$); PT60 = mean knee extension peak torque at $60° \cdot s^{-1}$; PT180 = mean knee extension peak torque at $180° \cdot s^{-1}$; PT300 = mean knee extension peak torque at $300° \cdot s^{-1}$; SQJ = maximal jump height in squat jump; CMJ = maximal jump height in countermovement jump; CMJA = maximal jump height in countermovement jump with an arm swing; $Rise_{1mmol}$ = relative work intensity where blood lactate had increased $1 \cdot mmol \cdot L^{-1}$ above the lowest measured value during treadmill roller skiing; $OBLA_{4mmol}$ = relative work intensity where blood lactate reached $4\ mmol \cdot L^{-1}$ during treadmill roller skiing; $RER_{1.0}$ = relative work intensity where respiratory exchange ratio ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$) reached 1.0 during treadmill roller skiing; $\dot{V}O_2max$ = maximal oxygen consumption during treadmill roller skiing; TTEX = time to voluntary exhaustion during treadmill roller skiing; $DP20F_{peak}$ = peak force during the 20-second double poling ski ergometer test; $DP60P_{mean}$ = mean power during the 60-second double poling ski ergometer test; $DP60\dot{V}O_2mean$ = mean oxygen consumption during the 60-second double poling ski ergometer test; $DP360P_{mean}$ = mean power during the 360-second double poling ski ergometer test; $DP360\dot{V}O_2mean$ = mean oxygen consumption during the 360-second double poling ski ergometer test; /kg = test parameter expressed relative to body mass ("test parameter unit"/kg).

Figure 2.13 Corrélations de Pearson avec différents paramètres de tests en relation avec les pointages FIS (FISdist), les simulations de course de 15 km (SNC15) et 30 km (SNC30), Carlsson et al. (2012).

En résumé, on peut donc affirmer que les tests en laboratoire apportent beaucoup de données qui sont importantes, mais que les tests terrain peuvent être tout aussi valides dans une approche fonctionnelle et peuvent parfois mieux mesurer des changements mineurs. On peut aussi se questionner à savoir si les tests de course à pied peuvent être un remplacement aux tests de ski à roulettes si l'aspect technique est un obstacle à l'obtention d'un résultat valide. De plus, le ski de fond sur neige semble, dans un parcours semblable à une compétition, être une méthode aussi fiable pour mesurer le niveau de performance si l'athlète est suffisamment avancé sur le plan technique et en incorporant une équation régressive en fonction des pointages FIS.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

3.1 Participants

Initialement, nous avions déterminé le nombre de participants à l'aide des précédentes études qui comparaient les skieurs alpins, les cyclistes et les fondeurs sur les aspects physiologiques et les différences de ceux-ci. Les études de Stöggl et al. (2016) avaient recruté près de 21 athlètes de plus de 30 ans avec un VO_2 Max de plus de 50 ml/kg/min. Ainsi, nous voulions recruter 30 participants afin d'établir une base de données plus large pour valider nos intentions de recherche. Les participants que nous recherchions étaient des athlètes en ski de fond avec un niveau d'expérience compétitif d'au moins de niveau provincial autant en style classique qu'en style pas de patin afin d'assurer une qualité technique. Toutefois, le recrutement a été extrêmement difficile étant donné que pour effectuer les tests, il fallait être en hiver et les athlètes sont souvent en compétition au même moment que l'étude. De ce fait, la taille de 1' échantillon était de 4 participants, âgés de 17 à 23 ans.

3.1.1 Critère d'inclusion

Le recrutement s'est basé sur divers critères d'inclusion. D'abord, il fallait que les participants soient des athlètes sans historique ou évidence de maladie pulmonaire et/ou cardiovasculaire. Ainsi, ils devaient répondre négatif à toutes les questions du

questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique (Q-AAP) (Annexe C). Aussi, les participants devaient avoir au moins 4 ans d'expérience en compétition sur le circuit provincial autant dans la technique du style classique que la technique du style patin et ce, pour toutes les épreuves de leur catégorie. Finalement, les athlètes devaient être à l'aise en ski à roulettes et être âgé entre 18 et 35 ans.

3.1.2 Critère d'exclusion

Les participants répondant « OUI » à une ou plusieurs questions du questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique (Q-AAP) étaient exclus. Les participants moins de 18 ans ou plus de 35 ans étaient exclus. Finalement, les athlètes qui n'avaient pas d'expérience en ski à roulettes étaient exclus.

3.2 Variables

3.2.1 Variables dépendantes

Les variables dépendantes sont le VO_2 MAX atteint lors du test de la course à pied, du test en ski à roulettes et du test sur neige. Le taux de lactate sanguin et la saturation d'oxygène musculaire (SmO_2) dans ces mêmes épreuves en faisait aussi parti. La durée et la progression des épreuves (tests) devaient atteindre un niveau assez important, mais de durée maximale (10-12 min) afin de permettre d'atteindre le VO_2 MAX avant une fatigue musculaire importante (Pettitt et al. 2014).

3.2.2 Variables indépendantes

Les variables indépendantes étaient la température de la neige, la température de l'air, l'humidité, les précipitations de neige, la qualité de la neige, la masse corporelle des participants, leur taille, le pourcentage de masse adipeuse et de masse maigre, l'âge et le sexe. L'absence de familiarité des participants avec le ski à roulettes pouvait générer un problème d'aspect technique qui pouvait influencer les réponses physiologiques à l'effort. Toutefois, les critères d'exclusion permettaient de retenir seulement les fondeurs ayant une bonne expérience avec le ski à roulettes.

3.3 Matériel

3.3.1 Analyse de l'échange gazeux par un analyseur métabolique portatif

Nous avons utilisé un appareil d'analyse métabolique portatif de type « breath-by-breath » METAMAX® 3B afin de récolter les données des échanges gazeux nécessaires à l'évaluation du VO_2 Max lors des différents tests sur tapis roulant et sur terrain (extérieur). Nous avions accès à un GPS intégré et la télémétrie permettant de transmettre à distance les données en temps réel à un ordinateur portatif (IBM PC Compatible). Cet appareil permettait d'obtenir l'altitude pour mesurer les différentes pentes lors des tests extérieurs au besoin. Une ceinture thoracique permettant de mesurer la fréquence cardiaque (H10, Polar, Fi) était aussi utilisée pour faire la captation des battements cardiaques par minute (bpm).

3.3.2 Analyseur de lactate sanguin

L'utilisation et l'applicabilité des mesures de lactate dépendent d'une instrumentation fiable, précise et linéaire, que ce soit en laboratoire ou sur le terrain. Au cours des

dernières années, l'application des tests physiologiques et de l'évaluation sur le terrain a augmenté particulièrement avec l'émergence d'analyseurs portatifs de lactate sanguin. Nous avons utilisé *Lactate Pro Analyser* (KDK) en laboratoire (Université du Québec à Montréal, UQAM) et sur le terrain (Morin-Heights, La piste des Fondeurs).

3.3.3 Saturation d'oxygène musculaire par spectroscopie près de l'infrarouge

La spectroscopie par proche infrarouge, aussi abrégée NIRS (Near-Infrared spectroscopy ou NIR spectroscopy en anglais) est une technique d'analyse quantitative et qualitative utilisée dans plusieurs domaines, dont dans le domaine de la santé. Le procédé utilise un spectre s'étendant à des longueurs d'onde proche du spectre visible, on l'appelle le proche infrarouge. Norris est le pionnier dans l'utilisation de cette technique en 1964 avec l'objectif de mesurer la quantité d'humidité dans des semences, de façon très rapide. Le NIRS est rapidement devenu une technique de choix et est encore à ce jour une technique analytique en forte expansion. Cette technologie s'applique aussi pour l'analyse de la saturation d'oxygène (SmO_2) capillaire et musculaire. Depuis quelques années, l'approche NIRS a été de plus en plus utilisée dans l'analyse en continu du SmO_2 à l'effort. Ainsi, us avons utilisé un appareil portable (MOXY, Fortiori Design LLC, États-Unis) pour tester la technologie et voir son application dans un processus d'analyse de la cinétique de SmO_2 ainsi que la fiabilité dans un contexte en ski de fond.

3.3.4 Tapis roulant extra large en laboratoire

Les tapis roulants sont utiles pour créer un environnement contrôlé de la vitesse et de l'inclinaison. Depuis des années, les laboratoires de recherche utilisent des tapis roulants extra larges afin d'incorporer des coureurs jusqu'à des cyclistes, patineurs et

plus. Nous avons donc choisi ce type de tapis pour plusieurs raisons. D'abord, puisque la largeur du tapis est suffisante pour incorporer un test en ski à roulettes sur le tapis roulant. Ensuite, parce que sa vitesse maximale atteint 48,00 km/h, sachant qu'en ski de fond, on rapporte des pointes au-dessus de 30,00 km/h. Puis, par sa capacité de générer plusieurs pourcentages d'inclinaison, nous permettant ainsi de choisir celle qui nous convient. Plus précisément, nous avons utilisé le *Vacumed #13630 High speed tranining and research treadmill*.

3.4 Procédures

3.4.1 Recrutement

Nous avons demandé l'aide de la fédération de ski de fond du Québec (Ski de Fond Québec) pour avoir accès à la liste des clubs et entraineurs de la province afin de publiciser notre recrutement. Afin de réduire le conflit d'intérêt et l'aspect de vulnérabilité chez les candidats potentiels, nous avons opté pour proposer la transmission de la demande de recrutement directement par l'entraineur. Un questionnaire d'aptitude à la pratique d'activité physique (Q-AAP) (voir Annexe A) était remis aux athlètes correspondant aux critères d'inclusions pour finaliser le recrutement.

3.4.2 Questionnaire de consentement et directives pré-test

Les participants devaient répondre à un questionnaire de consentement (Annexe D et Annexe E) qui explique les risques relatifs à l'exécution d'un test maximal et donc de consentir à la probabilité de blessure et de situation fatale qu'une activité physique pourrait engendrer, bien que quasi inexistante, mais néanmoins possible. Tous les points de ce questionnaire étaient bien visibles et bien expliqués. Les participants

étaient appelés à consentir volontairement et les participants mineurs devaient avoir l'approbation des parents. Finalement, les directives prétests étaient donnés préalablement 7 jours avant le début les tests afin que le participant prenne connaissance du processus et soit préparé pour poser toutes les questions au chercheur principal lors la participation à l'étude.

3.4.3 Instructions

Le jour 1. Mesure de la VO_2 max sur tapis roulant en course à pied.

L'athlète était accueilli au laboratoire de l'UQAM. L'ordre temporel des mesures est :

1. Prise de la masse corporelle.
2. Prise de la fréquence cardiaque (FC) de repos en position couché durant 5 minutes.
3. Installation du harnais de sécurité sur l'athlète.
4. Installation de l'analyseur métabolique portatif.
5. Prise de lactate sanguin avant le test.
6. Début du test de course à pied par palier progressif (voir section Tests ci-dessous pour les détails)
7. Pendant le test, l'athlète devait indiquer, après chaque palier, sa perception de l'effort à l'aide de l'échelle de la perception de l'effort de Borg (Annexe c)
8. À la suite de l'atteinte du VO_2 Max, nous débutions la période de récupération passive. Nous prenions un échantillon sanguin pour l'analyse de lactate à la minute 2 de la période de récupération, les mesures de perception de l'effort et la FC pour mesurer la récupération.
9. À la minute 20 de la période de récupération un échantillon sanguin pour l'analyse de lactate était prélevé pour l'analyse de la récupération.

10. Début du palier de validation du VO_2 max à l'aide de la vitesse de pointe atteinte lors de la première partie du test augmentée de 10,00% pour une durée de 4 à 5 minutes ou jusqu'à épuisement. Nous pouvions comparer les deux résultats et confirmer le vrai VO_2 Max s'il y a moins de 3,00% de différences (Poole et al. 2017).
11. Prise de la perception de l'effort et de la FC immédiatement à la fin de cette épreuve de validation.
12. Prise de lactate à la fin du palier de validation lors de la minute 2 et lors de la minute 20 de la période de récupération passive.
13. Prise de la FC chaque minute pendant le retour au calme (période de récupération).
14. Rétroaction avec l'athlète afin de valider son état physique avant son départ.

48h à une semaine plus tard, la 2e épreuve était constitué de la même manière en ski à roulettes style classique.

1. Prise de la masse corporelle.
2. Prise de la fréquence cardiaque (FC) de repos en position couché durant 5 minutes.
3. Installation du harnais de sécurité sur l'athlète et protection des ferrures des pôles à ski.
4. Installation de l'analyseur métabolique portatif.
5. Prise de lactate sanguin avant le test au repos.
6. Début du test de ski à roulettes en style classique par palier progressif (voir section Tests ci-dessous pour les détails).
7. Pendant le test, l'athlète devait indiquer, après chaque palier, sa perception de l'effort à l'aide de l'échelle de la perception de l'effort de Borg.
8. À la suite de l'atteinte du VO_2 Max, nous débutions la période de récupération passive. Nous avons pris un échantillon sanguin pour l'analyse de lactate à la

minute 2 de la période de récupération, les mesures de perception de l'effort et la FC pour mesurer la récupération.

9. À la minute 20 de la période de récupération un échantillon sanguin pour l'analyse de lactate était prélevé pour l'analyse de la récupération.
10. Début du palier de validation du VO_2 max à l'aide de la vitesse de pointe atteinte lors de la première partie du test augmentée de 10,00% pour une durée de 4 à 5 minutes ou jusqu'à épuisement. Nous pouvions comparer les deux résultats et confirmer le vrai VO_2 Max s'il y a moins de 3% de différences (Poole et al. 2017).
11. Prise de la perception de l'effort et de la FC à immédiatement à la fin de cette épreuve de validation.
12. Prise de lactate à la fin du palier de validation lors de la minute 2 et lors de la minute 20 de la période de récupération passive.
13. Prise de la FC chaque minute pendant le retour au calme (période de récupération).
14. Rétroaction avec l'athlète afin de valider son état physique avant son départ.

Finalement, 48 heures à une semaine plus tard, le jour 3 s'effectuait sur neige.

Portion faite dans un chalet du centre de ski de fond

1. Préparation du ski en fonction de la température
2. Essai de glisse par l'athlète et ajustements nécessaires.
3. Prise de la masse corporelle.
4. Prise de la fréquence cardiaque (FC) de repos en position couché durant 5 minutes.
5. Installation de l'analyseur métabolique portatif.
6. Prise de lactate sanguin au repos.

Portion à l'extérieur

7. Début du test en ski de fond style classique (voir section Tests ci-dessous pour les détails)
8. L'athlète devait remplir, après chaque tentative, l'échelle de la perception de l'effort de Borg.
9. Prise de lactate sanguin et de la FC après chaque tentative.
10. Prise de la FC chaque minute pendant le retour au calme (période de récupération).
11. Rétroaction avec l'athlète afin de valider son état physique avant son départ.

3.4.4 Tests

3.4.4.1 Test de course à pied maximal sur tapis roulant

Pour construire notre test, nous nous sommes basés sur les recherches d'Abad et al. (2016). Ils proposaient un test afin de déterminer une comparaison entre une donnée en laboratoire et une donnée sur le terrain pour valider la mesure terrain. Le protocole utilisé nécessitait 5 minutes d'échauffement à 6 km/h. Le test débutait à 7 km/h avec une augmentation de 1 km/h par minute. La pente du tapis roulant était maintenue à 1% pour simuler le coût énergétique de la course à pied extérieur (Jones et al. 1996). À l'atteinte du VO_2 Max, nous avons calculé 10,00% de la vitesse finale pour déterminer un palier de vérification (Poole et al. 2017). Ce palier était effectué 20 minutes après le test progressif par palier en prenant un échantillon de lactate durant la pause pendant la 2e et la 20e minute. La fréquence cardiaque et la perception de l'effort étaient collectées tout au long du test, ainsi que durant les périodes de récupération active.

3.4.4.2 Test de ski à roulettes maximal sur tapis roulant

Pour établir ce test, nous nous sommes basés sur les recherches de Carlson et al. (2012). Le test a été créé pour valider les déterminants sportifs des fondeurs et en les comparant dans une simulation terrain. Le protocole utilisé était en style classique, en pas alternatif. Après 10 minutes d'échauffement, le test débutait à 7,00% d'inclinaison pour optimiser la motricité du pas alternatif (Pellegrini et al. 2013) et la vitesse de début du tapis roulant était à 11km/h pour 1 minute. Pour les 6 prochains paliers, nous augmentions la pente de 1,50% et 2,00% pour arriver à un taux de 1 degré de pente à chaque minute. Si le participant réussissait le sixième palier, nous augmentions la vitesse de 0,50 km/h chaque 30 secondes en conservant la pente, jusqu'à épuisement à partir du septième palier. À l'atteinte du VO_2 Max, nous prenions la pente finale et nous avons augmenté celle-ci de 10,00% pour déterminer un palier de vérification (Poole et al. 2017). Ce palier était effectué 20 minutes après le test progressif par palier en prenant un échantillon de lactate durant la pause pendant la 2e et la 20e minute.

3.4.4.3 Test sur neige maximal en pas alternatif

Finalement, nous avons réalisé un test sur neige. Ce test était effectué sur une pente, prédéterminée avec l'aide d'un GPS et un altimètre, de 7,80 % de pente d'environ 450 mètres de long pour avoir l'implication des membres inférieurs et supérieurs et ainsi solliciter le pas alternatif (Pellegrini et al. 2013). En effet, dans les environs de 10,00% de pente, l'efficience en style classique tend à préférer le mode du pas alternatif pour être le plus efficient possible (Losnegard et al. 2014). L'athlète devait donc faire la distance proposée de 450 mètres en montée le plus rapidement possible. De cette façon, le fondeur augmentait drastiquement son coût énergétique en ayant une plus grande cadence en fonction d'une plus grande résistance globale pour effectuer la distance

proposée. (Sandbakk et al. 2013). De plus, le pas alternatif en montée est supérieur au coût énergétique à la course à pied et donc, possiblement très proche du test en laboratoire (Losnegard et al. 2014). Nous prenions à chaque tentative un échantillon de lactate. Nous accordions 5 minutes de pause entre chaque tentative afin d'assurer une récupération complète par l'athlète et ainsi, obtenir le plus haut résultat (Poole et al. 2017). Finalement, nous faisions 4 tentatives pour avoir la meilleure valeur de référence. Le temps d'exécution des tentatives était aussi chronométré et mesuré par GPS afin d'obtenir la vitesse moyenne pour franchir environ 450 m le plus rapidement possible. Cette mesure était utilisée pour corréler la vitesse moyenne de chacun des essais au VO_2 Max respectif mesuré durant l'épreuve. Cela permettait de créer une équation de régression prédictive du VO_2 Max basée sur la vitesse à chaque 450 mètres. Nous utilisions un appareil d'analyse métabolique portatif afin d'effectuer ce test. À la fin de chaque essai, l'athlète devait donner une rétroaction de la glisse avec l'échelle analogique visuelle de perception de glisse (Annexe B) et donner sa perception de l'effort à l'aide de l'échelle de Borg (Annexe C).

Figure 3.1 Un participant lors de l'épreuve sur neige.

3.5 Analyses statistiques

Les caractéristiques physiques des participants ont été analysées par analyses statistiques descriptives. Les différents paramètres cardiorespiratoires des valeurs maximales, la perception de l'effort et l'oxygénation musculaire ont été comparées avec une analyse de la variance à un facteur (VO_2 Max) dans le but de déterminer les différences significatives. La corrélation de Pearson a aussi été utilisé pour déterminer le niveau d'accord entre le test de terrain et les tests en laboratoire, ainsi que les pointages compétitifs canadien et le questionnaire analogue de 100mm pour établir une relation entre le test terrain et la prédiction de performance par le pointage canadien. Nous avons aussi utilisé le SmO_2 afin de placer cette variable en lien avec le VO_2 Max des différents tests.

L'alpha était fixé à $p<0.05$. L'analyse statistique des variables a été effectuée avec le logiciel *Statistical Package for Social Sciences* (IBM SPSS Statistics v.25) et les graphiques ont été créés avec le logiciel *SigmaPlot 14.0*.

Un calcul de puissance statistique Post hoc avec un test Anova unidirectionnel avec *G*Power* (v.3.1.9.7) a été effectué en utilisant la VO_2 Max avec correction allométrique mesuré dans chaque épreuve avec une valeur $p=0.05$ et un beta=0.20.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

4.1 Caractéristiques des participants

Lors de notre étude, notre groupe de participants était composé d'athlète en ski de fond de niveau élite (n=3) et de niveau excellence (n=1) (Tableau 4.1). Lors de notre recrutement, nous avons obtenu n=14 réponses. Nous avons refusé n=5 participants par manque d'habilité en ski à roulettes classique et n=5 participants qui ne se sont jamais présentés en laboratoire. Les n=3 participants élites de nos études présentaient donc un poids moyen de 77,07±7,12 kg, un âge de 20,33±3,06 ans et une taille moyenne de 179,67±3,79 cm. Pour le participant de niveau excellence (n=1), il avait un poids de 74,20 kg, âgé de 23 ans et de taille de 177 cm.

Tableau 4.1 Caractéristiques des participants.

	Niveau Élite (n=3)	Niveau Excellence (n=1)	Tous (n=4)
Taille (cm)	179,67±3,79	177,00	179±2,92
Âge	20,33±3,06	23,00	21±2,45
Poids (kg)	77,07±7,12	74,20	76,35±5,18

Moyenne±ÉT

Dans notre groupe de participants, nous avions n=2 participants qui, en termes d'écriture de ce mémoire, avaient accumulé un pointage canadien en ski de fond pour des compétitions au niveau national (Tableau 4.1). Ils avaient donc en moyenne 88,11±5,20 en pointage sprint, 89,74±4,94 en pointage longue distance et une moyenne cumulative de point sur 7 événements de distance (plus de 5 km par épreuve) de 628,18±34,56 points (Tableau 4.2). Les points cumulatifs de sprint n'étaient pas encore disponibles.

Tableau 4.2 Pointages canadiens des participants.

	Niveau Élite (n=1)	Niveau Excellence (n=1)	Tous (n=2)
Pointage canadien (sprint)	84,430	91,780	88,105±3,68
Pointage canadien (dist)	86,250	93,230	89,74±3,49
Point total dist 7 even.	603,734	652,616	628,1753±24,44

Moyenne±ÉT
Note : dist = distance; even = événement.

4.2 Tests progressifs et validation du VO_2 Max

Le test par palier progressif (TPP) à la course à pied sur tapis roulant (Figure 4.1) consistait à 5 minutes d'échauffement à vitesse auto-sélectionnée. Chaque palier avait

une durée de 1 minute où la vitesse augmentait de 1,00 km/h à chaque minute jusqu'à épuisement avec une pente de 1,00% tout au long du TPP. À la fin de cette épreuve une période de repos de 20 minutes était accordée avant de passer à l'étape d'un palier de validation (PV) jusqu'à épuisement à une vitesse 10,00% plus élevée que celle obtenue à la fin du TPP. Pour le ski à roulettes, nous avons opté pour 10 minutes d'échauffement avec une vitesse constante de 11,00 km/h en augmentant progressivement la pente initiale du test à 7,00%. Pour ce dernier, les paliers de 1 minute avaient une augmentation d'environ 2,50% par minute avec la même vitesse simulant ainsi la demande en pas alternatif. Lors du test sur neige, nous avons effectué 4 tentatives d'environ 450 m pour chacune d'entre elles, mais les appareils n'ont fonctionné que pour la 1ère tentative.

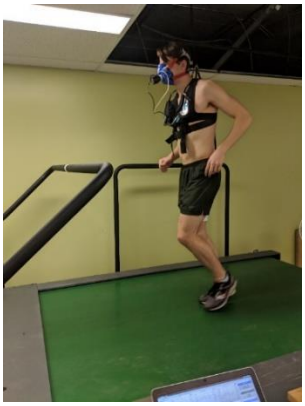

Figure 4.1 Participant pendant le test de course à pied (CAP)

Le PV a permis de confirmer le VO_2 Max du participant obtenu à la fin du TPP. La relation était, respectivement, significative entre le test TPP et PV en course à pied (r=0,979, p=0,021) (Tableau 4.3) et en ski à roulettes (r=0,999, p=0,001) (Tableau 4.4) (Figure 4.2). Ces données confirment donc la validité des valeurs de VO_2 Max pour les 2 tests en laboratoire.

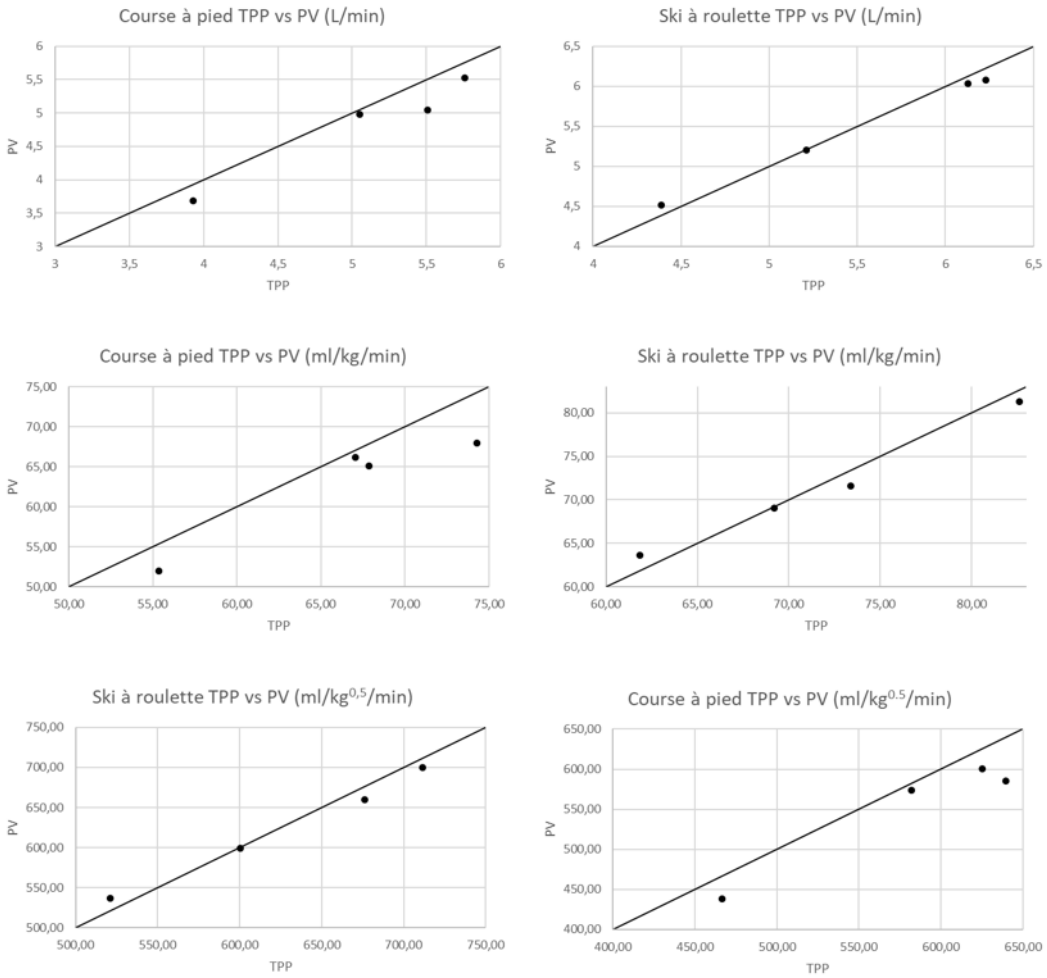

Figure 4.2 Graphiques comparatifs entre le test par palier (TPP) et le palier de validation (PV) avec ligne d'identité. Sur l'axe des abscisses, la valeur de TPP et sur l'axe des ordonnées, la valeur du PV.

Tableau 4.3 Corrélation de Pearson entre Test par palier (TPP) et le palier de validation (PV) pour la course à pied (CAP).

Tests	N	r	p
VO2 Max CAP (L/min) TPP et PV	4	0,979	0,021

Tableau 4.4 Corrélation de Pearson entre Test par palier (TPP) et le palier de validation (PV) le ski à roulette (SR).

Tests	N	r	p.
VO_2 Max SR (L/min) TPP et PV	4	0,999	0,001

4.3 Résultats des tests à palier progressifs

Dans la Figure 4.3, on peut voir les différents tests sous formes de TPP. On note seulement 5 paliers progressifs en ski à roulettes contrairement au TPP en course à pied (CAP) qui suggère 15 paliers au maximum. Afin de mieux apprécier les différents VO_2 Max de chacun des participants, nous avons donc effectué une correction allométrique sur la masse corporelle des participants.

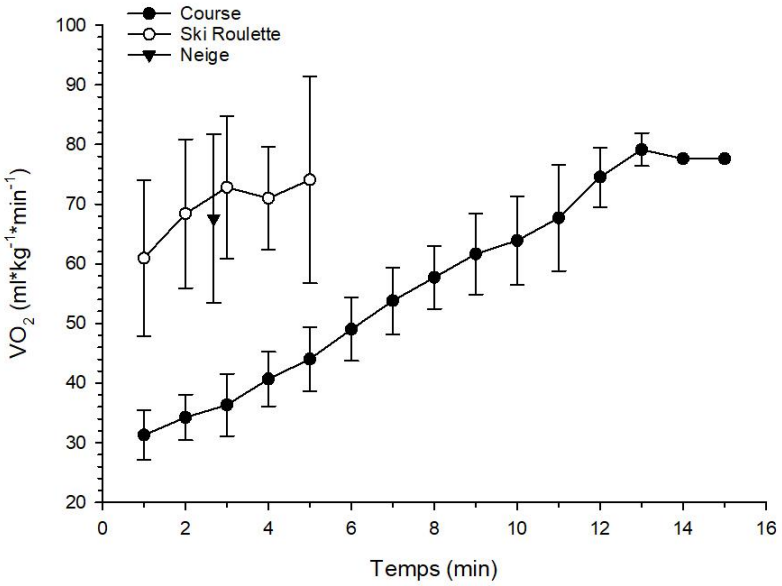

Figure 4.3 Courbes des moyennes de consommation d'oxygène à chaque 60s pour les différents paliers des 3 tests incluant la donnée maximale sur neige.

4.3.1 Course à pied (CAP)

Les valeurs de VO_2 Max de la CAP sont de 66,13±7,88 ml/kg/min et avec correction allométrique de 578,29±78,51 ml/kg$^{0.5}$/min (Tableau 4.7). Les fréquences cardiaques (FC) obtenues lors du dernier palier étaient de 193±7bpm et le RER immédiatement après la fin du dernier palier, était de 1,12 exactement pour tous les participants (n=4). Nous avons aussi récolté le SmO_2 au niveau du biceps fémoral et du vaste latéral, et ce, pour tous les tests. En CAP, nous avions 32,87±22,68 % au niveau du biceps fémoral et 17,18±9,63 au niveau du vaste latéral à la fin du dernier palier. Finalement, l'échelle de Borg était en moyenne de 19,75±0,50 sur 20 pour la perception du dernier palier.

Le Tableau 4.5 présente les moyennes de consommation d'oxygène durant le test sur tapis roulant en CAP pour chaque palier. Les moyennes en valeurs absolues, relatives et avec correction allométrique sont présentées pour chaque palier selon leur vitesse et pente de course associée.

Tableau 4.5 Moyennes ± ET de la consommation d'oxygène par palier lors du test sur tapis roulant en course à pied (CAP)

Paliers (No)	Vitesse (km/h)	Vitesse (m/s)	Pente (%)	VO_2 (L/min)	VO_2 (ml/kg/min)	VO_2 (ml/kg^{0,5}/min)
1	7,00	1,94	1,00	2,22±0,26 (n=4)	29,04±2,35 (n=4)	253,76±23,78 (n=4)
2	8,00	2,22	1,00	2,43±0,24 (n=4)	31,77±1,17 (n=4)	277,71±17,92 (n=4)
3	9,00	2,50	1,00	2,58±0,32 (n=4)	33,69±2,48 (n=4)	294,67±28,33 (n=4)
4	10,00	2,78	1,00	2,89±0,28 (n=4)	37,75±1,28 (n=4)	329,98±21,07 (n=4)
5	11,00	3,06	1,00	3,13±0,33 (n=4)	40,83±1,54 (n=4)	357,01±25,27 (n=4)
6	12,00	3,33	1,00	3,48±0,33 (n=4)	45,50±1,17 (n=4)	397,70±23,57 (n=4)
7	13,00	3,61	1,00	3,82±0,34 (n=4)	49,96±1,24 (n=4)	436,62±24,54 (n=4)
8	14,00	3,89	1,00	4,10±0,32 (n=4)	53,64±1,33 (n=4)	468,57±21,98 (n=4)
9	15,00	4,17	1,00	4,38±0,42 (n=4)	57,24±2,08 (n=4)	500,30±31,66 (n=4)
10	16,00	4,44	1,00	4,54±0,46 (n=4)	59,33±2,91 (n=4)	518,57±39,95 (n=4)
11	17,00	4,72	1,00	4,81±0,55 (n=4)	62,84±4,53 (n=4)	549,35±49,07 (n=4)
12	18,00	5,00	1,00	5,29±0,29 (n=3)	67,78±0,96 (n=3)	598,71±15,13 (n=3)
13	19,00	5,28	1,00	5,62±0,14 (n=2)	70,85±3,00 (n=2)	630,65±5,53 (n=2)
14	20,00	5,56	1,00	5,51 (n=1)	74,26 (n=1)	639,66 (n=1)
15	21,00	5,83	1,00	5,51 (n=1)	74,26 (n=1)	639,66 (n=1)

Moyenne±ÉT

4.3.2 Ski à roulettes (SR)

En ski à roulettes (SR), les valeurs de VO_2 Max étaient de 71,75±8,67 ml/kg/min et, avec la correction allométrique, de 627,29±84,70 ml/kg$^{0.5}$/min. Les FC Max lors du dernier palier étaient de 187±1 bpm. Le RER était de 1,11±0,04 et l'échelle de Borg de 19,25±0,96 sur 20. Finalement, le SmO_2 du biceps fémoral était à 25,22±0,33 % et du vaste latéral à 15,10±8,89 %.

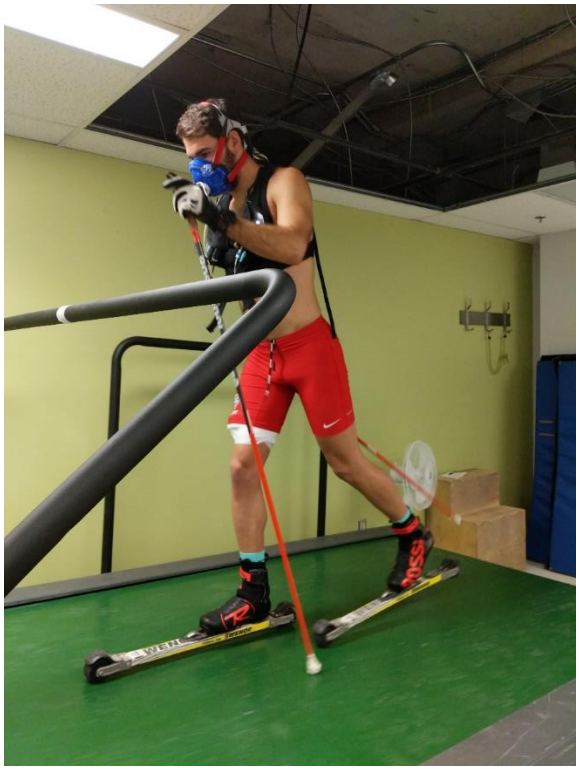

Figure 4.4 Un participant lors de l'épreuve en ski à roulettes classique en laboratoire.

Tableau 4.6 Moyennes ± ET de la consommation d'oxygène par palier lors du test sur tapis roulant en ski à roulettes (SR)

Paliers (N°)	Vitesse (km/h)	Vitesse (m/s)	Pente (%)	VO_2 (L/min)	VO_2 (ml/kg/min)	VO_2 (ml/kg^{0,5}/min)
1	7,00	1,94	7,00	4,33±0,81 (n=4)	56,25±6,55 (n=4)	493,06±74,55 (n=4)
2	8,00	2,22	8,50	4,86±0,77 (n=4)	63,27±6,07 (n=4)	554,07±69,56 (n=4)
3	9,00	2,50	10.5%	5,17±0,73 (n=4)	67,42±5,53 (n=4)	590,04±65,10 (n=4)
4	10,00	2,78	12,00	5,04±0,50 (n=3)	68,47±5,49 (n=3)	587,38±52,61 (n=3)
5	11,00	3,06	14,00	5,26±0,87 (n=2)	72,22±10,39 (n=2)	616,32±95,32 (n=2)

Moyenne±ÉT

Le Tableau 4.6 expose les moyennes de consommation d'oxygène durant le test sur tapis roulant en SR pour chaque palier. Les moyennes en valeurs absolues, relatives et avec correction allométrique sont présentées pour chaque palier selon leur vitesse et pente de course associée. Les valeurs de VO_2 sont pratiquement le double pour le 1er palier contrairement à la course à pied, étant donné les besoins de spécificité du test qui

devaient exclusivement s'exécuter à l'aide d'un pas alternatif et donc, demandait une situation biomécanique obligeant le participant à utiliser le pas alternatif comme méthode de propulsion la plus efficiente selon la pente et la vitesse imposées.

4.3.3 Épreuve sur neige (SN)

La dernière série de tests était l'épreuve sur neige. La moyenne du VO_2 Max relatif et avec correction allométrique maximale étaient respectivement de 62,68±11,03 ml/kg/min et de 548,20±103,65 ml/kg$^{0.5}$/min. La FC max était à 180 bpm. Notons ici que la donnée de FC ne comporte pas d'écart type étant donné que nous avions seulement réussi à recueillir la FC max chez n=1 participant. Le RER était à 1,15±0,07 après la tentative. La SmO_2 du biceps fémoral ainsi que du vaste latéral était respectivement de 43,13±15,66 % et de 62,51±7,38 % à la fin de l'épreuve. Finalement, les données de Borg étaient en moyenne à 16,75±0,96 sur 20. Il y avait donc une perception de l'effort plus basse sur neige que lors des tests en laboratoires, mais le RER était plus élevé.

Tableau 4.7 Comparaison des valeurs maximales des paramètres cardiorespiratoires obtenues lors du test en CAP, sur SR et SN.

Variables	Course à pied	Skis roulettess	Sur neige	N
VO_2 Max absolu (L/min)	5,06±0,81	5,49±0,87	4,80±1,01	4
VO_2 Max relatif (ml/kg/min)	66,13±7,88	71,75±8,67	62,68±11,03	4
VO_2 Max relatif avec correction allométrique (ml/kg$^{0.5}$/min)	578,29±78,51	627,29±84,70	548,20±103,65	4
FC max (bpm)	193±7	187±1	180 (n=1)	4
RER (à l'arrêt)	1,12	1,11±0,04	1,15±0,07	4
SmO_2 Biceps Fémoral (%)	32,87±22,68	25,22±0,33	43,13±15,66	4
SmO_2 Vaste Latéral (%)	17,18±9,63	15,10±8,89	62,51±7,38	4
Borg	19,75±0,50	19,25±0,96	16,75±0,96	4

Moyenne±ÉT

La distance s'est avérée être de 394,00±71,12 m. Nous avions l'intention d'avoir environ 600 m de distance, mais il était difficile de trouver un endroit accessible et permit avec ce genre de distance dans la région de Montréal des basses Laurentides. La pente devait être au-dessus de 7,00 % et nous avons été en mesure d'obtenir une moyenne de 7,25±1,07 % pour nos épreuves sur neige. Nous avons gardé seulement la première épreuve, qui s'avérait être la meilleure des 4 épreuves. La raison étant que l'analyseur métabolique condensait et ainsi bloquait l'échantillonnage d'air ce qui rendait impossible l'analyse du VO_2 et VCO_2. En moyenne, les temps étaient de 161,00±33,23 s avec une vitesse moyenne de 8,87±0,60 km/h ou de 2,46±0,17 m/s. Le Tableau 4.8 résume entièrement l'information ci-dessus. Pour avoir un aperçu de la pente utilisée, la Figure 4.5 présente le tracé de celle-ci sous forme de courbe.

Tableau 4.8 Moyennes ± ET des épreuves sur neige et des paramètres de la pente.

Distance (m)	Pente (%)	Meilleur temps (s)	Vitesse (km/h)	Vitesse (m/s)
394,00±71,12 (n=4)	7,25±1,07 (n=4)	161,00±33,23 (n=4)	8,87±0,60 (n=4)	2,46±0,17 (n=4)

Moyenne±ÉT

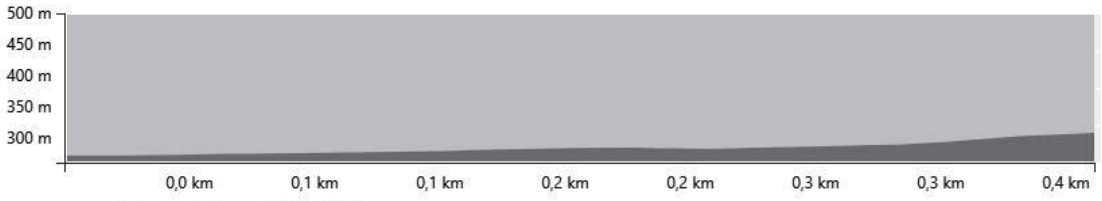

Figure 4.5 Graphique représentant le dénivelé de l'épreuve sur neige en pas alternatif

4.4 Comparaison du VO_2 Max et du questionnaire analogue de 100mm

Lors des tests sur neige, nous avons effectué une collecte de la perception subjective de la glisse, de la retenue et du ski en général afin de permettre le contrôle des variables incontrôlables (température de la neige et de l'air, humidité de la neige et de l'air, etc.) par le biais d'un outil simple et rapide. Le questionnaire était une ligne de 100mm que les fondeurs devaient pointer après chaque tentative. Plus le pourcentage (%) était élevé, meilleur était la qualité du paramètre du ski selon le participant. Les résultats (Tableau 4.9) du questionnaire au niveau de la glisse étaient de 70,50±7,19 %, de 48,25±14,36 % pour la retenue et de 64,00±14,09 % pour le ski en général.

Tableau 4.9 Résultats subjectifs des paramètres du ski sur neige avec le questionnaire analogue de 100 mm en ski de fond.

Questionnaire Analogue 100mm Glisse (%)	70,50±7,19 (n=4)
Questionnaire Analogue 100mm Retenue (%)	48,25±14,36 (n=4)
Questionnaire Analogue 100mm Général (%)	64,00±14,09 (n=4)

Moyenne±ÉT

Dans le but de contrôler les variables indépendantes et permettre d'observer certaines relations entre le VO_2 Max et le questionnaire analogue de 100mm (sur la retenue, la glisse et la qualité du ski en général) qui, selon notre hypothèse, pouvait être un outil permettant de faciliter la standardisation sur neige des différents tests effectués indépendamment de la qualité de la glisse et de la retenue en style classique influencé par la qualité de la glisse et de la retenue pour le participant, nous avons effectué une corrélation bilatérale (Tableau 4.10) de Pearson entre le VO_2 Max avec une correction allométrique de 0,50 kg sur la masse corporelle et les réponses du questionnaire analogue de 100mm. De cette corrélation, aucune relation significative n'a été trouvé. Cependant, la corrélation entre le paramètre général et le VO_2 Max avec correction

allométrique démontrait une corrélation à r=0,519. Malgré la signification bilatérale très faible de p=0,481, il aurait été possible de voir une relation significative entre cette question et le VO_2 Max allométrique avec un nombre plus élevé de candidats.

Tableau 4.10 Corrélation de Pearson bilatérale entre les paramètres du questionnaire analogue 100mm en ski de fond et le VO_2 Max allométrique sur neige (SN).

	r	p.	N
Questionnaire Analogue 100mm Glisse (%)	-0,298	0,702	4
Questionnaire Analogue 100mm Retenue (%)	0,417	0,583	4
Questionnaire Analogue 100mm Général (%)	0,519	0,481	4

Note : r = corrélation; p.= valeur p; N = participants.

4.5 Valeurs de saturation d'oxygénation musculaire à travers les différents tests

Dans la Figure 4.6, on observe les différences de la SmO_2 entre le repos, la minute 1 ainsi qu'à la fin de chaque test pour chacun des muscles analysés, soit le vaste latéral (Tableau 4.11) et le biceps fémoral (

Tableau 4.12). Les données récoltées durant le test sur neige ne changent pas pour le vaste latéral ayant 65,07±1,17 % pour le repos, 63,53±4,93 % pour la minute 1 et 60,32±5,93 % pour la fin du test tandis que le biceps fémoral démontre une baisse jusqu'à 38,05±12,95 %.

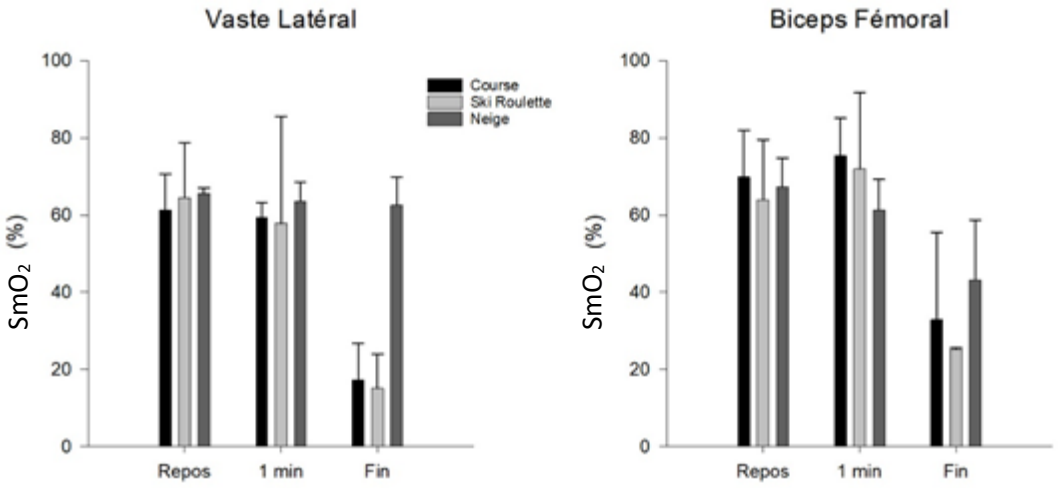

Figure 4.6 Comparaison de l'index d'oxygénation musculaire (SMO2) avec 3 mesures à l'effort pendant les 3 tests différents. Au repos, lors de la première minute et la fin des tests.

Tableau 4.11 Moyennes ± ET de la SmO_2 des différents tests au repos, à la minute 1 et à la fin des tests pour le vaste latéral.

	Repos (%)	Minute 1 (%)	Final (%)
CAP	64,50±7,50 (n=3)	57,05±0,96 (n=3)	17,60±9,60 (n=3)
SR	56,50±3,50 (n=3)	43,10±10,90 (n=3)	10±1 (n=3)
SN	65,07±1,17 (n=4)	63,53±4,93 (n=4)	60,32±5,93 (n=4)

Moyenne±ÉT

Tableau 4.12 Moyennes ± ET de la SmO_2 des différents tests au repos, à la minute 1 et à la fin des tests pour le biceps fémoral.

	Repos (%)	Minute 1 (%)	Final (%)
CAP	67±11 (n=3)	75,50±9,65 (n=3)	38,65±20,35 (n=3)
SR	55±2 (n=3)	62,90±12,10 (n=3)	25,04±0,04 (n=3)
SN	65,96±7,05 (n=3)	63,82±6,64 (n=3)	38,05±12,95 (n=3)

Moyenne±ÉT

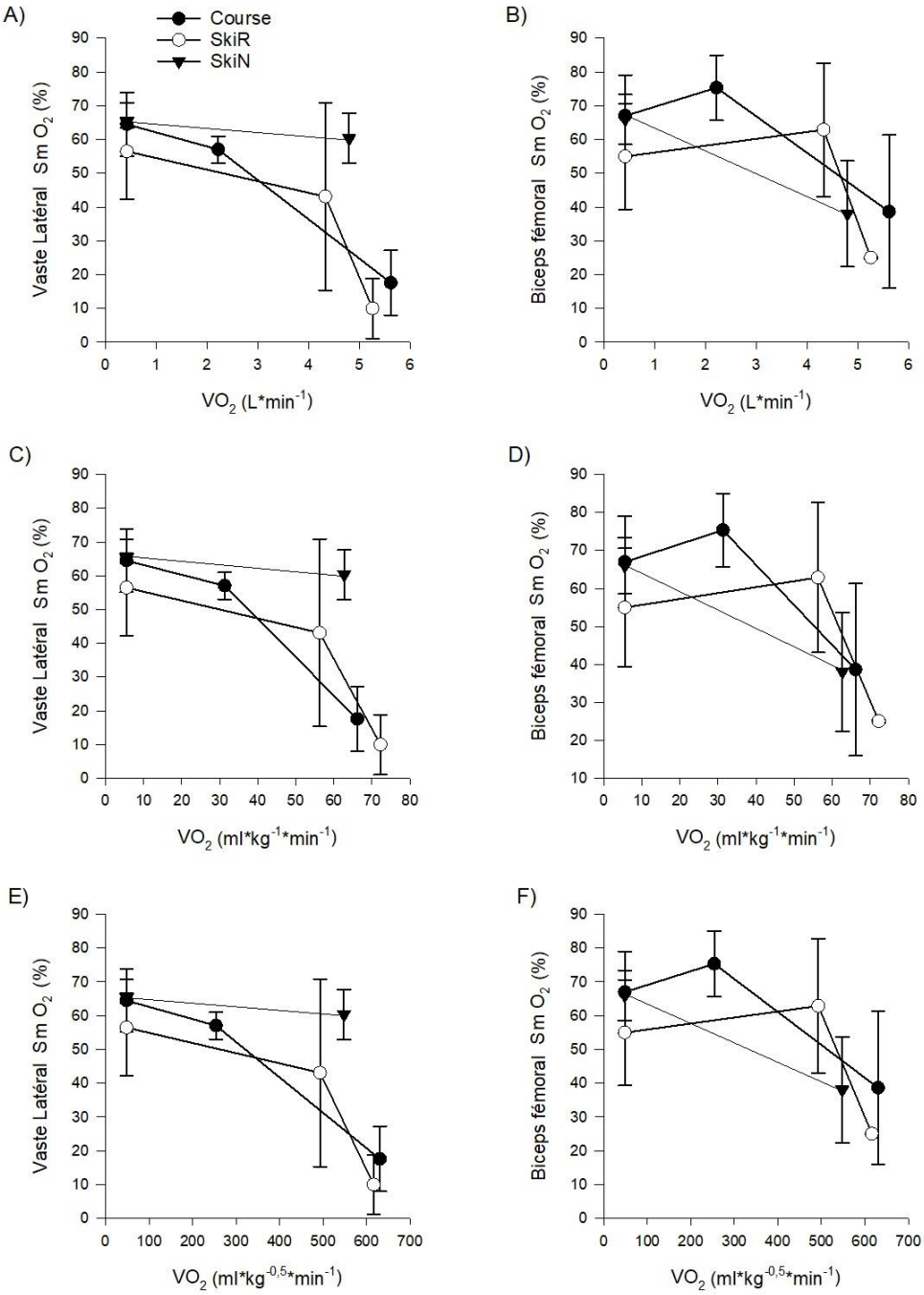

Figure 4.7 Comparaison entre le SmO_2 et le VO_2 Max absolue, relatif au kg et avec correction allométrique. Axe vertical représente la désaturation d'oxygène musculaire et l'axe horizontale le VO_2 Max absolue, relatif et allométrique.

4.6 Valeurs d'échantillons de lactate sanguin

Dans le Tableau 4.13, nous pouvons observer les différentes mesures de lactate au repos et post-effort dans les différents sports. En course à pied, lors du repos nous avions 1,38±0,36 mmol/L et, après l'effort (2 minutes post-effort), nous avons atteint 12,38±2,22 mmol/L. En ski à roulettes, le repos présentait 1,55±0,37 mmol/L et 9,65±3,55 mmol/L post-effort. Finalement, nous avons observé des données sur neige au repos de 1,70±0,46 mmol/L et, après l'effort, de 4,60±2,07 mmol/L. La Figure 4.8 présente les données sous forme de graphique à barre groupé en catégorie, soit le repos et post-effort (2 minutes).

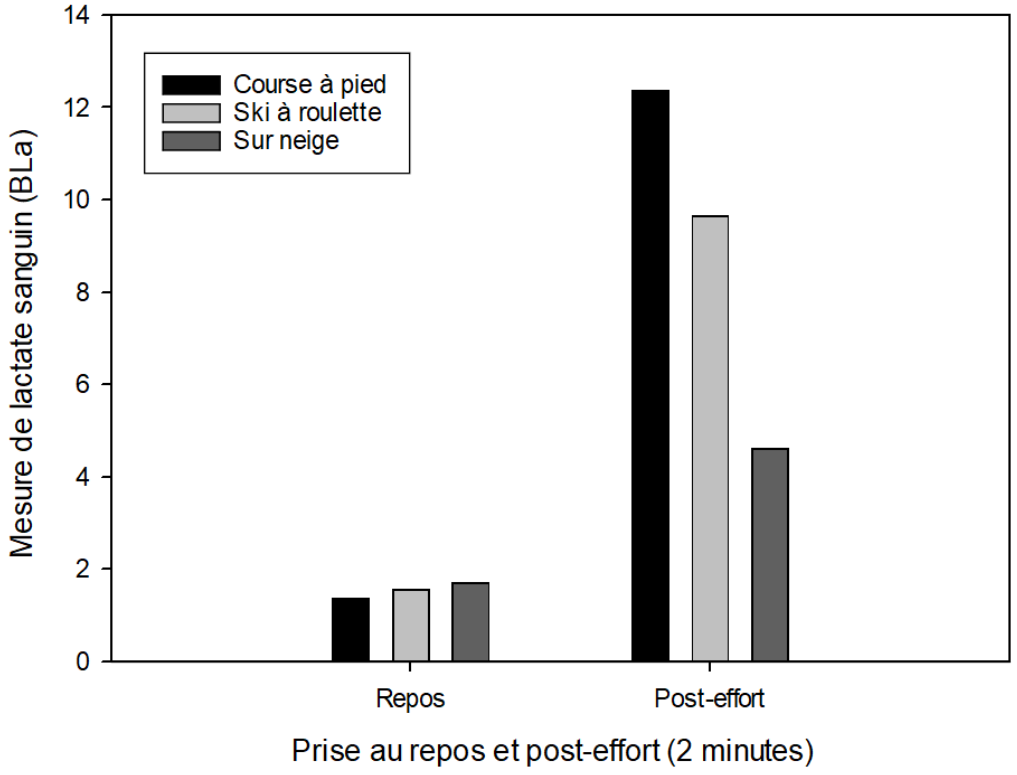

Figure 4.8 Graphique à barres présentant les moyennes de concentration de lactate sanguin au repos et post-effort dans les 3 conditions testées. L'axe vertical représente le lactate sanguin (Bla) et l'axe horizontal les différents tests au repos et après l'effort (2 minutes).

Tableau 4.13 Moyennes de concentration de lactate sanguin au repos et post-effort dans les 3 conditions testées

	Course à pied	Ski à roulettes	Sur neige
Repos	1,38±0,36 (n=4)	1,55±0,37 (n=4)	1,70±0,46 (n=3)
Post-effort (2min)	12,38±2,22 (n=4)	9,65±3,55 (n=4)	4,60±2,07 (n=3)

Moyenne±ÉT

4.7 Valeurs des données du test sur neige

Dans l'optique de documenter les variables incontrôlables, nous avons introduit un questionnaire analogue de 100mm avec n=3 questions sur la glisse, la retenue et la condition du ski en général permettant de gérer l'aspect mécanique du ski en relation avec la température et la neige. Dans la question générale, on sous-entend les fonctions mécaniques du ski (flexibilité et rigidité) ainsi que les facteurs liés à la botte et la fixation. Le Tableau 4.14 démontre les données pertinentes collectées lors du test sur neige.

Tableau 4.14 Données des participants lors du test sur neige à la première tentative.

Participants	**Temps du parcours (s)**	**VO_2 Max ($ml/kg^{0.5}/min$)**	**Question glisse (%)**	**Question retenue (%)**	**Question générale (%)**	**Somme des 3 questions**
1	203	471,15	81	28	49	158
2	163	618,62	67	61	83	211
3	110	448,28	65	55	63	183
4	168	654,75	69	49	61	179
Moyenne±ET	158,67±38,1	512,68±75,49	71,00±7,12	48,00±14,35	65,00±13,95	184,00±21,65

Afin d'observer les relations entre les données, nous avons effectués des corrélations de Pearson entre le VO_2 Max avec correction allométrique, les différentes questions (glisse, retenue et générale) et le temps d'exécution du test. Dans le Tableau 4.15, nous

n'avons observé aucune corrélation significative entre le VO_2 Max et les différentes questions.

Tableau 4.15 Corrélations de Pearson entre le VO_2 Max et les différentes questions

	Question glisse	**Question retenue**	**Question générale**
VO_2 Max ($kg^{0.5}$/min)	-0,298	0,417	0,519
	p=0,702	p=0,583	p=0,481

Nous avons effectué le même processus de corrélation, mais en utilisant la somme des 3 questions. Le Tableau 4.16 démontre le résultat de cette corrélation. Il n'y a aucune relation significative entre le VO_2 Max et la somme des 3 questions.

Tableau 4.16 Corrélations de Pearson entre Le VO2 Max et la somme des 3 questions

	Somme des 3 questions
VO_2 Max (ml/$kg^{0.5}$/min)	0,512
	p=0,488

Pour être en mesure d'apprécier les fondeurs, nous avons effectué la même démarche en remplaçant le VO_2 Max par le temps du parcours des participants. Le Tableau 4.17 présente l'analyse faite. Nous observons une corrélation entre le temps du parcours et la question sur la glisse, mais aucune relation significative; r=0,851 p=0,149. Les deux autres questions (retenue et générale) proposent une corrélation négative sans relation significative respectivement; r=-0,704 p=0,296; r=-0,346, p=0,654.

Tableau 4.17 Corrélations de Pearson entre le temps du parcours et les différentes questions

	Question glisse	Question retenue	Question général
Temps du parcours (s)	0,851	-0,704	-0,346
	p=0,149	p=0,296	p=0,654

Le Tableau 4.18 présente la corrélation entre la somme des 3 questions et le temps du parcours. Aucune relation significative n'a été trouvé en liens avec ces deux variables.

Tableau 4.18 Corrélations de Pearson entre le temps du parcours et la somme des 3 questions

	Temps du parcours (s)
Somme des 3 questions	-0,407 p=0,593

Le Tableau 4.19 présente la corrélation entre le temps du parcours et le VO_2 Max. Aucune relation significative n'a été trouvé en liens avec ces deux variables.

Tableau 4.19 Corrélations de Pearson entre le temps du parcours et le VO_2 Max

	VO_2 Max (ml/kg$^{0.5}$/min)
Temps du parcours (s)	0,230 p=0,770

Le Tableau 4.20 présente la corrélation entre le VO_2 Max et le SmO_2 du biceps fémoral et du vaste latéral. Le SmO_2 du biceps fémoral présente une corrélation r=0,996 p=0,0582 tandis que le SmO_2 du vaste latéral est r=0,225 p=0,775.

Tableau 4.20 Corrélations de Pearson entre le SmO_2 et le VO_2 Max

	SmO_2 Biceps Fémoral n=3	SmO_2 Vaste Latéral n=4
VO_2 Max (ml/kg$^{0.5}$/min)	0,996 p=0,0582	0,225 p=0,775

4.8 Puissance statistique des tests de VO_2 Max

Le total d'échantillonnage obtenu était de n=100 pour avoir une puissance statistique de 0.80, donc $n_{ajusté}$=33 participants pour les 3 tests différents (Tableau 4.21). Il a été retenu d'augmenter à $n_{ajusté}$=43 par groupe afin d'atteindre le n minimal si une attrition

se produit (30,00% d'absentéisme). La taille d'effet a été calculé à d=0,3144673 (Figure 4.9). La puissance statistique avec le total d'échantillon propose 0,8187138 et la valeur critique F=3,0854650 (Tableau 4.21).

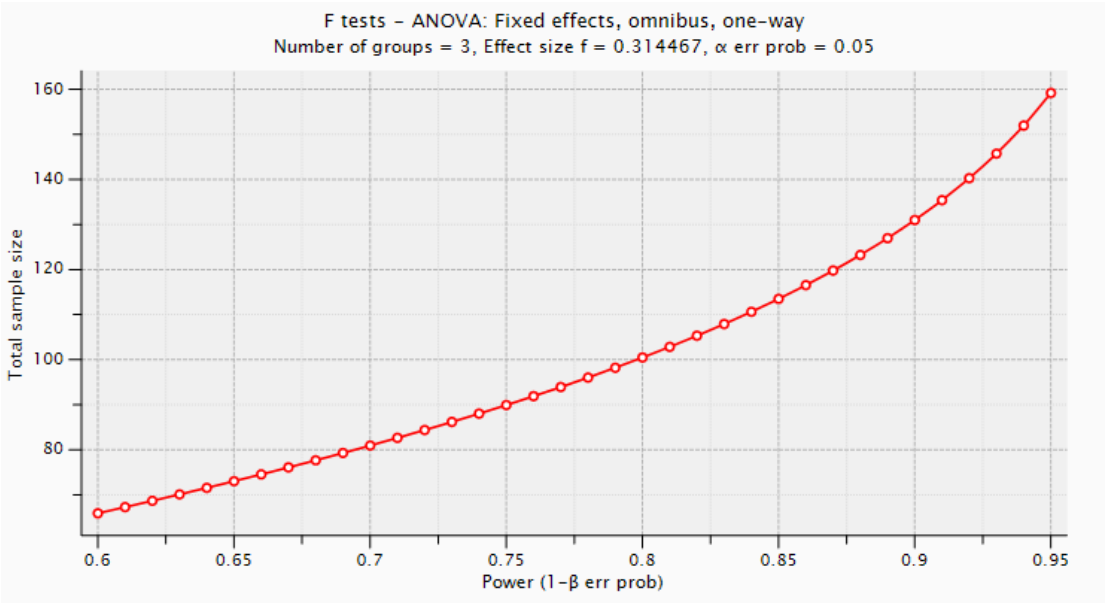

Figure 4.9 Graphique du test Anova unidirectionnel qui propose l'axe des x étant la puissance statistique (Puissance (1-β probabilité erreur)) en fonction de l'axe des y étant l'échantillonnage total pour les 3 tests de VO_2 Max en course à pied (CAP), ski roulette (SR), ski de fond sur neige (SN).

Tableau 4.21 Résultats du test Anova unidirectionnel pour l'analyse de l'effet de taille et l'estimation d'un échantillonnage pour les tests de VO_2 Max en CAP, SR, SN.

Analyse: Post hoc: Calculer de la puissance statistique

Entrée	d de Cohen (effet de taille)	0,3144673
	α probabilité d'erreur	0,05
	Taille totale de l'échantillon	105
	Nombre de tests	3
Sortie	Paramètre de non-centralité λ	10.3834167
	Valeur critique F	3.0854650
	Numérateur df	2
	Dénominateur df	102
	Puissance statistique (1-β err prob)	0.8187138

Note : α=alpha; β=beta; λ=paramètre lambda; df=*degree of freedom*.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

L'aspect novateur de la présente étude est que le VO_2 Max obtenu à la course sur tapis roulant est plus près du VO_2 Max obtenu sur neige comparativement au VO_2 Max obtenu avec ski à roulettes sur tapis roulant qui était supérieur. D'ailleurs, le VO_2 Max en ski à roulette sur tapis roulant était le plus élevé des trois méthodes utilisées. Donc, il apparaît que le VO_2 Max mesuré à la course à pied à l'aide de notre protocole sur tapis roulant se rapproche de manière plus réaliste à celui mesuré sur neige. Il est surprenant de constater que le VO_2 Max en ski à roulettes en pas alternatif ne représentait pas le VO_2 Max mesuré sur neige. Plusieurs mécanismes pourraient expliquer cette situation particulière.

5.1 Relation des différentes mesures et de l'effort maximal lors du test sur neige

Une autre raison de l'incapacité de l'atteinte d'un VO_2 Max similaire à celui du test en laboratoire en ski à roulettes serait possiblement le temps d'effort trop court. En observant le Tableau 4.13, on remarque les valeurs de lactate apparaissent plus faibles que les tests en laboratoire, soit au repos à 1,70±0,46 mmol/L et après l'effort à 4,60±2,07 mmol/L. Carlsson et al. (2012) considère que le métabolisme du lactate à travers la performance de ski de fond est nécessaire. Cependant, dans un test à effort maximal, nous voulons atteindre des valeurs se rapprochant de ceux collectées en

laboratoire. En observant les données sur le terrain, nous pourrions croire que les mesures de lactate présentaient un état légèrement au-dessus du seuil lactate des participants, sans avoir atteint une valeur maximale à celle observée en laboratoire. En comparant le VO_2 Max avec correction allométrique entre le ski à roulettes et le ski de fond, on observe une atteinte de VO_2 de l'ordre de 87,15±7,23 % du VO_2 Max en ski à roulettes sur tapis roulant. L'intensité ci-dessus suggère donc un état proche du seuil lactate oscillant autour du 4 mmol/L comme rapporte Garcia-Tabar et al. (2017) et Winter et al. (2007).

Par ailleurs, lors du test sur neige, la perception de l'effort à l'aide de l'échelle de Borg était en moyenne de 16,75±0,83 sur 20. Dans le Tableau 4.7, on observe que la perception de l'effort du test sur neige est loin d'être aussi élevée que celle collectée lors des tests en laboratoire qui se rapproche tout près de 20,00. Sperlich et al. (2014) ont proposé que le temps d'un effort maximal de 3 minutes en course à pied n'était pas corrélé avec les tests en laboratoire par palier progressif. Sachant que nos tests sur neige étaient obligatoirement d'environ 161,00±33,23 secondes, on peut donc assumer que le temps d'exécution était trop court pour atteindre un effort maximal comme celui atteint en laboratoire. Une étude similaire, mais en ski à roulettes, se voulait d'initier des prédicteurs de performances en fonction des points de la FIS et des résultats des tests. Un des tests d'effort maximal rapportait une durée d'environ 525±45 secondes (Carlsson et al. 2014). Ce parcours linéaire proposait 96 m de gain total en élévation contrairement à 36 m pour notre test. Dans notre étude, nous avions 7,25±1,07 % d'inclinaison alors que, dans leur étude, l'inclinaison était de 4,80 % en moyenne.

Les mesures de SmO_2 récoltées dans notre test sur neige semblaient démontrer une désaturation au niveau du biceps fémoral, mais pas au niveau du vaste latéral. La seule étude récente ayant étudié ce concept en ski de fond, selon nos connaissances, avec le

MOXY, proposait seulement le vaste latéral comme muscle analysé du bas du corps (Carnachione et al. 2013). Cette étude proposait une désaturation au repos à 70,90±4,30 % et à la fin du test à 56,50±6,10 %. La problématique de comparaison est que cette étude a été effectué en pas de patin et n'est donc pas compatible pour l'interprétation de nos données. Leur conclusion demeure tout de même que le MOXY est un outil utile à utiliser en ski de fond. Il est donc difficile de savoir si le niveau de saturation du vaste latéral était en fait un problème d'ordre technique causé par le froid, ou bien s'il s'agissait d'un phénomène physiologique démontrant l'importance du biceps fémoral lors de grande montée. Néanmoins, Im et al. (2001) sont d'avis que le SmO_2 est donc une mesure crédible démontrant une relation forte r=0,83 avec les valeurs de VO_2 qui seraient attribuées par la dissociation de l'O_2 dans les capillaires au niveau des muscles afin de répondre à la consommation d'oxygène correspondant au niveau d'effort déployé. Cette étude souligne aussi que cette relation est indépendante de la dynamique du flux sanguin local en ski de fond avec le style du pas de patin. Cependant, il n'y avait pas d'étude, à notre connaissance, utilisant le style classique avec le MOXY. En observant la Figure 4.6, on remarque que la différence au repos, après 1 minute ainsi qu'à la fin du test n'est pas aussi drastique que les deux autres tests en laboratoire, qui semblent constants au terme de la cinétique comme présenté dans la Figure 4.7. La désaturation en O_2 au niveau du vaste latéral ne semble pas à son maximum lors du test sur neige comme l'indique dans la dernière figure oscillante entre le SmO_2 maximal du test de course à pied et de ski à roulettes, seulement le biceps fémoral est similaire aux autres tests au niveau de la SmO_2. La retenue qui était médiocre (48,25±14,36%) lors du test sur neige aurait pu diminuer l'efficience et diminuer l'atteinte d'une plus grande désaturation, et donc d'un effort maximal.

5.2 Relation des différents VO_2 Max

Dans le but d'observer des relations, nous avons exploré différentes expressions du VO_2 Max comme présenté à la Figure 5.1. Lorsque le VO_2 Max est exprimé en absolue, les niveaux de signification entre les différents tests sont très différents. Une relation significative existe entre le test en ski à roulettes classique et le test sur neige (p=0,043), mais pas entre le test sur neige et le test de course à pied (p=0,279) ni entre le test de course à pied et le test de ski à roulettes (p=0,092). Lorsqu'on propose l'expression du VO_2 Max relativement au poids corporel en kg, nous observons une relation égalitaire à travers les différents tests (p=0,055). En utilisant le même principe, avec une correction allométrique, nous observons une relation encore plus importante (p=0,054). Il est impossible présentement de se prononcer sur une relation significative, mais en utilisant un nombre de participants plus grand, la relation pourrait être significative. De plus, nous démontrons à travers cette analyse l'importance de la correction allométrique chez le skieur de fond dans l'expression du VO_2 Max pour mieux apprécier celle-ci.

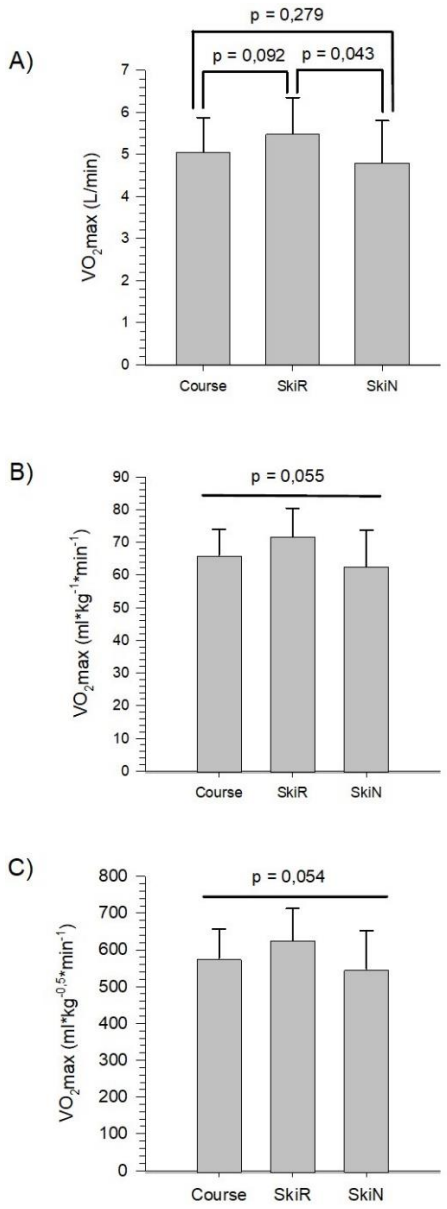

Figure 5.1 Relation entre les différentes expressions du VO_2 Max (axe vertical) et les différents tests de course à pied, ski à roulette (SkiR) et ski de fond sur neige (SkiN) (axe horizontale).

5.3 Régression linéaire et formule de prédiction

Dans l'objectif de départ, nous voulions créer une formule précise afin d'entrevoir une prédiction du VO_2 Max par un test sur neige. Toutefois, le nombre de participants retenu pour l'étude ne permet pas d'obtenir une formule de grande précision. Néanmoins, nous avons élaboré une régression linéaire en comparant le ski à roulettes classique et le ski de fond sur neige avec la course à pied. Ce dernier, le test de course à pied, agissait de test étalon afin d'établir notre ligne d'identité pour mieux évaluer les relations entre les différents tests. Dans la Figure 5.2, nous avions utilisé la forme absolue comme expression du VO_2 Max. La formule de prédiction pour le VO_2 Max du ski à roulettes démontrait une corrélation significative (r=0,97, p=0,03) en fonction de la course à pied avec une estimation erreur type (EET) à ±0,25 L/min, soit de 4,34 % ayant été obtenu en divisant l'EET par la consommation d'oxygène la plus haute en course à pied exprimée en L/min multiplié par 100. Puis, le ski de fond sur neige avait une corrélation non significative (r=0,80, p=0,20) avec un EET ±0,74 L/min et une probabilité d'erreur de 12,84% obtenu de la même manière que ci-haut. Dans la Figure 5.3, nous avions exprimé le VO_2 Max relatif au poids corporel. La formule pour le ski à roulettes avait encore une corrélation significative (r=0,96, p=0,045), mais l'EET augmentait pour atteindre 3,16 soit une probabilité d'erreur de 4,66%. Le même phénomène survenait avec le ski de fond sur neige avec une corrélation plus faible (r=0,69, p=0,32, EET=9,84) et une probabilité d'erreur de 14,50%. Puis, dans la Figure 5.4, nous avions exprimé le tout avec une correction allométrique. Comparé avec la course à pied, le ski à roulettes avait une corrélation significative plus haute (r=0,97, p=0,035) contrairement au ski sur neige avec une corrélation qui, encore une fois, n'était pas significative (r=0,74, p=0,259). Dans le cas du ski à roulettes, l'EET semblait être plus bas, soit avec une probabilité d'erreur de 3,92%, mais pour le ski sur neige, il y avait une probabilité d'erreur de 13,33%. Selon nos connaissances, aucun auteur n'avait entrepris la production d'une formule prédictive sur une valeur physiologique chez le skieur de fond en fonction de test de course à pied par rapport au

ski à roulettes ou du ski de fond sur neige. Connaissant l'importance de la correction allométrique, il est donc curieux de voir un EET aussi important avec cette dernière expression du VO_2 Max. Ceci pourrait s'expliquer par le manque de participants. Sachant que, dans la Figure 5.1, les relations sont de plus en plus significatives lorsque l'expression du VO_2 Max utilise une correction allométrique, il aurait été normal d'avoir une formule de prédiction plus précise, mais ce ne fût pas le cas.

Par la suite, les Figure 5.2, Figure 5.3 et Figure 5.4 proposent aussi que le ski à roulettes présenterait des résultats de VO_2 Max plus grand que la course à pied. Losnegard et al. (2014) en étaient arrivé avec la même conclusion (Figure 2.3) ce qui confirme nos observations. Cependant, le ski de fond sur neige semblait très près de la course à pied.

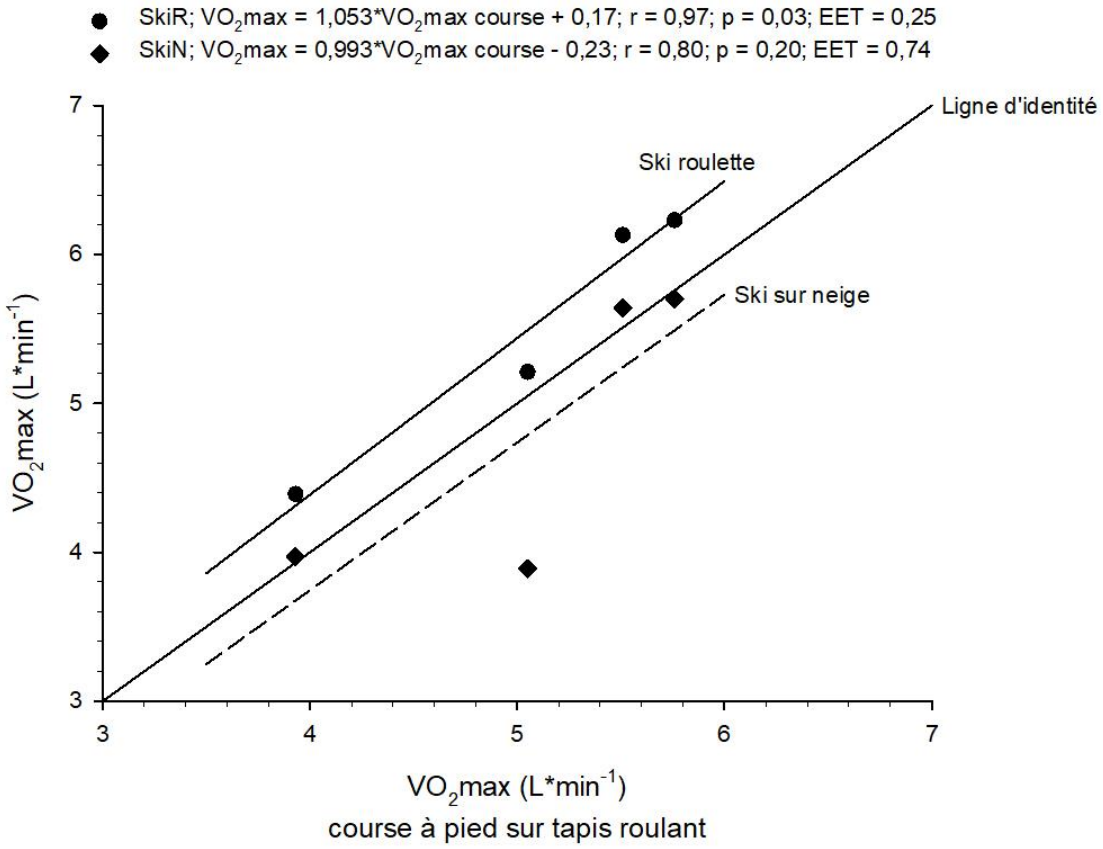

Figure 5.2 Comparatif (exprimé en absolue) entre le VO_2 Max en ski à roulettes et en ski de fond au VO_2 Max en course à pied présenté avec la ligne d'identité. Les cercles noirs représentent le ski à roulettes (SkiR) et les carrés noirs représentent le ski sur neige (SkiN).

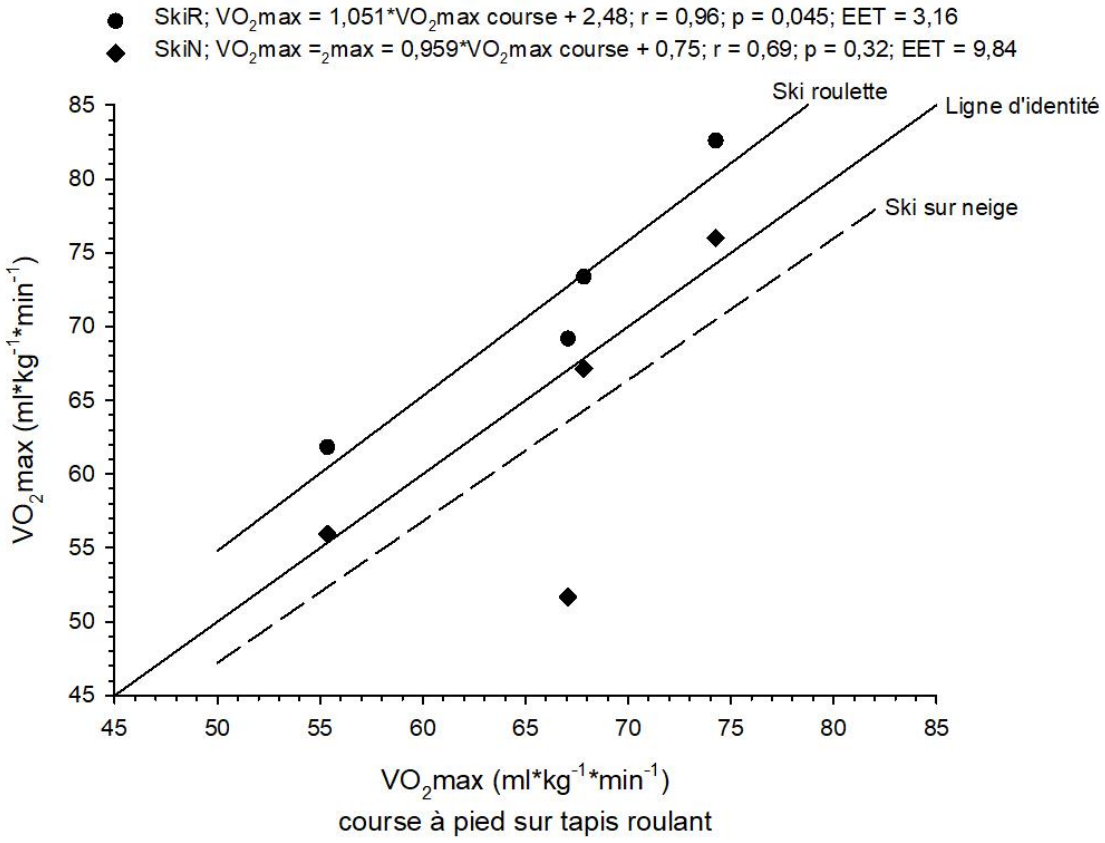

Figure 5.3 Comparatif (exprimé en relatif) entre le VO_2 Max en ski à roulettes et en ski de fond au VO_2 Max en course à pied présenté avec la ligne d'identité. Identification des symboles comme à la Figure 5.3.

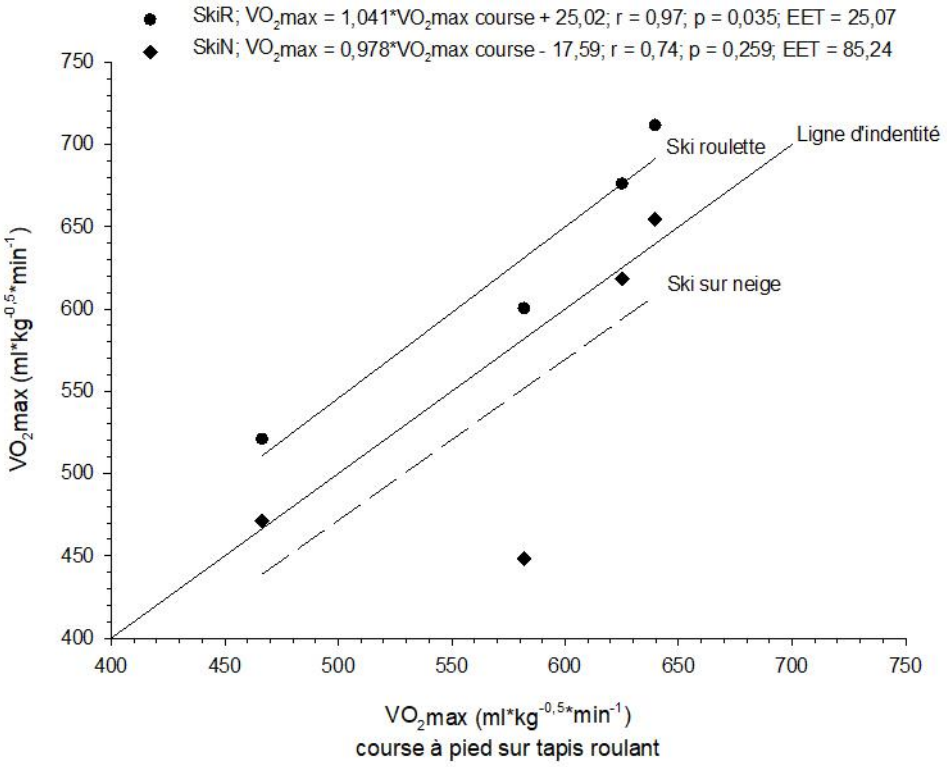

Figure 5.4 Comparatif (exprimé avec correction allométrique) entre le VO_2 Max en ski à roulettes et en ski de fond au VO_2 Max en course à pied présenté avec la ligne d'identité. Identification des symboles comme à la Figure 5.3.

5.4 Questionnaire analogue de 100 mm

À la fin de chaque tentative sur neige, les participants remplissaient un questionnaire de 3 questions afin de bien observer les facteurs incontrôlables (température, humidité, type de neige, etc.) qui influencent le ski. Dans le Tableau 4.14 Données des participants lors du test sur neige, on observe donc que la glisse était à 71,00±7,12 %, la retenue à 48,00±14,35 et de manière générale, les skieurs proposaient une valeur de 65,00±13,95 % à leurs skis. À 100%, le ski représentait l'efficience retrouvé en ski à roulettes avec une retenue parfaite et une glisse toujours constante. En observant la cote de retenue à 48,00±14,35 %, on peut donc prétende que l'efficience de ski de fond classique était

très basse lors du test sur neige pour la retenue sur la neige. En effet, en se rapportant au Tableau 4.11 et au

Tableau 4.12, on observe donc une contribution importante du biceps fémorale pendant le test sur neige contrairement au vaste latéral, nous indiquant de l'importance de la retenue et donc de la poussée du skieur de fond. Cependant, il n'existe pas à ce jour de corrélation entre le questionnaire analogue de 100 mm et les paramètres mesurés sur neige comme présenté dans le Tableau 4.15, le Tableau 4.16 et le Tableau 4.17. Carlsson et col. (2015) sont arrivés à la même conclusion, soit qu'il y a peu de corrélations entre la vitesse de leur simulation, la glisse ($r=-0.07$, $P=0.73$) et la retenue du ski de fond ($r=0.10$, $P=0.64$). Il est donc difficile d'approuver avec certitude l'interprétation ci-dessus sur le VO_2 Max récolté pendant le test sur neige avec le questionnaire analogue de 100 mm.

5.5 Limites de l'étude

Le recrutement fut une limite importante de l'étude. En effet, le calcul de puissance post hoc a révélé que la taille d'échantillon devait se situer à 33 afin d'atteindre une puissance de 0,80. La difficulté de recrutement était principalement en raison de difficultés pour arrimer les horaires, considérant que les athlètes ont des compétitions durant les fins de semaine. La plupart athlètes sollicités étaient intéressés, mais refusaient la participation à l'étude afin d'être en mesure de se concentrer sur leurs compétitions. Afin de palier à cette limite, comme présente les tests de puissance statistique (Tableau 4.21), nous sommes arrivés à proposer un nombre de participant ajusté afin d'apprécier la valeur de cette étude et permettre de corriger la faiblesse de celle-ci, soit le nombre de participants. Ensuite, pour réduire le risque de rejeter l'hypothèse nulle (erreur de type II, faux négatif), nous avons retenu un échantillon de $n=43$ participants qui comprend 30,00% de désistement afin de comparer les différences VO_2 Max.

De plus, les participants devaient se déplacer à 3 reprises, soit 2 fois en laboratoire et 1 fois en montagne pour le test sur neige. Ceci a négativement affecté le taux de participation puisque certains n'avaient pas accès à une voiture et devaient donc se prévoir un temps considérable dans la journée pour les déplacements.

Une autre limite aux tests est le port d'un système portatif pour l'analyse métabolique, qui était nouveau pour les participants. Ce genre de perturbation pourrait donc modifier les résultats, car l'analyseur portatif pourrait gêner, par son poids et son encombrement, et possiblement engendrer une accélération de la respiration et des autres composantes du système cardiovasculaire, comme réponse à un stress, et biaiser ainsi les réponses physiologiques. Les participants parlaient d'une problématique (inconfort de l'équipement) lors de l'échauffement, mais rapidement dans l'effort, ils oubliaient le fait qu'il avait un analyseur métabolique.

Nous avons aussi une limite sur l'emplacement physique lors du test sur neige. En effet, l'étude de Losnegard et al. (2014) suggérait d'avoir 600 m de montée en pas alternatif, mais nous n'avions pas plus de 500 m. De plus, l'étude de Carlsson et al. (2014) proposait un contre la montre en ski à roulettes sur 2 km. Nous aurions préférablement fait notre test sur neige sur une plus longue distance, soit 2 km de long en conservant le dénivelé. En revanche, les participants, dans cette condition, auraient été obligés d'être d'un niveau très avancé vu la consommation d'oxygène importante, rendant le recrutement encore plus difficile.

Finalement, étant donné que le test en ski à roulettes en laboratoire demande un niveau technique important, une future étude devrait recruter des skieurs de fond avec un

niveau très élevé en ski à roulettes afin de permettre l'exécution du test sans problème. Certains participants de notre étude devaient allonger l'échauffement afin de s'habituer techniquement au dénivelé et à la vitesse. Il suffit de reprendre l'étude de Pellegrini et al. (2013) afin de mettre en relief cette problématique. Nous aurions dû réduire la vitesse pour tous entre 6,00 et 8,00 km/h selon la Figure 5.5 qui présente le panneau A comme technique favorisée rapportée par les fondeurs à vitesse fixe de 10,00 km/h et le panneau B en fonction de la vitesse.

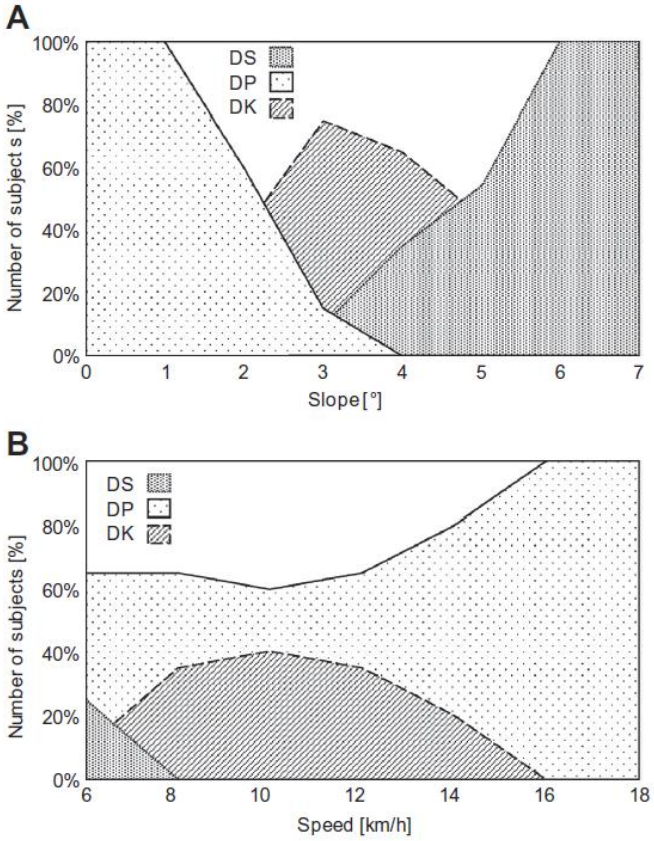

Figure 5.5 Représentation pour chaque technique du pourcentage de sujets ayant déclaré que cette technique était favorisée, pour différentes pentes à une vitesse fixe de 10 km / h (panneau A) et pour des conditions en fonction de la vitesse (panneau B). Les symboles font référence à différentes techniques: technique DP (double poussée): zone pointillée et trait plein, technique DK (un pas double poussée): zone pointillée et longue ligne pointillée, technique DS (pas alternatif): zone pointillée haute densité et ligne pointillée courte. (Pellegrini et al. 2013).

CHAPITRE 6

CONCLUSION

Il existe plusieurs outils pour évaluer les skieurs de fond hors saison, mais peu durant l'hiver. Cette étude nous a permis d'évaluer la possibilité de concevoir un test sur neige. Selon nos résultats, la course à pied demeure encore un bon outil pour évaluer le VO_2 Max chez le skieur de fond, mais ne permet pas d'apprécier la qualité physique en ski de fond étant donné les valeurs plus hautes du ski à roulettes en style classique en laboratoire contrairement aux résultats obtenus sur neige qui ne concordent pas dû à une limitation technique (ski, retenue, neige, etc.), de temps et de longueur de l'effort sur neige versus celui en laboratoire.

De plus, nous avons aussi conclu que le questionnaire analogue de 100 mm n'était pas un bon outil de travail étant donné les faibles corrélations en lien avec les différents déterminants de la performance du skieur de fond. Toutefois, le nombre de participants est trop petit pour obtenir une corrélation significative et le questionnaire nécessite d'être validé avec un plus grand nombre de participants. On suggère donc d'augmenter au moins n=43 de participants pour le VO_2 Max pour le test sur neige avec correction allométrique. En prenant la valeur de *n* la plus haute, soit n=43, on peut proposer ce nombre de participants comme étant un standard minimal pour les prochaines études du même genre.

Par ailleurs, le MOXY semble être un outil prometteur afin d'accumuler des données de performance physique pour les entraineurs, à faible coût. Cependant, il aurait été nécessaire d'avoir plus de participant afin de récolter plus de données à l'aide du MOXY sur neige et permettre d'avoir une vision plus réaliste de l'implication du vaste latéral et du biceps fémoral. De plus, il pourrait être intéressant de comparer l'implication musculaire entre le ski à roulettes classique et le ski de fond en pas alternatif sur neige avec le MOXY et ainsi améliorer la pertinence de l'entrainement hors saison qui demeure en pratique un art pour les entraineurs même à ce jour.

Néanmoins, l'étude a permis créer un intérêt d'une étude a plus grande envergure afin de peaufiner le test sur neige. En effet, il aurait été intéressant d'inclure plus d'athlètes de haut niveau afin de rendre le groupe plus homogène et d'exclure la variabilité de la qualité technique du test sur neige en fonction des autres tests pour mieux valider sa pertinence.

Finalement, il aurait été intéressant de faire le test à plusieurs reprises à travers plusieurs jours avec une situation environnementale différente afin d'analyser les différences au niveau technique et pratique pour permettre une meilleure validation du test.

Ce sont pour l'essentiel d'excellentes pistes de progrès pour les prochaines études qui se concentreront sur le sujet.

ANNEXES A

Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique - Q-AAP (version révisée en 2002)

Q-AAP et VOUS

(Un questionnaire pour les gens de 15 à 69 ans)

L'exercice physique pratiqué d'une façon régulière constitue une occupation de loisir saine et agréable. D'ailleurs, de plus en plus de gens pratiquent une activité physique de façon régulière. Règle générale, augmenter la pratique sportive n'entraîne pas de risques de santé majeurs. Dans certains cas, il est cependant conseillé de passer un examen médical avant d'entreprendre un programme régulier d'activités physiques. Le Q-AAP (questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique) vise à mieux cerner les personnes pour qui un examen médical est recommandé.

Si vous prévoyez modifier vos habitudes de vie pour devenir un peu plus actif(ve), commencez par répondre aux 7 questions qui suivent. Si vous êtes agé(e) de 15 à 69 ans, le Q-AAP vous indiquera si vous devez ou non consulter un médecin avant d'entreprendre votre nouveau programme d'activités. Si vous avez plus de 69 ans et ne participez pas d'une façon régulière à des activités physiques exigeantes, vous devriez consulter votre médecin avant d'entreprendre ces activités.

Lisez attentivement et répondez honnêtement à chacune des questions suivantes. Le simple bon sens sera votre meilleur guide pour répondre correctement à ces questions. Cochez OUI ou NON.

OUI	NON		
☐	☐	1.	**Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous souffriez d'un problème cardiaque <u>et</u> que vous ne deviez participer qu'aux activités physiques prescrites et approuvées par un médecin?**
☐	☐	2.	**Ressentez-vous une douleur à la poitrine lorsque vous faites de l'activité physique?**
☐	☐	3.	**Au cours du dernier mois, avez-vous ressenti des douleurs à la poitrine lors de périodes autres que celles où vous participiez à une activité physique?**
☐	☐	4.	**Éprouvez-vous des problèmes d'équilibre reliés à un étourdissement ou vous arrive-t-il de perdre connaissance?**
☐	☐	5.	**Avez-vous des problèmes osseux ou articulaires (par exemple, au dos, au genou ou à la hanche) qui pourraient s'aggraver par une modification de votre niveau de participation à une activité physique?**
☐	☐	6.	**Des médicaments vous sont-ils actuellement prescrits pour contrôler votre tension artérielle ou un problème cardiaque (par exemple, des diurétiques)?**
☐	☐	7.	**Connaissez-vous <u>une autre raison</u> pour laquelle vous ne devriez pas faire de l'activité physique?**

Si vous avez répondu

OUI à une ou plusieurs questions

Consultez votre médecin AVANT d'augmenter votre niveau de participation à une activité physique et AVANT de faire évaluer votre condition physique. Dites à votre médecin que vous avez complété le questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique et expliquez-lui précisément à quelles questions vous avez répondu «OUI».

- Il se peut que vous n'ayez aucune contre-indication à l'activité physique dans la mesure où vous y allez lentement et progressivement. Par ailleurs, il est possible que vous ne puissiez faire que certains types d'efforts adaptés à votre état de santé. Indiquez à votre médecin le type d'activité physique que vous comptiez faire et suivez ses recommandations.
- Informez-vous quant aux programmes d'activités spécialisés les mieux adaptés à vos besoins, offerts dans votre localité.

NON à toutes ces questions

Si, en toute honnêteté, vous avez répondu «NON» à toutes les questions du Q-AAP, vous êtes dans une certaine mesure, assuré(e) que:

- vous pouvez augmenter votre pratique régulière d'activités physiques en commençant lentement et en augmentant progressivement l'intensité des activités pratiquées. C'est le moyen le plus simple et le plus sécuritaire d'y arriver.
- vous pouvez faire évaluer votre condition physique. C'est le meilleur moyen de connaître votre niveau de condition physique de base afin de mieux planifier votre participation à un programme d'activités physiques.

REMETTRE À PLUS TARD L'AUGMENTATION DE VOTRE PARTICIPATION ACTIVE :

- si vous souffrez présentement de fièvre, d'une grippe ou d'une autre affection passagère, attendez d'être remis(e); ou
- si vous êtes enceinte ou croyez l'être, consultez votre médecin avant de modifier votre niveau de pratique sportive régulière.

Veuillez noter que si votre état de santé se trouve modifié de sorte que vous deviez répondre «OUI» à l'une ou l'autre des questions précédentes, consultez un professionnel de la santé ou de la condition physique, afin de déterminer s'il vous faut modifier votre programme d'activités.

<u>Formule de consentement du Q-AAP:</u> La Société canadienne de physiologie de l'exercice, Santé Canada et ses représentants n'assument aucune responsabilité vis-à-vis des accidents qui pourraient survenir lors de l'activité physique. Si, après avoir complété le questionnaire ci-dessus, un doute persiste quant à votre aptitude à faire une activité physique, consultez votre médecin avant de vous y engager.

Toute modification est interdite. Nous vous encourageons à copier le Q-AAP dans sa totalité.

Dans le mesure où le Q-AAP est administré avant que la personne ne s'engage dans un programme d'activités ou qu'elle fasse évaluer sa condition physique, la section suivante constitue un document ayant une valeur légale et administrative.

«Je sous-signé(e) affirme avoir lu, compris et complété le questionnaire et avoir reçu une réponse satisfaisante à chacune de mes questions.»

NOM _____

SIGNATURE _____ DATE _____

SIGNATURE D'UN PARENT or TUTEUR (pour les mineurs) _____ TÉMOIN _____

N.B.– Cette autorisation de faire de l'activité physique est valide pour une période maximale de 12 mois à compter du moment où le questionnaire est rempli. Elle n'est plus valide si votre état de santé change de telle sorte que vous répondez «OUI» à l'une des sept questions.

SCPE | CSEP

© Société canadienne de physiologie de l'exercice www.csep.ca/forms

ANNEXE B

ÉCHELLE ANALOGIQUE VISUELLE (100MM) SUR LA QUALITÉ DE LA GLISSE ET DE LA RETENUE
EN SKI DE FOND – STYLE CLASSIQUE
ADAPTÉ DE CARLSSON ET AL. 2016

PARTICIPANT :
DATE :

QUALITÉ DU FART DE GLISSE

PIRE | _____ | MEILLEURE

QUALITÉ DU FART DE RETENUE

PIRE | _____ | MEILLEURE

QUALITÉ DU FART EN GÉNÉRAL

PIRE | _____ | MEILLEURE

ANNEXE C

ECHELLE DE BORG

Perception de la fatigue

	6
TRES TRES FACILE	7
	8
TRES FACILE	9
	10
ASSEZ FACILE	11
	12
UN PEU DIFFICILE	13
	14
DIFFICILE	15
	16
TRES DIFFICILE	17
	18
TRES TRES DIFFICILE	19
	20

ANNEXE D

Modèle 1 : participant majeur

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

Titre du projet de recherche : *ÉLABORATION D'UN TEST DE TERRAIN SUR NEIGE POUR IDENTIFIER LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGÈNE CHEZ DES FONDEURS ÉLITES*

Chercheur responsable : Alain Steve Comtois, Ph.D., Université du Québec à Montréal

Membres de l'équipe : Patrick Cobello, candidat à la maîtrise, Université du Québec à Montréal; Alain Steve Comtois, Ph.D., Université du Québec à Montréal.

Coordonnateur : Alain Steve Comtois, Ph.D., Université du Québec à Montréal

Organisme de financement : Aucun

Préambule

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche.

Avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire, il est important de prendre le temps de lire et de bien comprendre les renseignements ci-dessous. S'il y a des mots ou des sections que vous ne comprenez pas ou qui ne semblent pas clairs, n'hésitez pas à nous à poser des questions ou à communiquer avec le responsable du projet ou le coordonnateur de recherche.

Objectifs du projet

L'objectif du projet est de confirmer que les tests de course à pied ne sont pas les meilleures options afin de vérifier la condition physique d'un athlète en ski de fond et ainsi, valider un test sur la neige pour mesurer la capacité aérobie, c'est-à-dire maintenir une intensité élevée pendant plusieurs

minutes. Nous allons aussi valider l'utilisation d'un chausson permettant de mesurer la capacité aérobie à l'aide d'une technologie par infrarouge.

Nature de la participation

Votre participation consiste à effectuer 3 tests physiques différents.

La première journée, vous serez invitez à faire un premier test de course à pied sur tapis roulant. Vous aurez à porter un appareil permettant de connaitre votre consommation d'oxygène pendant toute la durée du test. L'appareil est léger (800 grammes) et très confortable à porter. Ce test d'une durée environ de 12 minutes maximum, à palier progressif vous fera atteindre votre capacité maximale, comme lors d'exercice par intervalle court en entrainement. Vous aurez à faire des paliers de 1 minute jusqu'à l'atteinte de votre capacité maximale. Nous prélèverons aussi une goutte de sang après l'épreuve à la 2e et 20e minutes durant la période de retour au calme. Cette goutte de sang sera prélevée à l'extrémité de votre index, comme lorsqu'un diabétique observe sa glycémie. Patrick Cobello sera responsable de prendre ces échantillons. Vous allez ressentir un petit pincement lors du prélèvement, au niveau du doigt, mais sans plus. Au début du test, vous aurez une période d'échauffement et d'acclimatation aux instruments pour permettre de vous habituez.

Le deuxième test lors de la 2e journée, soit 48 heures plus tard, sera effectué de la même manière que la première journée, mais en ski à roulettes style classique. Le tapis sera assez grand pour permettre d'effectuer l'exercice.

Le troisième jour, 48 heures après la 2e épreuve, nous irons à l'extérieur sur la neige. Encore une fois, une période d'échauffement sera proposée pour vous habituez à l'équipement. Une pente sera prédéterminée pour le test et vous pourrez faire une reconnaissance de terrain afin de visualiser le terrain et l'effort, qui sera sensiblement égal ou inférieur à la journée 1 et 2. Après l'échauffement, vous effectuerez l'effort plusieurs fois avec plusieurs minutes de récupération entre chacun. Ceci s'apparente beaucoup à un entrainement de haute intensité que vous avez l'habitude de faire. À chaque fin de test, nous vous donnerons un petit questionnaire de 3 questions à répondre sur la qualité de la glisse.

Jour 1 (ex : lundi)	Jour 2 (ex : mercredi)	Jour 3 (ex : vendredi)
Test par palier de course à pieds	Test par palier en ski à roulettes classique	Test sur neige répété en style classique.

Avantages

Vous pourrez connaitre votre VO_2 MAX et ce, à la course à pied, en ski à roulettes et en ski de fond. Tous, de manière gratuite, d'une valeur de plusieurs centaines de dollar. Ensuite, votre contribution permettra de valider un test sur terrain, permettant ainsi au club ayant peu de moyen financier, d'avoir un outil

supplémentaire pour l'évaluation de leurs athlètes même en période hivernale ou en camp automnale sur un glacier. Finalement, vous permettrez de valider un nouvel outil, un chausson, de travail pour les athlètes d'endurance.

Risques et inconvénients

Vous pourrez ressentir un inconfort ou une douleur musculaire dans les heures suivant le test pouvant s'accompagner d'une toux sèche comme suite à un entrainement en haute intensité. Les prélèvements d'échantillons sanguin pourraient pincer, au niveau des doigts et pourrait vous apporter un léger inconfort quelques heures après le test.

Compensation

Aucune rémunération ni compensation n'est offerte au terme de la participation à cette étude.

Confidentialité

Il est entendu que tous les renseignements recueillis sont confidentiels. Seuls les membres de l'équipe de recherche y auront accès. Vos données de recherche ainsi que votre formulaire de consentement seront conservées séparément sous clef dans bureau. Les données seront gardées sur une clé USB sécurisée, celle-ci sera conservée dans un classeur verrouillé à l'intérieur d'un bureau verrouillé pour la durée totale du projet. Afin de protéger votre identité et la confidentialité de vos données, vous serez toujours identifié par un code alphanumérique. Ce code ne sera pas associé à votre nom et ne sera connu que du responsable du projet et de l'assistant de recherche chargé de la codification. Aucune publication ou communication sur la recherche (incluant les mémoires et thèses des étudiants membres de l'équipe) ne contiendra de renseignements permettant de vous identifier à moins d'un consentement explicite de votre part. Finalement, Les données ainsi que les formulaires de consentement pourront être détruits 5 ans après le dépôt final du travail de recherche, mais le reste du matériel qui ne sera plus nécessaire à la conduite d'autres projets sera détruit immédiatement après l'étude de façon sécuritaire. La clef USB sera formatée complètement et un logiciel pour la suppression de donnée sera utilisé pour assurer que le tout soit impossible à récupérer.

Participation volontaire et droit de retrait

Votre participation à ce projet est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure. Cela signifie également que vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche, sans préjudice de quelque nature que ce soit, et sans avoir à vous justifier. Dans ce cas, et à moins d'une directive verbale ou écrite

contraire de votre part, les documents, renseignements et données vous concernant seront détruits.

Le responsable du projet peut mettre fin à votre participation, sans votre consentement, s'il estime que votre bien-être ou celui des autres participants est compromis ou bien si vous ne respectez pas les consignes du projet.

Recherches ultérieures

Vos données de recherche seront rendues anonymes et conservées indéfiniment. Nous souhaitons les utiliser dans d'autres projets de recherche similaires. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

☐ J'accepte que mes données puissent être utilisées dans d'autres projets de recherche
☐ Je refuse que mes données puissent être utilisées dans d'autres projets de recherche

Acceptez-vous que le responsable du projet ou son délégué vous sollicite ultérieurement dans le cadre d'autres projets de recherche?

Oui ☐ **Non** ☐

Responsabilité

En acceptant de participer à ce projet, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le(s) commanditaire(s) ou l'institution impliquée (ou les institutions impliquées) de leurs obligations civiles et professionnelles.

Personnes-ressources :

Vous pouvez contacter le responsable du projet au numéro (514) 293-7401 pour des questions additionnelles sur le projet. Vous pouvez discuter avec lui, ou le coordonnateur du projet au numéro (514) 987-3000 poste 1506 des conditions dans lesquelles se déroule votre participation.

Le Comité institutionnel d'éthique de la recherche avec des êtres humains (CIEREH) a approuvé ce projet et en assure le suivi. Pour toute information vous pouvez communiquer avec la coordonnatrice du Comité au numéro 987-3000 poste 7753 ou par courriel à l'adresse : ciereh@uqam.ca.

Pour toute question concernant vos droits en tant que participant à ce projet de recherche ou si vous avez des plaintes à formuler, vous pouvez communiquer avec le bureau de l'ombudsman de l'UQAM (Courriel: ombudsman@uqam.ca; Téléphone: (514) 987-3151.

Remerciements : Votre collaboration est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous souhaitez obtenir

un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.

Consentement du participant : Par la présente, je reconnais avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement. Je comprends les objectifs du projet et ce que ma participation implique. Je confirme avoir disposé du temps nécessaire pour réfléchir à ma décision de participer. Je reconnais avoir eu la possibilité de contacter le responsable du projet (ou son délégué) afin de poser toutes les questions concernant ma participation et que l'on m'a répondu de manière satisfaisante. Je comprends que je peux me retirer du projet en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner**.** Je consens volontairement à participer à ce projet de recherche.

Je désire recevoir un résumé des résultats du projet : Oui ☐ Non ☐

Signature : Date :

Nom (lettres moulées) : coordonnées adresse courriel :

Déclaration du chercheur principal (ou de son délégué) :

Je, soussigné, déclare avoir expliqué les objectifs, la nature, les avantages, les risques du projet et autres dispositions du formulaire d'information et de consentement et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Signature : Date :

Nom (lettres moulées) et coordonnées :

Un exemplaire de ce document signé doit être remis au participant

ANNEXE E

Modèle 2 :
participant mineur

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

Titre du projet de recherche : *ÉLABORATION D'UN TEST DE TERRAIN SUR NEIGE POUR IDENTIFIER LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGÈNE CHEZ DES FONDEURS ÉLITES*

Chercheur responsable : Patrick Cobello, candidat à la maîtrise, Université du Québec à Montréal

Membres de l'équipe : Patrick Cobello, candidat à la maîtrise, Université du Québec à Montréal; Alain Steve Comtois, Ph.D., Université du Québec à Montréal.

Coordonnateur : Alain Steve Comtois, Ph.D., Université du Québec à Montréal

Organisme de financement : Aucun

Préambule

Nous invitons votre enfant à participer à un projet de recherche.

Avant d'accepter qu'il participe à ce projet et de signer ce formulaire, il est important de prendre le temps de lire et de bien comprendre les renseignements ci-dessous. S'il y a des mots ou des sections que vous ne comprenez pas ou qui ne semblent pas clairs, n'hésitez pas à nous à poser des questions ou à communiquer avec le responsable du projet ou le coordonnateur de recherche.

Objectifs du projet

L'objectif du projet est de confirmer que les tests de course à pied ne sont pas les meilleures options afin de vérifier la condition physique d'un athlète en ski de fond et ainsi, valider un test sur la neige pour mesurer la capacité aérobie, c'est-à-dire maintenir une intensité élevée pendant plusieurs minutes. Nous allons aussi valider l'utilisation d'un chausson permettant de mesurer la capacité aérobie à l'aide d'une technologie par infrarouge.

Nature de la participation

La participation de votre enfant consiste à effectuer 3 tests physiques différents.

La première journée, votre enfant sera invité à faire un premier test de course à pied sur tapis roulant. Il aura à porter un appareil permettant de connaitre sa consommation d'oxygène pendant toute la durée du test. L'appareil est léger (800 grammes) et très confortable à porter. Ce test d'une durée environ de 12 minutes maximum, à palier progressif lui fera atteindre sa capacité maximale, comme lors d'exercice par intervalle court en entrainement qu'il est habitué de faire. Il aura à faire des paliers de 1 minute jusqu'à l'atteinte de sa capacité maximale. Nous prélèverons aussi une goutte de sang après l'épreuve à la 2e et 20e minutes durant la période de retour au calme. Cette goutte de sang sera prélevée à l'extrémité de son index, comme lorsqu'un diabétique observe sa glycémie. Patrick Cobello sera responsable de prendre ces échantillons. Votre enfant pourra ressentir un petit pincement lors du prélèvement, au niveau du doigt, mais sans plus. Au début du test, votre enfant aura une période

d'échauffement et d'acclimatation aux instruments pour permettre de vous habituez.

Le deuxième test lors de la 2e journée, soit 48 heures à 7 jours plus tard, sera effectué de la même manière que la première journée, mais en ski à roulettes style classique. Le tapis sera assez grand pour permettre d'effectuer l'exercice. Nous prélèverons aussi une goutte de sang après l'épreuve à la 2e et 20e minutes durant la période de retour au calme. Cette goutte de sang sera prélevée à l'extrémité de son index, comme lorsqu'un diabétique observe sa glycémie. Patrick Cobello sera responsable de prendre ces échantillons. Votre enfant pourra ressentir un petit pincement lors du prélèvement, au niveau du doigt, mais sans plus. Au début du test, votre enfant aura une période d'échauffement et d'acclimatation aux instruments pour permettre de vous habituez.

Le troisième jour, 48 heures à 7 jours après la 2e épreuve, nous irons à l'extérieur sur la neige. Encore une fois, une période d'échauffement sera proposée pour habituez votre enfant à l'équipement. Une pente sera prédéterminée pour le test et votre enfant pourra faire une reconnaissance de terrain afin de visualiser le terrain et l'effort, qui sera sensiblement égal ou inférieur à la journée 1 et 2. Après l'échauffement, votre enfant effectuera l'effort plusieurs fois avec plusieurs minutes de récupération entre chacun. Ceci s'apparente beaucoup à un entrainement de haute intensité qu'il a l'habitude de faire. À chaque fin de test, nous allons donner un petit questionnaire de 3 questions à votre enfant pour qu'il interprète la qualité de la glisse. Nous prélèverons aussi une goutte de sang après chaque épreuve. Cette goutte de sang sera prélevée à l'extrémité de son index, comme lorsqu'un diabétique observe sa glycémie. Patrick Cobello sera responsable de prendre ces échantillons. Votre enfant pourra ressentir un petit pincement lors du prélèvement, au niveau du doigt, mais sans plus. Au début du test, votre enfant aura une période d'échauffement et d'acclimatation aux instruments pour permettre de vous habituez.

Jour 1 (ex : lundi)	Jour 2 (ex : mercredi)	Jour 3 (ex : vendredi)
Test par palier de course à pieds	Test par palier en ski à roulettes classique	Test sur neige répété en style classique.

Avantages

Votre enfant pourra connaitre son VO_2 Max et ce, à la course à pied, en ski à roulettes et en ski de fond. Tous, de manière gratuite, d'une valeur de plusieurs centaines de dollar. Ensuite, sa contribution permettra de valider un test sur terrain, permettant ainsi au club ayant peu de moyen financier, d'avoir un outil supplémentaire pour l'évaluation de leurs athlètes même en période hivernale ou en camp automnale sur un glacier. Finalement, la participation de votre enfant permettra de valider un nouvel outil, un chausson, de travail pour les athlètes d'endurance. Tout cela donnera une belle opportunité pour votre enfant de vivre un processus de haute performance.

Risques et inconvénients

Votre enfant pourrait ressentir un inconfort ou une douleur musculaire dans les heures suivant le test pouvant s'accompagner d'une toux sèche comme à la suite d'un entrainement en haute intensité. Les prélèvements d'échantillons sanguin pourraient pincer, au niveau des doigts et pourrait apporter un léger inconfort quelques heures après le test. Les échantillons sanguins sont pris exactement comme un test glycémique chez les diabétiques. Les tests devraient s'apparenter à ce qu'il fait déjà en entrainement et l'intensité d'effort sera semblable à ce que votre enfant pratique en situation réel. Pour toute situation problématique, nous pourrons arrêter le test avec votre enfant, et il sera toujours en mesure d'arrêter le test à tout moment.

Compensation

Aucune rémunération ni compensation n'est offerte au terme de la participation de votre enfant.

Confidentialité

Il est entendu que tous les renseignements recueillis sont confidentiels. Seuls les membres de l'équipe de recherche y auront accès. Les données de votre enfant

lors de la recherche ainsi que son formulaire de consentement seront conservées séparément sous clef dans bureau. Les données seront gardées sur une clé USB sécurisée, celle-ci sera conservée dans un classeur verrouillé à l'intérieur d'un bureau verrouillé pour la durée totale du projet. Afin de protéger l'identité de votre enfant et la confidentialité de ses données, votre enfant sera toujours identifié par un code alphanumérique. Ce code ne sera pas associé à son nom et ne sera connu que du responsable du projet et de l'assistant de recherche chargé de la codification. Aucune publication ou communication sur la recherche (incluant les mémoires et thèses des étudiants membres de l'équipe) ne contiendra de renseignements permettant d'identifier votre enfant à moins d'un consentement explicite de votre part. Finalement, les données ainsi que les formulaires de consentement pourront être détruits 5 ans après le dépôt final du travail de recherche, mais le reste du matériel qui ne sera plus nécessaire à la conduite d'autres projets sera détruit immédiatement après l'étude de façon sécuritaire. La clef USB sera formatée complètement et un logiciel pour la suppression de donnée sera utilisé pour assurer que le tout soit impossible à récupérer.

Participation volontaire et droit de retrait

La participation de votre enfant à ce projet est volontaire. Cela signifie que même si vous consentez aujourd'hui à ce que votre enfant participe au projet, il demeure entièrement libre de ne pas participer ou de mettre fin à sa participation, en tout temps, sans justification ni pénalité. Vous pouvez également retirer votre enfant du projet en tout temps. Dans ce cas, et à moins d'une directive verbale ou écrite contraire de votre part, les documents, renseignements et données le concernant seront détruits.

Le responsable du projet peut mettre fin à sa participation, sans votre consentement, s'il estime que son bien-être ou celui des autres participants est compromis ou bien s'il ne respecte pas les consignes du projet.

Recherches ultérieures

Les données de recherche de votre enfant seront rendues anonymes et conservées pour des études ultérieures. Après 5 ans sans utilisations, les données seront détruites au terme du projet. Nous souhaitons les utiliser dans d'autres projets de recherche similaires. Vous êtes libre de refuser cette utilisation secondaire.

☐ J'accepte que ses données puissent être utilisées dans d'autres projets de recherche

☐ Je refuse que ses données puissent être utilisées dans d'autres projets de recherche

Acceptez-vous que le responsable du projet ou son délégué prenne contact avec vous pour inviter votre enfant à participer à d'autres projets de recherche?

Oui ☐ **Non** ☐

Responsabilité

En acceptant que votre enfant participe à ce projet, vous ne renoncez pas pour lui à aucun de ses droits ni ne libérez les chercheurs, le(s) commanditaire(s) ou l'institution impliquée (ou les institutions impliquées) de leurs obligations civiles et professionnelles.

Personnes-ressources :

Pour toute question additionnelle sur le projet et sur la participation de votre enfant, vous pouvez communiquer avec les responsables du projet : Alain Steve Comtois, (514) 987-3000 poste 1506, comtois.alain-steve@uqam.ca; Patrick Cobello, (514) 293-7401, cobello.patrick@courrier.uqam.ca

Des questions sur vos droits ? Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE) a approuvé le projet de recherche auquel vous allez participer. Pour des informations concernant les responsabilités de l'équipe de recherche au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains ou pour formuler une plainte, vous pouvez contacter la coordonnatrice du CERPE pluri facultaire : Caroline Vrignaud, vrignaud.caroline@uqam.ca, 514 987-3000, poste 6188.

Remerciements : La collaboration de votre enfant est importante à la réalisation de notre projet et l'équipe de recherche tient à vous en remercier. Si vous

souhaitez obtenir un résumé écrit des principaux résultats de cette recherche, veuillez ajouter vos coordonnées ci-dessous.

Signature(s) : En tant que parent ou tuteur légal de _____, je reconnais avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement. Je comprends les objectifs du projet et ce que la participation de mon enfant implique. Je confirme avoir disposé du temps nécessaire pour discuter avec mon enfant de la nature de son implication. Je reconnais avoir eu la possibilité de contacter le responsable du projet (ou son délégué) afin de poser toutes les questions concernant sa participation et que l'on m'a répondu de manière satisfaisante. Je comprends que sa participation à ce projet est volontaire et que je peux ou qu'il peut y mettre fin en tout temps, sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner**.** Je consens volontairement à ce que mon enfant participe à ce projet de recherche.

Je désire recevoir un résumé des résultats du projet : Oui ☐ Non ☐

Signature de l'enfant_____ _____Date :

Signature du parent/tuteur légal :_____ _____Date :

Nom (lettres moulées) : _____

Coordonnées et adresse courriel :_____

Déclaration du chercheur principal (ou de son délégué) :

Je, soussigné, déclare avoir expliqué les objectifs, la nature, les avantages, les risques du projet et autres dispositions du formulaire d'information et de consentement et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Signature : _____ Date :

Nom (lettres moulées) et coordonnées : _____
_____

BIBLIOGRAPHIE

Abad, C. C., Barros, R. V., Bertuzzi, R., Gagliardi, J. F., Lima-Silva, A. E., Lambert, M. I. et Pires, F. O. (2016). 10 km running performance predicted by a multiple linear regression model with allometrically adjusted variables. *J Hum Kinet*, *51*, 193-200. doi: 10.1515/hukin-2015-0182

Åstrand, P.-O. et Ryhming, I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *Journal of Applied Physiology*, *7*(2), 218-221. doi: 10.1152/jappl.1954.7.2.218

Balducci, P., Clemencon, M., Morel, B., Quiniou, G., Saboul, D. et Hautier, C. A. (2016). Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. *J Sports Sci Med*, *15*(2), 239-246.

Bolger, C. M., Kocbach, J., Hegge, A. M. et Sandbakk, O. (2015). Speed and heart-rate profiles in skating and classical cross-country skiing competitions. *Int J Sports Physiol Perform*, *10*(7), 873-880. doi: 10.1123/ijspp.2014-0335

Cappa, D. F., Garcia, G. C., Secchi, J. D. et Maddigan, M. E. (2014). The relationship between an athlete's maximal aerobic speed determined in a laboratory and their final speed reached during a field test (UNCa Test). *J Sports Med Phys Fitness*, *54*(4), 424-431.

Carlsson, M., Carlsson, T., HammarstrOm, D., Malm, C. et Tonkonogi, M. (2014). Prediction of race performance of elite cross-country skiers by lean mass. *Int J Sports Physiol Perform*, *9*(6), 1040-1045. doi: 10.1123/ijspp.2013-0509

Carlsson, M., Carlsson, T., Hammarstrom, D., Malm, C. et Tonkonogi, M. (2014). Time trials predict the competitive performance capacity of junior cross-country skiers. *Int J Sports Physiol Perform*, *9*(1), 12-18. doi: 10.1123/ijspp.2012-0172

Carlsson, M., Carlsson, T., Hammarstrom, D., Tiivel, T., Malm, C. et Tonkonogi, M. (2012). Validation of physiological tests in relation to competitive performances in elite male distance cross-country skiing. *J Strength Cond Res*, *26*(6), 1496-1504. doi: 10.1519/JSC.0b013e318231a799

Carlsson, M., Carlsson, T., Knutsson, M., Malm, C. et Tonkonogi, M. (2014). Oxygen uptake at different intensities and sub-techniques predicts sprint performance in elite male cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol*, *114*(12), 2587-2595. doi: 10.1007/s00421-014-2980-0

Carlsson, M., Carlsson, T., Wedholm, L., Nilsson, M., Malm, C. et Tonkonogi, M. (2016). Physiological demands of competitive sprint and distance performance in elite female cross-country skiing. *J Strength Cond Res*, *30*(8), 2138-2144. doi: 10.1519/JSC.0000000000001327

Carlsson, T., Carlsson, M., Hammarstrom, D., Ronnestad, B. R., Malm, C. B. et Tonkonogi, M. (2015). Optimal ratio for predicting 15 km performance among elite male cross-country skiers. *Open Access J Sports Med*, *6*, 353-360. doi: 10.2147/OAJSM.S93174

Carlsson, T., Tonkonogi, M. et Carlsson, M. (2016). Aerobic power and lean mass are indicators of competitive sprint performance among elite female cross-country skiers. *Open Access J Sports Med*, *7*, 153-160. doi: 10.2147/OAJSM.S116672

Cetin, E., Bilgin, U., Schurmann, B. C., Yarim, I. et Dolek, B. E. (2013). Blood lactate level responses and comparison with submaximal running and roller skiing in cross-country skiers. *Coll Antropol*, *37*(3), 867-870.

Cornachione, K., McLaren, J. et Heil, D. (2013). *Use of a wireless NIRS monitor to track changes in muscle oxygenation for laboratory-based Nordic skiing test protocol* (VI éd.). Austria : Meyer & Meyer Sport.

Dittrich, N., de Lucas, R. D., Beneke, R. et Guglielmo, L. G. (2014). Time to exhaustion at continuous and intermittent maximal lactate steady state during running exercise. *Int J Sports Physiol Perform*, *9*(5), 772-776. doi: 10.1123/ijspp.2013-0403

Galbraith, A., Hopker, J., Cardinale, M., Cunniffe, B. et Passfield, L. (2014). A 1-year study of endurance runners: training, laboratory tests, and field tests. *Int J Sports Physiol Perform*, *9*(6), 1019-1025. doi: 10.1123/ijspp.2013-0508

Galbraith, A., Hopker, J., Lelliott, S., Diddams, L. et Passfield, L. (2014). A single-visit field test of critical speed. *Int J Sports Physiol Perform*, *9*(6), 931-935. doi: 10.1123/ijspp.2013-0507

Garcia-Tabar, I., Llodio, I., Sanchez-Medina, L., Asiain, X., Ibanez, J. et Gorostiaga, E. M. (2017). Validity of a single lactate measure to predict fixed lactate thresholds in athletes. *J Sports Sci*, *35*(4), 385-392. doi: 10.1080/02640414.2016.1166392

Gonzalez-Millan, C., Perez-Brunicardi, D., Salinero, J. J., Lara, B., Abian-Vicen, J., Areces, F., Del Coso, J. (2017). Physiological demands of elite cross-country skiing during a real competition. *J Strength Cond Res*, *31*(6), 1536-1543. doi: 10.1519/JSC.0000000000001616

Hebert-Losier, K., Zinner, C., Platt, S., Stoggl, T. et Holmberg, H. C. (2017). Factors that influence the performance of elite sprint cross-country skiers. *Sports Med*, *47*(2), 319-342. doi: 10.1007/s40279-016-0573-2

Hebisz, R., Hebisz, P., Zaton, M. et Michalik, K. (2017). Peak oxygen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol and their relationship with cross-country mountain biking performance. *Appl Physiol Nutr Metab*, *42*(4), 371-376. doi: 10.1139/apnm-2016-0362

Hegge, A. M., Bucher, E., Ettema, G., Faude, O., Holmberg, H. C. et Sandbakk, O. (2016). Gender differences in power production, energetic capacity and efficiency of elite crosscountry skiers during wholebody, upperbody, and arm poling. *Eur J Appl Physiol*, *116*(2), 291-300. doi: 10.1007/s00421-015-3281-y

Hogg, J. S., Hopker, J. G. et Mauger, A. R. (2015). The self-paced VO2max test to assess maximal oxygen uptake in highly trained runners. *Int J Sports Physiol Perform*, *10*(2), 172-177. doi: 10.1123/ijspp.2014-0041

Im, J., Nioka, S., Chance, B. et W Rundell, K. (2001). *Muscle Oxygen Desaturation is Related to Whole Body V˙O2 During Cross-Country Ski Skating* (vol. 22). doi: 10.1097/00005768-199905001-00336

Kehler, A. L., Hajkova, E., Holmberg, H. C. et Kram, R. (2014). Forces and mechanical energy fluctuations during diagonal stride roller skiing; running on wheels? *J Exp Biol*, *217*(Pt 21), 3779-3785. doi: 10.1242/jeb.107714

Leirdal, S., Sandbakk, O. et Ettema, G. (2013). Effects of frequency on gross efficiency and performance in roller ski skating. *Scand J Med Sci Sports*, *23*(3), 295-302. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01379.x

Losnegard, T. et Hallen, J. (2014). Elite cross-country skiers do not reach their running VO2max during roller ski skating. *J Sports Med Phys Fitness*, *54*(4), 389-393.

Losnegard, T. et Hallen, J. (2014). Physiological differences between sprint- and distance-specialized cross-country skiers. *Int J Sports Physiol Perform*, *9*(1), 25-31. doi: 10.1123/ijspp.2013-0066

Losnegard, T., Myklebust, H., Spencer, M. et Hallen, J. (2013). Seasonal variations in VO2max, O2-cost, O2-deficit, and performance in elite cross-country skiers. *J Strength Cond Res*, *27*(7), 1780-1790. doi: 10.1519/JSC.0b013e31827368f6

McArdle, W. D., Katch, F. I. et Katch, V. L. (2015). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance* (Eighth edition. éd.). Numéro 17913028. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.

Messonnier, L. A., Emhoff, C. A., Fattor, J. A., Horning, M. A., Carlson, T. J. et Brooks, G. A. (2013). Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men. *J Appl Physiol (1985)*, *114*(11), 1593-1602. doi: 10.1152/japplphysiol.00043.2013

Osteras, S., Welde, B., Danielsen, J., van den Tillaar, R., Ettema, G. et Sandbakk, O. (2016). Contribution of upper-body strength, body composition, and maximal oxygen uptake to predict double poling power and overall performance in female cross-country skiers. *J Strength Cond Res*, *30*(9), 2557-2564. doi: 10.1519/JSC.0000000000001345

Pellegrini, B., Zoppirolli, C., Bortolan, L., Holmberg, H. C., Zamparo, P. et Schena, F. (2013). Biomechanical and energetic determinants of technique selection in classical cross-country skiing. *Hum Mov Sci*, *32*(6), 1415-1429. doi: 10.1016/j.humov.2013.07.010

Pellegrini, B., Zoppirolli, C., Bortolan, L., Zamparo, P. et Schena, F. (2014). Gait models and mechanical energy in three cross-country skiing techniques. *J Exp Biol*, *217*(Pt 21), 3910-3918. doi: 10.1242/jeb.106740

Pettitt, R. W., Clark, I. E., Ebner, S. M., Sedgeman, D. T. et Murray, S. R. (2013). Gas exchange threshold and VO2max testing for athletes: an update. *J Strength Cond Res*, *27*(2), 549-555. doi: 10.1519/JSC.0b013e31825770d7

Poole, D. C. et Jones, A. M. (2017). Measurement of the maximum oxygen uptake Vo2max: Vo2peak is no longer acceptable. *J Appl Physiol (1985)*, *122*(4), 997-1002. doi: 10.1152/japplphysiol.01063.2016

Sandbakk, O., Ettema, G. et Holmberg, H. C. (2012). The influence of incline and speed on work rate, gross efficiency and kinematics of roller ski skating. *Eur J Appl Physiol*, *112*(8), 2829-2838. doi: 10.1007/s00421-011-2261-0

Sandbakk, O., Ettema, G. et Holmberg, H. C. (2014). Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling. *Scand J Med Sci Sports*, *24*(1), 28-33. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01482.x

Sandbakk, O., Hegge, A. M. et Ettema, G. (2013). The role of incline, performance level, and gender on the gross mechanical efficiency of roller ski skating. *Front Physiol*, *4*, 293. doi: 10.3389/fphys.2013.00293

Sandbakk, O., Hegge, A. M., Losnegard, T., Skattebo, O., Tonnessen, E. et Holmberg, H. C. (2016). The physiological capacity of the world's highest ranked female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, *48*(6), 1091-1100. doi: 10.1249/MSS.0000000000000862

Sandbakk, O., Losnegard, T., Skattebo, O., Hegge, A. M., Tonnessen, E. et Kocbach, J. (2016). Analysis of classical time-trial performance and technique-specific physiological determinants in elite female cross-country skiers. *Front Physiol*, *7*, 326. doi: 10.3389/fphys.2016.00326

Sandbakk, O., Rasdal, V., Braten, S., Moen, F. et Ettema, G. (2016). How do world-class nordic combined athletes differ from specialized cross-country skiers and ski jumpers in sport-specific capacity and training characteristics? *Int J Sports Physiol Perform*, *11*(7), 899-906. doi: 10.1123/ijspp.2015-0285

Schertzer, F. (2011). Championnats suisses de ski de fond 2011 [Photographie]. Récupéré de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2011_Swiss_cross-country_skiing_championships_-_Duathlon.jpg

Smith, W. (2006). *Italian skier Cristian Zorzi* [Photographie]. Récupéré de https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Cristian_Zorzi.jpg

Spencer, M., Losnegard, T., Hallen, J. et Hopkins, W. G. (2014). Variability and predictability of performance times of elite cross-country skiers. *Int J Sports Physiol Perform*, *9*(1), 5-11. doi: 10.1123/ijspp.2012-0382

Sperlich, B., Zinner, C., Trenk, D. et Holmberg, H. C. (2014). Does a 3-min all-out test provide suitable measures of exercise intensity at the maximal lactate steady state or peak oxygen uptake for well-trained runners? *Int J Sports Physiol Perform*, *9*(5), 805-810. doi: 10.1123/ijspp.2013-0265

Stangier, C., Abel, T., Mierau, J., Gutmann, B., Hollmann, W. et Struder, H. K. (2016). Comparison of sport-specific and non-specific exercise testing in inline speed skating. *J Sports Med Phys Fitness*, *56*(4), 406-414.

Stoggl, T., Bjorklund, G. et Holmberg, H. C. (2013). Biomechanical determinants of oxygen extraction during cross-country skiing. *Scand J Med Sci Sports*, *23*(1), e9-20. doi: 10.1111/sms.12004

Stoggl, T., Schwarzl, C., Muller, E. E., Nagasaki, M., Stoggl, J., Scheiber, P., . . . Niebauer, J. (2016). A comparison between alpine skiing, cross-country skiing and indoor cycling on cardiorespiratory and metabolic response. *J Sports Sci Med*, *15*(1), 184-195.

Wasserman, K. (2012). *Principles of Exercise Testing and Interpretation: Including Pathophysiology and Clinical Applications*. Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.

Winter, E. M., Jones, A. M., Davison, R. C. R., Bromley, P. D. et Mercer, T. H. (2007). Sport and Exercise Physiology Testing: Volume one: Sport TestingVolume two: Exercise and Clinical Testing. *The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide*, *1*(1), 374.