

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PROFIL ATHLÉTIQUE DE SKIEURS ALPINS ÉLITES :  
UNE APPROCHE MÉTA-ANALYTIQUE

DOCUMENT PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA  
MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR

PIERRE-MARC FERLAND

JUILLET 2018

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

Merci à Alain-Steve Comtois de m'avoir guidé dans ce projet. Merci à Kelsey Needham-Dancause de m'avoir enseigné les méthodes de recherche. Merci au bibliothécaire Jean-Jacques Rondeau de m'avoir assisté dans ma revue systématique. Merci à Jill Vandermeerschen pour son analyse statistique. Merci à Gisèle Legault de m'avoir partagé ses connaissances en traitement de texte. Merci à mes parents de m'avoir tant pardonné et d'avoir accepté que je revienne habiter à la maison familiale le temps que je termine mon Mémoire.

## DÉDICACE

À mes parents et amis,  
ainsi qu'à toutes les personnes qui ont supporté  
mon cheminement personnel et scolaire  
depuis ma naissance jusqu'à aujourd'hui.  
Ce mémoire est l'œuvre de 30 ans d'apprentissage.

## AVANT-PROPOS

Le présent document est le fruit de 3 ans de recherche, de 14 ans d'entraînement, de 23 ans d'études, de 27 ans de ski alpin et de toute une vie remplie de curiosité. C'est aussi le mémoire d'un jeune qui a trop longtemps gaspillé son potentiel, et qui, lorsqu'il l'a réalisé, a essayé de rattraper l'irratrapable : le temps. Le mémoire d'un homme qui aurait voulu dire à ce jeune : «Ne laisse pas ce que les autres pensent de toi devenir qui tu es. Seul toi sais de quoi tu es vraiment capable. Répète après moi. Je ne suis pas mon classement, je ne suis pas mes médailles, je ne suis pas mes bulletins, je ne suis pas mes diplômes, je ne suis pas mes pêchés, je ne suis pas les jugements que vous avez portés sur ceux-ci et toutes les condamnations que vous m'avez faites, publiques ou secrètes dans votre tête en me regardant avec vos yeux sévères. Je suis la lumière au bout du tunnel. Je suis l'espoir dans mes yeux qui brillent et dans mon sourire en coin qui te laisse savoir que je peux en faire encore plus. Je suis la jeunesse et la sagesse en même temps, parce que cette vie m'a fait grandir trop vite. Je suis le cri de la victoire. Je suis la confiance, la fougue et l'intelligence. Je suis un champion à ma façon, parce que MA vérité, est à l'intérieur de MOI.»

Peu importe ce qui vous arrive, souvenez-vous d'une chose: *le positivisme sera toujours là pour vous guider vers votre plein potentiel.*

En espérant qu'un jour, ce mémoire bénéficie quelqu'un d'autre que moi-même, je vous souhaite : bonne lecture!

## TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS .....	iv
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES.....	xiv
LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS .....	xvi
RÉSUMÉ .....	xviii
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	1
CHAPITRE I	
PROBLÉMATIQUE .....	3
1.1 Introduction spécifique .....	3
1.2 Objet de la recherche .....	3
1.2.1 Objectifs de recherche :.....	3
1.3 Question de <b>recherche</b> .....	4
1.4 Énoncé du problème .....	4
1.5 Hypothèse .....	4
1.6 Limites .....	5
1.7 Importance .....	5
1.8 Connaissances <b>spécifiques</b> .....	6
1.8.1 Les épreuves.....	6
1.8.2 Le classement .....	7
1.9 Définitions .....	7
1.9.1 Niveaux de skieurs .....	7
1.9.2 Qualités <b>physiques</b> .....	8

CHAPITRE II	
REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	9
2.1 La composition corporelle .....	9
2.2 La puissance des membres inférieurs .....	19
2.3 Le test de Wingate .....	25
2.4 L'agilité.....	25
2.5 Le Box Jump 90.....	26
2.6 La force des membres inférieurs.....	28
2.7 La force des membres supérieurs .....	32
2.8 Les capacités aérobies.....	33
2.9 Les demandes énergétiques .....	39
2.10 Le maintien des capacités au cours d'une saison.....	42
2.11 La composition des fibres musculaires.....	44
2.12 La flexibilité.....	45
2.13 Facteurs physiologiques associés avec la performance.....	46
CHAPITRE III	
MÉTHODOLOGIE.....	48
3.1 Stratégies de recherche .....	48
3.1.1 Recherche Manuelle.....	48
3.1.2 Recherche manuelle .....	49
3.2 Critères d'inclusion et d'exclusion .....	50
3.2.1 Duplicata .....	50
3.2.2 Titre .....	50
3.2.3 Résumé .....	50
3.2.4 Texte.....	50
3.2.5 Critères spécifiques aux données du profil athlétique.....	51
3.2.6 Critères spécifiques à la méta-analyse .....	51
3.3 Extraction et Classification des données .....	52
3.3.1 Extraction et Classification des données pour le profil athlétique.....	52
3.3.2 Extraction et Classification des données pour la méta-analyse.....	52

3.4	Quantification et <b>analyses</b> .....	53
3.4.1	Profil physiologique .....	53
3.4.2	Méta-analyse .....	54
3.4.3	Mesures de performance .....	55
3.4.4	Combinaison des mesures pour un même facteur .....	56

#### CHAPITRE IV

##### ATHLETIC PROFILE OF ALPINE SKI RACERS : A SYSTEMATIC REVIEW

4.1	<b>Abstract</b> .....	58
4.2	<b>Introduction</b> .....	59
4.3	<b>Methods</b> .....	60
4.3.1	Data Sources and Search Strategy.....	60
4.3.2	Inclusion and Exclusion Criteria .....	61
4.3.3	Data Extraction and <b>Classification</b> .....	63
4.3.4	Classification of Skier Level.....	63
4.3.5	Result Table Methodology .....	63
4.4	<b>Results</b> .....	67
4.4.1	Search Results .....	67
4.4.2	Result Tables .....	70
4.5	<b>Discussion</b> .....	74
4.5.1	Observational <b>Results</b> .....	74
4.5.2	Anthropometry .....	75
4.5.3	Lower Body Power.....	75
4.5.4	Wingate (muscle endurance power).....	77
4.5.5	Aerobic Capacity and Other Tests .....	78
4.6	<b>Practical applications</b> .....	79
4.7	<b>Limits</b> .....	79
4.8	<b>Conclusion</b> .....	80
4.9	<b>Acknowledgements</b> .....	80

#### CHAPITRE V

##### RÉSULTATS DE LA META-ANALYSE .....

5.1	Résultats de la revue systématique .....	82
-----	--	----

5.2	Résultats de la méta-analyse.....	84
5.2.1	L'âge.....	84
5.2.2	La grandeur .....	87
5.2.3	Le poids .....	88
5.2.4	L'IMC.....	90
5.2.5	Le pourcentage de <b>gras</b> .....	91
5.2.6	La masse <b>maigre</b> .....	94
5.2.7	La puissance des membres <b>inférieurs</b> .....	96
5.2.8	Les facteurs <b>non-jumelés</b> .....	98
CHAPITRE VI		
	DISCUSSION .....	99
6.1	Résultats de la recherche .....	99
6.2	Facteurs <b>physiologiques</b> .....	100
6.2.1	L'âge.....	100
6.2.2	La grandeur .....	101
6.2.3	Le poids .....	102
6.2.4	L'IMC.....	102
6.2.5	Le pourcentage de <b>gras</b> .....	103
6.2.6	La masse <b>maigre</b> .....	103
6.2.7	La puissance des membres <b>inférieurs</b> .....	104
6.2.8	Les facteurs <b>non-jumelés</b> .....	104
6.3	Limites .....	105
CHAPITRE VII		
	CONCLUSION .....	106
ANNEXE A		
	TABLEAUX ORIGINAUX DE LA REVUE SYSTÉMATIQUE.....	107
	RÉFÉRENCES.....	116

## LISTE DES FIGURES

Figure		Page
2.1	Relation entre l'endurance isokinétique de l'extension du genou à 180°/s et la performance en slalom chez les skieurs alpins membre de l'équipe nationale américaine .....	29
4.1	Flow diagram of the search strategy and article selection process .....	69
5.1	Diagramme flow du procédé de sélection des publications pour la méta-analyse et la revue systématique .....	83
5.2	Taille de l'effet de l'âge sur la performance .....	86
5.3	de l'effet du poids sur la performance .....	89
5.4	Taille de l'effet du pourcentage de gras sur la performance .....	93
5.5	Taille de l'effet de la masse maigre sur la performance .....	95
5.6	Taille de l'effet de la puissance des membres inférieurs sur la performance .....	97

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1.1	Détails des épreuves en ski alpin .....	6
2.1	Caractéristiques physiques de skieurs de différentes disciplines membres d'équipes nationales <b>américaines</b> .....	10
2.2	IMC de skieurs de différentes disciplines membres d'équipes nationales américaines .....	11
2.3	Caractéristiques de skieurs canadiens hommes de différents niveaux .....	12
2.4	IMC des skieurs hommes canadiens de différents niveaux .....	12
2.5	Caractéristiques skieurs alpins américains de différents niveaux.....	13
2.6	Composition corporelle de skieurs alpins américains de différents niveaux .	14
2.7	IMC de skieurs alpins américains de différents niveaux .....	15
2.8	Composition corporelle des skieurs alpins hommes membres de l'équipe nationale autrichienne lors de la saison 99-00 .....	16
2.9	Compilation des performances des skieurs alpins membres de l'équipe nationale autrichienne lors de la saison 1999-2000 .....	16
2.10	Valeurs anthropométriques du <i>Swiss-Ski Power test</i> .....	17
2.11	Comparaison des valeurs anthropométriques de 2004 et 2011 du <i>Swiss-Ski Power test</i> .....	18
2.12	Comparaison des valeurs anthropométriques du <i>Swiss-Ski Power test</i> des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés sur les équipes nationales .....	18
2.13	IMC calculés à partir des données du <i>Swiss-Ski Power Test</i> .....	19
2.14	Puissance des jambes des skieurs membres d'équipes nationales américaines de différentes disciplines .....	20
2.15	Puissance des jambes par kg de poids corporel chez des skieurs membres d'équipes nationales américaines de différentes disciplines.....	20

2.16	Résultats au test de saut vertical des skieurs canadiens hommes et femmes de différents niveaux.....	21
2.17	Résultats aux tests de puissance anaérobie de skieurs alpins américains de différents niveaux .....	23
2.18	Comparaison des résultats aux tests de puissance des jambes du Swiss-Ski Power test des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés sur des équipes nationales .....	24
2.19	Comparaison des résultats aux tests d'agilité du <i>Swiss-Ski Power test</i> des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés .....	25
2.20	Résultats aux tests BJ90 et tapis roulant anaérobie des skieurs canadiens hommes de différents niveaux .....	27
2.21	Résultats au test de la boîte (BJ90).....	27
2.22	Force isométrique et endurance de skieurs alpins membres d'équipes nationales américaines .....	28
2.23	Force et endurance isokinétique des jambes des skieurs canadiens hommes membres de différents niveaux .....	31
2.24	Résultats des tests de force des membres inférieurs en flexion et en extension chez des skieurs alpins membres de l'équipe nationale autrichienne.....	32
2.25	Comparaison des résultats au test de push-ups du <i>Swiss-Ski Power test</i> des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés sur les équipes nationales .....	33
2.26	Capacités aérobies de skieurs américains membres d'équipes nationales de différentes disciplines .....	34
2.27	Puissance aérobie, concentration en lactate sanguin et résultat à la course de 2 miles chez des skieurs canadiens hommes de différents niveaux .....	35
2.28	Puissance aérobie de skieurs alpins américains de différents niveaux .....	36
2.29	Résultats des différents tests maximaux effectués chez des skieurs alpins membres de l'équipe nationale autrichienne .....	37
2.30	Comparaison des résultats au test Cooper du <i>Swiss-Ski Power test</i> des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés sur des équipes nationales .....	38
2.31	VO <sub>2</sub> max mesurées en laboratoire .....	38

2.32	VO <sub>2</sub> max mesuré en ski alpin .....	38
2.33	Sources énergétiques en ski alpin .....	42
2.34	Évolution de différents paramètres physiologiques au cours d'une saison chez des skieurs de niveau international de différentes disciplines.....	43
2.35	Évolution des résultats au test de Saut Squat (SJ) et de Sauts répétés au cours d'une saison de ski chez 12 skieurs de niveau international .....	43
2.36	Composition des fibres musculaires .....	44
2.37	Flexibilité des skieurs canadiens hommes de différents niveaux .....	45
2.38	Facteurs physiologiques associés avec le succès en ski alpin.....	46
3.1	Exemple du fichier Excel de classification des données de la revue systématique.....	52
3.2	Exemple du fichier Excel de classification des données de la méta-analyse.	53
3.3	Exemple : Données anthropométriques de skieurs alpins hommes.....	54
4.1	Anthropometry of male alpine ski racers.....	70
4.2	Lower body power of male alpine ski racers .....	71
4.3	Wingate results of male alpine ski racers .....	71
4.4	Aerobic capacity and Other tests results of male alpine ski racers.....	72
4.5	Anthropometry of female alpine ski racers.....	72
4.6	Lower body power of female alpine ski racers .....	73
4.7	Wingate results of female alpine ski racers .....	73
4.8	Aerobic capacity and Other tests results of female alpine ski racers.....	74
5.1	Corrélations de l'âge avec la performance.....	85
5.2	Corrélations de la grandeur avec la performance .....	87
5.3	Corrélations du poids avec la performance.....	88
5.4	Corrélations de l'IMC avec la performance.....	90
5.5	Corrélations du pourcentage de gras avec la performance .....	91

5.6	Corrélations de la masse maigre avec la performance.....	94
5.7	Corrélations de la puissance des membres inférieurs avec la performance...	96
5.8	Corrélations des facteurs non-jumelés avec la performance.....	98
A.1	Anthropometry of male alpine ski racers.....	108
A.2	Lower body power of male alpine ski racers .....	109
A.3	Wingate results of male alpine ski racers .....	110
A.4	Aerobic capacity and Other tests results of male alpine ski racers.....	111
A.5	Anthropometry of female alpine ski racers.....	112
A.6	Lower body power of female alpine ski racers.....	113
A.7	Wingate results of female alpine ski racers .....	114
A.8	Aerobic capacity and Other tests results of female alpine ski racers.....	115

## LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

### Abréviations:

#### **Disciplines**

SL: Slalom

GS: Slalom Géant (*Giant Slalom*)

SG: Super G/Super Géant

DH: Descente (*Downhill*)

#### **Pays**

AT : Autriche

DE : Allemagne

ES : Espagne

Slo : Slovénie

US : États-Unis d'Amérique

#### **Autres informations**

FIS : Fédération Internationale de Ski

Comb : Combiné SL et DH

Pts : Points

Coupe M : Coupe du Monde

### Abréviations anglophones :

#### **Levels**

Int: International

Nat: National

Reg: Regional

M<sub>INT</sub>: Male International

M<sub>NAT</sub>: Male National

M<sub>REG</sub>: Male Regional

F<sub>INT</sub>: Female International

F<sub>NAT</sub>: Female National

F<sub>REG</sub>: Female Regional

**Tests**

BMI: Body Mass Index

BW: Body Weight

LBW: Lean Body Weight

BF%: Body Fat Percentage

Thigh: Thigh Circumference

SJ: Squat Jump

CMJ: Countermovement Jump

BroadJ: Broad Jump

5BroadJ: Five Broad Jump

BJ90: 90 seconds Box Jump test

Win: Wingate

Avg: Average.

VO<sub>2</sub> Tread: VO<sub>2</sub>max test on Treadmill

VO<sub>2</sub>R Tread: Relative VO<sub>2</sub>max test on Treadmill

VO<sub>2</sub> Ergo: VO<sub>2</sub>max test on bicycle Ergometer

VO<sub>2</sub>R Ergo: Relative VO<sub>2</sub>max test on bicycle Ergometer

Hex Test: Hexagon Test

Sit n Reach: Sit and reach test

**Other informations**

FP: Force Plates

CM: Contact Mats

NH: No Hands

Min: Minimum

Max: Maximum

Pub: Publications

Yr: Years

## LISTE DES SYMBOLES ET DES UNITÉS

% : pourcentage

$\bar{x}$ : *combined mean*, moyenne combinée

SD : *Standard Deviation*, écart type

*n*: *number of skiers*, nombre de skieurs

*yrs* : *years of publication*, années de publication

mm : millimètres

cm : centimètres

m : mètres

lbs : livres

g : grammes

kg : kilogrammes

ml : millilitres

l : litres

s : secondes

min : minutes

W : Watts

J : Joules

Nm : Newton mètres

b : *beats*, battements

HRmax : *Heart Rate max*, rythme cardiaque maximal

VO<sub>2</sub> max : volume d'oxygène maximum

VEmax : volume d'éjection maximal

BTPS : *Body Temperature and Pressure Saturated*, pression et circulation des poumons ajustée à la pression du niveau de la mer, température corporelle et vapeur d'eau

STPD : *Standart Temperature and Pressure Dry*, température ambiante, pression et vapeur

## RÉSUMÉ

L'objectif de cette recherche était d'effectuer une revue systématique des différents tests effectués sur des coureurs alpins afin de bâtir un profil athlétique spécifique à leur sexe (homme/femme) et à leur niveau (international/national/régional) tout en déterminant quels paramètres physiologiques ont une incidence sur leur performance à l'aide d'une méta-analyse. Les 4 bases de données incontournables en sciences de l'activité physique mises en disposition par le service de bibliothèque de l'UQAM, soit PubMed, SCOPUS, SPORTDiscus et ERIC (ProQuest), ont fait l'issue d'une recherche systématique inspirée du modèle PRISMA avec les mots clés : *alpine skiing physiology* en novembre 2016. Des recherches manuelles ont aussi été effectuées à partir de la liste de référence de tous les articles retenus, dans la collection personnelle de l'auteur et dans les rapports de colloques scientifiques des *International Congresses on Science and Skiing*. Le profil athlétique des skieurs alpins ainsi que la revue des différents tests qui ont été employés au fil des ans pour les évaluer sont présentés sous forme de revue systématique au chapitre 4 de ce mémoire. Le profil athlétique des skieurs de niveau international, national et régional est présenté sur 8 tableaux (4 par sexe) qui portent sur les thématiques suivantes : anthropométrie, puissance des membres inférieurs, Wingate et capacité aérobie. Ces tableaux compilent des données provenant de 28 publications évaluées par des pairs, soit : 18 articles scientifiques issus de la recherche systématique, 2 articles scientifiques issus de la recherche manuelle et 8 publications scientifiques issues des actes des congrès *Science and Skiing*. Ces données ont été recueillies sur un total de 1107 skieurs issus de 11 pays différents et participant à au moins une des disciplines suivantes: Slalom (SL), Slalom Géant (GS), Slalom Super Géant (SG), Descente (DH) ou Ski Cross. Les 8 tableaux dévoilent les caractéristiques suivantes: âge, grandeur, poids, indice de masse corporelle (IMC), pourcentage de gras (BF%), masse maigre (LBW), circonférence de la cuisse, saut en hauteur sans élan (SJ), saut en hauteur avec élan (CMJ), saut en longueur, cinq sauts en longueur consécutifs, test de la boîte de 90 secondes, Wingate 30-60-90 (s), puissance aérobie (VO<sub>2</sub>max), test de l'hexagone, push-up et flexion du tronc. Les résultats des tableaux démontrent que les skieurs alpins hommes présentent généralement des résultats plus élevés que les skieurs alpins femmes et que les skieurs alpins de niveau plus élevé présentent généralement des résultats plus élevés que les skieurs alpins de niveau plus faible. Les résultats de la méta-analyse, présentés uniquement dans le chapitre 5 de ce mémoire, exposent, tant qu'à eux, des corrélations mettant en relation 7 facteurs physiologiques avec la performance en ski alpin, soit : l'âge, la puissance des jambes, le pourcentage

de gras, la masse maigre le poids, la grandeur et l'IMC. Les corrélations recueillies sur chacun des facteurs sont compilées dans des tableaux et proviennent des 6 publications retenues pour la méta-analyse: 3 retenues suite à la recherche systématique et 3 retenues suite à la recherche manuelle. De ces 7 facteurs, 5 ont eu droit à des calculs de méta-analyse afin de combiner la taille de leur effet sur la performance en ski alpin. Voici donc l'effet de chacun de ces facteurs: l'âge -0,52 [95% IC : -0,73; -0,31] ( $p < 0,0001$ ), le poids -0,57 [95% IC : -0,78; -0,36] ( $p < 0,0001$ ), le pourcentage de gras -0,25 [95% IC : -0,43; -0,07] ( $p = 0,0055$ ), la masse maigre 0,25 [95% IC : -0,62; 1,11] ( $p = 0,5779$ ) et la puissance des membres inférieurs 0,8 [95% IC : 0,44; 1,17] ( $p < 0,0001$ ). Outre la présentation du profil athlétique et la méta-analyse, la revue systématique nous a permis de réaliser que les résultats des futures études devraient être présentés sous-forme de moyennes appartenant à des groupes homogènes, que les auteurs devraient porter une attention particulière à leur interprétation des résultats, inclure plus de détails quant aux protocoles de tests utilisés et que plus d'études devraient être effectuées sur des skieurs de haut niveau et sur des skieurs femmes. Ces mesures devraient permettre de supporter de futures recherches théoriques. Le présent travail devrait pouvoir guider les futurs intervenants en ski alpin dans leur sélection de tests, dans la fixation d'objectifs et dans la détermination des facteurs de performance.

**MOTS CLÉS :** ski alpin, préparation physique, physiologie, athlète, sport, tests physiques

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'invention du ski date de plusieurs milliers d'années; cependant, les historiens n'ont toujours pas déterminé à quelle époque le ski a réellement été inventé. Une pierre gravée montrant un homme chassant sur des skis a été découverte en Russie en 1930 et serait estimée à plus de 6000 ans d'ancienneté, alors que les plus vieux vestiges de skis découverts proviennent de Suède, et datent de 3200 av. J.-C. Les spécialistes ne sont aussi pas unanimes sur l'endroit où le sport a été inventé. Certains stipulent que le ski a été inventé en Asie centrale, alors que d'autres, en Sibérie. On rapporte que les premières utilisations de skis par l'armée firent leur apparition en Norvège au 12<sup>e</sup> siècle et que cette utilisation a été presque dissoute au 19<sup>e</sup> siècle alors que la Suède et la Norvège ont mis fin à leurs unités combattantes à ski. (Bompard, 2007)

C'est au milieu du 19<sup>e</sup> siècle que le ski se transforme. Il devient alors plus qu'un moyen de transport, en devenant aussi une activité de loisir. On rapporte que le ski alpin était l'un des passe-temps favoris des mineurs à l'époque de la ruée vers l'or. En 1861, un mineur dénommé Tommy Todd aurait été chronométré à plus de 140 km/h lorsqu'il dévalait Sugar Loaf Mountain en Californie. Au Canada, l'introduction du ski se serait faite à l'Université Mc Gill en 1881 par un groupe de pratiquants équipés de longs skis provenant de Finlande. On rapporte que les skis de l'époque pouvaient mesurer de 3 à 4 mètres de long. (Bompard, 2007)

La Fédération internationale de ski, une organisation bien connue aujourd'hui, fut quant à elle fondée en 1924. C'est le mercredi 26 février 1930 à l'hôtel de Bristol à Oslo, que la FIS a décidé d'intégrer les épreuves de compétition de descente et de slalom. Aujourd'hui, c'est encore elle qui régit les compétitions à l'échelle mondiale.

(Bompard, 2007) Les différentes disciplines du ski alpin régies par la FIS à ce jour sont : le ski de fond, le saut à ski, le combiné nordique, le ski alpin, le ski Freestyle, le snowboard, le ski de vitesse, le ski sur gazon et le Télémaque. Parmi ces disciplines, celle que nous allons étudier dans ce mémoire est celle du ski alpin. ([www.fis-ski.com](http://www.fis-ski.com))

## CHAPITRE I

### PROBLÉMATIQUE

#### 1.1 Introduction spécifique

Comme mentionné précédemment dans l'introduction générale, l'évolution du ski alpin se manifeste depuis plusieurs milliers d'années et de ce fait même, la science de ce sport ne cesse de progresser. L'objectif de ce mémoire est de passer en revue les différents tests qui ont été administrés chez des coureurs de ski alpin au fil des ans afin de bâtir un profil athlétique spécifique à leur sexe et à leur niveau et de cibler les différents paramètres reliés à la performance de ce sport.

Les chapitres de ce travail de recherche présenteront : la problématique, la revue de la littérature, la méthodologie, les résultats, la discussion et la conclusion.

#### 1.2 Objet de la recherche

L'objectif de cette recherche est d'effectuer une recension systématique des différents paramètres physiologiques mesurés sur des coureurs alpins afin de leurs bâtir un profil athlétique spécifique à leur sexe et leur niveau et de déterminer quels de ces paramètres ont une incidence sur la performance à l'aide d'une méta-analyse.

##### 1.2.1 Objectifs de recherche :

- Réaliser une revue systématique pour recenser les écrits scientifiques portant sur les aspects physiologiques du ski alpin de compétition.
- Passer en revue les différents tests physiques effectués sur des coureurs alpins.

- Compiler les résultats des différents tests effectués sur des coureurs alpins afin de définir le profil athlétique de ceux-ci selon leur sexe et leur niveau.
- Classifier les différents paramètres physiologiques mis en relation avec la performance dans des tableaux de méta-analyse pour ensuite calculer la taille de leur effet sur celle-ci.

### 1.3 Question de recherche

Quel est le profil athlétique d'un coureur alpin élite selon son sexe et son niveau et quelle est l'incidence de différents paramètres sur sa performance?

### 1.4 Énoncé du problème

La science du ski alpin a évolué au cours des années et différentes méthodes ont été utilisées afin de définir le profil athlétique de skieurs alpins et de déterminer les facteurs de performance de ce sport. Ce projet a pour objectif de faire la compilation des données dispersées dans la littérature scientifique avec l'approche d'une revue systématique et d'une méta-analyse afin de regrouper l'information, de la classier et de l'analyser. Ce travail devrait permettre de mieux comprendre les déterminants physiologiques de la performance en ski alpin et de guider le travail des préparateurs physiques de ce sport en bâtissant un profil athlétique spécifique au sexe et au niveau des skieurs.

### 1.5 Hypothèse

L'hypothèse générale est qu'un profil athlétique spécifique au sexe et au niveau des skieurs sera établi et que des relations entre diverses variables physiologiques et la performance seront dévoilées.

## 1.6 Limites

Une première limite de cette étude est que même si tous les pays définissent leur équipe nationale d'élite, elles sont formées selon le bassin de skieurs disponibles et cela ne veut pas dire que ce sont des bons skieurs sur la scène internationale. (Turnbull *et al.*, 2009)

Une seconde limite de notre étude est que malgré le fait que plusieurs recherches ont tenté de déterminer quels sont les facteurs de performance en ski alpin, il n'y a pas un aspect en particulier qui permet de prédire le potentiel de succès des athlètes de ce sport. L'importance que prend les aspects techniques de cette activité fait que la variable la plus déterminante du développement d'un athlète est le temps passé en ski sur la neige (*time on snow*). (Turnbull *et al.*, 2009) C'est donc dire que même si nous tentons de déterminer quels facteurs physiologiques sont des déterminants de la performance, ces résultats ne nous permettront pas de prédire la performance des skieurs compte tenu des aspects techniques du sport.

## 1.7 Importance

La préparation physique fait partie intégrante de la planification annuelle des programmes de haut niveau en ski alpin et comme les plateaux d'entraînement de ce sport ne sont disponibles que 6 mois par année, elle prend beaucoup d'importance dans la planification annuelle. Celle-ci sert à augmenter les capacités des athlètes en saison morte, mais aussi à maintenir leur niveau d'activité physique élevé. Grâce aux résultats obtenus, les entraîneurs seront mieux orientés et plus spécifiques aux besoins de leurs athlètes afin qu'ils soient fin prêts pour la saison de compétition. Aussi, lors des périodes intenses de compétition, l'entraînement physique et technique devient limité, il est donc important que le peu d'entraînement effectué soit efficace et pertinent. (Turnbull *et al.*, 2009)

## 1.8 Connaissances spécifiques

### 1.8.1 Les épreuves

Il y a plusieurs évènements en ski alpin : le slalom, le slalom géant, le super-G, la descente et le skicross. Le temps de descente de ces évènements est de 45 secondes à 2.5 minutes. Le slalom étant l'évènement avec la durée la plus courte et la descente l'évènement avec la durée la plus longue. Il est important de mentionner que la durée d'un même type d'évènement varie d'une station à l'autre. Plusieurs de ces évènements se déroulent sur 2 manches. Généralement, l'horaire prévoit une manche le matin et une manche l'après-midi. Le classement détermine l'ordre de départ de la première manche, tandis que la position au départ de la deuxième manche est déterminée par le temps de la première. Le temps de ces 2 manches est additionné pour le résultat final. Un athlète ne pouvant pas compléter une des deux manches est automatiquement disqualifié. ([www.fis-ski.com](http://www.fis-ski.com); Turnbull et al., 2009)

Tableau 1.1 Détails des épreuves en ski alpin

	Temps de descente	Dénivelé (m)	Rayon (m)	Vitesses atteintes
Slalom	45-60sec	180-220	6-13	20-50 km/h
Slalom Géant	60-90sec	250-450	35	80 km/h
Super G	1-2 min	400-605	45	130 km/h
Descente	2-3min	800-1100	Aucun rayon standard*	145 km/h

\* Le parcours de descente doit être tracé en fonction des habilités suivantes : technique, courage, vitesse, risque, condition physique et prise de décision.

Ces informations viennent en partie de (Turnbull *et al.*, 2009) et du site de la fédération internationale de ski alpin : [www.fis-ski.com](http://www.fis-ski.com)

### 1.8.2 Le classement

Le classement des skieurs alpins est fait en fonction du nombre de points FIS (Points de la Fédération Internationale de Ski) qu'ils ont à leur actif. Plus les points d'un skieur sont faibles, plus il est bien classé. Il est très possible que plusieurs skieurs aient le même nombre de points. Un skieur alpin devrait posséder des points de classement dans chacune des disciplines auxquelles il participe. Les points d'une discipline n'affectent aucunement ceux des autres disciplines. Les points FIS déterminent aussi l'ordre de départ des compétitions. Les meilleurs skieurs s'exécutent généralement en premier, avec un tirage au sort par tranche de classement. L'ordre de départ est généralement considéré comme un avantage compétitif puisque les conditions de la piste s'altèrent au cours de l'évènement. Les positions de départ sont inversées lors de la deuxième manche alors que les skieurs avec le plus petit temps de descente s'exécutent en dernier. ([www.fis-ski.com](http://www.fis-ski.com))

## 1.9 Définitions

### 1.9.1 Niveaux de skieurs

**Provincial/régional** : Skieur participant à des compétitions de niveau régional/provincial. Généralement membre d'une équipe locale. Le terme régional aux États-Unis est généralement employé pour désigner une région regroupant plusieurs États. Ce terme serait l'équivalent de celui de provincial au Canada.

**National** : Skieur participant à des compétitions de niveau national. Généralement membre d'une équipe provinciale.

**International** : Skieur participant à des compétitions de niveau international. Généralement membre d'une équipe nationale.

**Équipes A, B, C, etc :** Une équipe élite peut souvent regrouper plusieurs sous-équipes. La meilleure serait celle avec la lettre arrivant en premier dans l'alphabet.

### 1.9.2 Qualités physiques

**Force maximale absolue :** La plus grande charge soulevée en une répétition sans tenir compte du temps d'exécution ou du poids de l'individu. (Pronovost, 2013)

**Force relative absolue :** Le poids de la plus grande charge soulevée divisée par le poids de l'individu, habituellement exprimé sous forme de ratio. Par exemple, un individu qui effectue un squat de 200 livres pour une répétition maximale et ayant un poids corporel de 150 livres aurait effectué un squat de 1,33 fois son poids. (Pronovost, 2013)

**Puissance :** La puissance prend compte de la force déployée, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est déployée. La force (en kg) multipliée par la vitesse (m/s) nous donne un résultat exprimé en watts (W). (Pronovost, 2013)

**Agilité :** Mesure l'efficacité d'un déplacement. Peut impliquer le déplacement d'un individu en entier ou de segments de celui-ci. Les facteurs qui peuvent influencer l'agilité sont les suivants : la force, la vitesse, la puissance, la coordination, l'équilibre dynamique, la stabilité articulaire, l'efficacité motrice, le bagage moteur, etc. Cette mesure est généralement exprimée de manière temporelle (minutes ou secondes). Le temps employé par l'individu pour effectuer la combinaison de déplacements nécessaires dans un parcours sera la mesure de performance de son agilité. Généralement, pour un parcours uniformisé, plus le temps de parcours est faible, meilleure est l'agilité. (Pronovost, 2013)

## CHAPITRE II

### REVUE DE LA LITTÉRATURE

#### 2.1 La composition corporelle

Une première étude effectuée en 1980 par Haymes et Dickinson a comparé la composition corporelle de 54 skieurs membres des équipes nationales américaines A et B de différentes disciplines afin de faire ressortir les caractéristiques physiques des différents types de skieurs (voir Tableau 2.1). Les sujets furent divisés en trois catégories; soit les skieurs alpins, les skieurs de fond et les skieurs du combiné nordique. Le pourcentage de gras de chacun a été calculé avec une méthode à 2 plis cutanés. Les plis ont été mesurés au triceps et au suprailiac chez les femmes, tandis qu'ils ont été mesurés au triceps et à la poitrine chez les hommes. Les chercheurs ont pu observer qu'il n'y avait pas de différence significative pour le pourcentage de gras chez les skieurs des différentes disciplines mais de même sexe. À l'exception des femmes de ski de fond qui avaient un pourcentage de gras significativement plus bas que les femmes de ski alpin.

Dans cette étude (Haymes et Dickinson, 1980), la composition corporelle des skieurs alpins semblait être reliée avec la performance de ceux-ci puisque les points FIS en descente étaient fortement corrélés négativement avec le pourcentage de gras ( $r = -0.67$  chez les hommes /  $r = -0,74$  chez les femmes). Ces résultats indiquent que plus les skieurs de descente avaient un pourcentage de gras élevé, plus leurs points FIS étaient faibles, donc meilleurs ils étaient. Toutefois, les points FIS chez les skieurs de slalom hommes (H) ont présenté de fortes corrélations positives avec le pourcentage de gras,

le poids et la masse maigre (0,78; 0,76 et 0,64, respectivement). Ce qui indique que plus les skieurs sont légers, mais ils sont musclés ou moins ils sont gras, meilleurs ils sont en slalom. Avec les résultats de cette étude, on pourrait penser que les athlètes avec un pourcentage de gras plus faible performant mieux en slalom et que les athlètes avec un pourcentage de gras plus élevé performant mieux en descente. (Haymes et Dickinson, 1980)

Tableau 2.1 Caractéristiques physiques de skieurs de différentes disciplines membres d'équipes nationales américaines (adapté de Haymes et Dickinson, 1980)

TABLE 1. Physical characteristics of ski racers.

	Alpine Women N=13	Alpine Men N=12	Cross-Country Women N=10	Cross-Country Men N=10	Nordic Combined N=9
Age (yr)	19.5 ± 1.6	21.8 ± 2.0	20.2 ± 3.9	22.7 ± 2.4	21.7 ± 3.9
Height (cm)	165.1 ± 4.5	177.8 ± 4.1	163.4 ± 5.9	176.2 ± 4.3	181.7 ± 10.1
Weight (kg)	58.8 ± 4.6	75.5 ± 4.9	55.9 ± 3.5	73.2 ± 6.1	70.4 ± 8.2
LBW (kg)	46.6 ± 1.9	67.7 ± 3.7	45.6 ± 3.1	67.7 ± 7.2	64.1 ± 8.3
Fat (%)	20.6 ± 3.7	10.7 ± 1.5	15.7 ± 2.8	7.9 ± 1.5	8.9 ± 1.8

\*Significant,  $p < .01$   
Values represent mean ± standard deviation

Le Tableau 2.2 présente l'indice de masse corporelle (IMC) des skieurs de différentes disciplines calculé à partir des données de l'article de Haymes et Dickinson (1980). Même si ces résultats sont non-significatif, faute des valeurs P non-incluses dans l'article et donc manquantes dans nos résultats, on peut y observer que les skieurs alpins ont un IMC plus élevé que les skieurs de fond chez les deux sexes. On peut penser qu'un IMC plus élevé en ski alpin peut être un avantage puisqu'il permet au skieur d'être plus lourd pour une même grandeur et donc d'avoir une meilleure accélération dans un terrain en pente; alors qu'un IMC plus élevé en ski de fond peut être un désavantage, puisque le skieur devra trainer son poids supplémentaire tout au long de la course.

Tableau 2.2 IMC de skieurs de différentes disciplines membres d'équipes nationales américaines (à partir des données de Haymes et Dickinson, 1980)

Alpine Women	Alpine Men	Cross-Country Women	Cross-Country Men	Nordic Combined
21,57	23,88	20,94	23,52	21,32

IMC= kg/m<sup>2</sup>

Une seconde étude, publiée par Brown et Wilkinson (1983), a comparé les caractéristiques de 42 skieurs alpins hommes classés selon leur différents niveau qui étaient soit membres de l'équipe nationale canadienne, membre de l'équipe provinciale de la Colombie-Britannique ou membre d'une de trois équipes régionales basées dans la région de Vancouver de faire ressortir ce qui différencie (voir Tableau 2.3). Les mesures de composition corporelle présentées dans cette étude sont la grandeur, le poids des skieurs ainsi la somme de six plis cutanés (triceps, subscapulaire, suprailiac, abdomen, cuisse et mollet). Les auteurs ont pu constater que les skieurs membres de l'équipe nationale étaient plus lourds (poids) que ceux des 2 autres groupes; ce qui pourrait être expliqué par le fait que les skieurs de l'équipe nationale devraient avoir une plus grande masse maigre dut à leur âge plus avancé et la qualité de leurs programmes d'entraînements en force (muscultation). Les auteurs mentionnent aussi qu'une plus grande masse maigre peut contribuer à une plus grande force et à une plus grande puissance des jambes; des facteurs physiologiques que nous aborderons plus loin dans ce chapitre. Les différences entre les sommes des plis cutanés étaient statistiquement non-significatives, par contre cette étude mentionne que les plis cutanés mesurés chez ces skieurs alpins étaient comparables à ceux retrouvés chez des rameurs, des nageurs, des haltérophiles et des lutteurs. (Brown et Wilkinson, 1983)

Tableau 2.3 Caractéristiques de skieurs canadiens hommes de différents niveaux  
(adapté de Brown et Wilkinson, 1983)

**TABLE 1. Physical characteristics of male alpine ski racers.**

	National N=10	Divisional N=10	Club N=22
Age (yr)	21.9 ± 0.6*	18.6 ± 0.4*	17.1 ± 0.2
Height (cm)	178.5 ± 1.0	177.3 ± 1.5	175.8 ± 1.2
Weight (kg)	77.6 ± 1.3*	71.5 ± 5.3	69.8 ± 1.0
Sum of skinfolds (mm)	46.4 ± 3.5	42.7 ± 1.2	50.8 ± 2.2

Values are means ± SE.

\* Significant ( $P < 0.01$ ) difference from other groups.

Le Tableau 2.4 présente l'IMC des skieurs de différents niveaux calculé à partir des données fournies dans l'étude de Brown et Wilkinson (1983). Dans ce tableau, qui présente aussi des résultats non-significatifs puisqu'ils ont été calculés à partir des données des auteurs et que les valeurs P n'ont pas pu être calculées, on peut y observer que les skieurs de l'équipe nationale ont un IMC plus élevé que les skieurs de l'équipe provinciale et des équipes régionales. Ce qui peut aussi être expliqué par leur âge plus avancé. (Brown et Wilkinson, 1983)

Tableau 2.4 IMC des skieurs hommes canadiens de différents niveaux  
(à partir des données de Brown et Wilkinson, 1983)

National	Divisional	Club
24,35	22,75	22,58

IMC= kg/m<sup>2</sup>

Une troisième étude, celle-ci effectuée par White et Johnson en 1991, a testé 61 skieurs alpins américains, soit 30 femmes et 31 hommes classés selon leur niveau

(international, national et régional). Les auteurs ont pu constater que les skieurs de niveau national et international étaient plus lourds (poids) et avaient significativement plus de masse maigre que ceux de niveau régional, et ce pour les 2 sexes (voir Tableau 2.6). Ils ont ajouté à cela que l'âge et la maturité de la croissance des skieurs en sont probablement la cause, puisque la moyenne d'âge des skieurs de niveau régional était plus basse. Les auteurs ont aussi pu observer que la masse maigre (mesuré par hydrodensitométrie) était positivement corrélée avec la puissance maximale et la puissance moyenne absolue au Wingate ( $r=0,8548$  et  $r=0,9542$ ); la puissance absolue au saut vertical ( $r=0,9498$ ) et la puissance moyenne absolue au test de saut répété ( $r=0,9064$ ). La masse maigre semble donc être un facteur de performance pouvant influencer les résultats des tests avec une composante de puissance. (White et Johnson, 1991)

Tableau 2.5 Caractéristiques skieurs alpins américains de différents niveaux  
(adapté de White et Johnson, 1991)

**Table 1 Subject Characteristics**

		MALES			FEMALES		
		INT	NAT	REG	INT	NAT	REG
		n=12	n=8	n=11	n=17	n=6	n=7
AGE	MEAN	21.5	21.6	18.1 <sup>ab</sup>	20.4	21.8	17.5 <sup>ab</sup>
(yrs)	SEM	0.55	0.57	0.66	0.56	0.49	.091
HEIGHT	MEAN	179	173	174	166	165	161
(cm)	SEM	0.72	1.84	1.60	0.97	1.80	1.97

<sup>a</sup> Significantly different from INT  $p < .05$ ;

<sup>b</sup> Significantly different from NAT  $p < .05$ .

Tableau 2.6 Composition corporelle de skieurs alpins américains de différents niveaux  
(adapté de White et Johnson, 1991)

**Table 2 Body Composition**

		MALES			FEMALES		
		INT n=12	NAT n=8	REG n=11	INT n=17	NAT n=6	REG n=7
BODY WT (kg)	MEAN	78.83	72.59	68.48 <sup>a</sup>	63.07	63.64	58.61
	SEM	1.51	1.57	2.75	1.20	0.91	2.57
FF WT (kg)	MEAN	73.96	67.78 <sup>a</sup>	62.59 <sup>a</sup>	54.68	53.06	46.16 <sup>a,b</sup>
	SEM	1.19	1.36	2.37	0.90	1.30	1.45
BODY FAT (%)	MEAN	6.08	6.53	9.28	13.14	16.62	20.96 <sup>a</sup>
	SEM	.092	1.57	1.26	1.08	1.82	1.51

<sup>a</sup> Significantly different from INT  $p < .05$ ;

<sup>b</sup> Significantly different from NAT  $p < .05$ .

Le Tableau 2.7 présente l'IMC des différents groupes d'athlètes que nous avons calculés à partir des données présentées dans l'article de White et Johnson (1991). On peut y observer que l'IMC des skieurs hommes de niveau international est plus élevé que celui des hommes de niveau national et que celui des hommes de niveau national est plus élevé que celui des hommes de niveau régional. Alors que chez les femmes il est plus élevé chez les skieuses de niveau international et national que celles de niveau régional. Il est important de rappeler que ces résultats sont non-significatifs puisque leurs valeurs P n'ont pas pu être calculées. (White et Johnson, 1991)

Tableau 2.7 IMC de skieurs alpins américains de différents niveaux  
(à partir des données de White et Johnson, 1991)

Males			Females		
INT	NAT	REG	INT	NAT	REG
24,6	24,25	22,62	22,89	23,38	22,61

IMC= kg/m<sup>2</sup>

Une quatrième étude, celle-ci publiée par Neumayr et al. en 2003, a analysé les facteurs physiologiques associés avec succès en ski alpin sur les skieurs de l'équipe nationale d'Autriche de l'époque. Les auteurs de cette étude n'ont pas obtenu de corrélation entre les valeurs anthropométriques de ces skieurs et la performance. Nous avons quand même décidé de présenter les valeurs anthropométriques (voir Tableau 2.8) de cette équipe tout en rappelant qu'elle fut la plus victorieuse de cette époque. À eux seuls, ils ont gagné 48% des événements de la coupe du monde entre 1997 et 2000, en plus de remporter 35% des médailles d'argent et 42% des médailles de bronze (voir Tableau 2.9). Les auteurs ont tout de même mentionné que les skieurs de cette étude avaient des corps musclés qui leurs permettaient d'avoir de bons leviers et un gabarit destiné aux activités de puissance. (Neumayr *et al.*, 2003)

Tableau 2.8 Composition corporelle des skieurs alpins hommes membres de l'équipe nationale autrichienne lors de la saison 99-00 (adapté de Neumayr et al., 2003)

Table 2 Anthropometrical characteristics of male elite skiers in the season 1999/2000

	Mean value	SD	Range
Age (y)	27.6	3.5	21–34
Height (m)	1.81	0.06	1.72–1.96
Body mass (kg)	87.0	7.1	72–103
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26.5	1.7	22.2–29.1
Percent body fat (%)	15.8	3.7	9.4–21.3
Thigh circumference (cm)	64.5	1.5	59–67

SD = standard deviation, BMI = body mass index

Tableau 2.9 Compilation des performances des skieurs alpins membres de l'équipe nationale autrichienne lors de la saison 1999-2000 (adapté de Neumayr et al., 2003)

Table 5 Racing performance in the World Cup (WC) of the Austria Ski Team from 1997 to 2000

season	1997/1998		1998/1999		1999/2000		1997–2000
gender	female	male	female	male	female	male	female+male
n° of races	33	37	36	35	40	40	221
<i>WC placements</i>							
1. place	2	25	20	19	14	26	106 (48%)
2. place	6	15	11	18	8	19	77 (35%)
3. place	6	19	9	21	15	25	95 (42%)
1.–3. places*	14/99	59/111	40/108	58/105	37/120	70/120	278/663
1.–3. places (%)	14	53	34	50	31	58	42

\*presented as number of achieved placements/total placements; n° = number

Une cinquième étude, publiée en 2014 par Gorski, Rosser et al., a récolté les données du «*Swiss-Ski Power test*» de la Fédération Suisse de Ski pour compiler les résultats de 8176 tests effectués entre 2004 et 2011 (incluant 1579 skieurs et 1109 skieuses). Les sujets étaient membres d'équipes régionales jusqu'à nationales, U12 à U 21. Les auteurs ont pu remarquer que les athlètes féminins de la catégorie U14 étaient de taille et de poids plus élevés que les athlètes masculins du même groupe d'âge (Tableau 2.10). Ce qu'ils ont expliqué par le fait que la puberté arrive plus tôt chez les filles que chez les garçons.

**Tableau 2.10 Valeurs anthropométriques du *Swiss-Ski Power test***  
(adapté de Gorski et al., 2014)

**Table 2 Results of all Tests Performed From 2004 to 2011 by Male and Female Alpine Skiers**  
(Mean ± SD)

Test	Age group	Male		Female	
		Mean ± SD	n	Mean ± SD	n
Height (cm)	U12	146.4 ± 6.5	428	145.9 ± 7.4	315
	U14*	154.9 ± 7.8 <sup>abcde</sup>	1571	156.2 ± 7.2 <sup>acde</sup>	1221
	U16*	167.2 ± 8.3 <sup>abde</sup>	1594	162.5 ± 6.1 <sup>abde</sup>	1075
	U18*	175.6 ± 6.0 <sup>abcde</sup>	871	165.4 ± 5.5 <sup>abc</sup>	434
	U21*	178.2 ± 6.1 <sup>abcd</sup>	363	165.4 ± 5.7 <sup>abc</sup>	226
Body mass (kg)	U12	36.9 ± 5.5	428	36.5 ± 6.0	314
	U14*	44.0 ± 7.6 <sup>acde</sup>	1564	45.1 ± 7.5 <sup>acde</sup>	1211
	U16*	56.8 ± 9.7 <sup>abde</sup>	1587	53.5 ± 7.2 <sup>abde</sup>	1066
	U18*	68.7 ± 8.2 <sup>abcde</sup>	873	59.7 ± 6.4 <sup>abcde</sup>	433
	U21*	75.6 ± 8.4 <sup>abcd</sup>	368	62.0 ± 6.6 <sup>abcd</sup>	228

Ils ont aussi pu observer que les skieurs de la catégorie d'âge U18 de 2011 étaient 7% plus lourds que ceux de 2004. Ce qu'ils ont expliqué par l'importance qu'ont pris les programmes de musculation au fil des années et que ces programmes accordent maintenant plus d'importance au haut du corps (voir Tableau 2.11). (Gorski, et al., 2014)

Tableau 2.11 Comparaison des valeurs anthropométriques de 2004 et 2011 du Swiss-Ski Power test  
(Adapté de Gorski et al., 2014)

Table 3 Development of Tests' Results From 2004 to 2011

Test	Age group	Male		Female	
		2004	2011	2004	2011
Height (cm)	U12	150 ± 6	147 ± 6	147 ± 1	145 ± 7
	U14	157 ± 7	155 ± 8*	157 ± 7	156 ± 8
	U16	167 ± 8	168 ± 7	163 ± 7	163 ± 6
	U18	174 ± 6	176 ± 6	165 ± 5	165 ± 5
	U21	178 ± 6	177 ± 6	165 ± 6	164 ± 5
Body mass (kg)	U12	39.7 ± 3.2	36.8 ± 5.2	32.5 ± 4.9	37.3 ± 6.1
	U14	45.6 ± 7.4	43.8 ± 8.1*	46.7 ± 7.4	45.2 ± 8.0
	U16	56.2 ± 8.9	57.0 ± 8.7	53.3 ± 7.8	52.9 ± 6.3
	U18	65.3 ± 7.4	69.8 ± 9.3*	58.7 ± 5.3	61.1 ± 6.3
	U21	76.1 ± 8.1	78.6 ± 7.6	61.8 ± 7.7	63.4 ± 5.1

Cette étude a aussi comparé les caractéristiques des athlètes qui ont été sélectionnés à un moment dans leur carrière dans les équipes nationales A, B et C (jusqu'à 2011) et ceux non sélectionnés (pour les catégories d'âges U16 U 18 et U21). Les athlètes féminines sélectionnées sur l'équipe nationale étaient plus grandes et plus lourdes que celles non sélectionnées (voir Tableau 2.12), alors que chez les hommes, les athlètes U21 sélectionnés étaient plus grands et plus lourds que ceux non sélectionnés les athlètes U16 sélectionnés étaient plus lourds que ceux non sélectionnés. (Gorski *et al.*, 2014)

Tableau 2.12 Comparaison des valeurs anthropométriques du Swiss-Ski Power test des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés sur les équipes nationales  
(Adapté de Gorski et al., 2014)

Table 4 Anthropometric and Physical Characteristics of Selected and Nonselected Athletes

Test	Age group	Male		Female	
		Selected	Nonselected	Selected	Nonselected
Height (cm)	U16	170 ± 6	167 ± 8	—	—
	U18	176 ± 5	176 ± 6	170 ± 3	165 ± 6*
	U21	180 ± 5	178 ± 6*	168 ± 7	165 ± 5*
Body mass (kg)	U16	61.6 ± 6.4	56.7 ± 9.7*	—	—
	U18	69.8 ± 6.9	68.6 ± 8.3	63.9 ± 5.2	59.5 ± 6.4*
	U21	77.6 ± 6.3	75.1 ± 8.7*	66.2 ± 7.0	61.2 ± 6.2*

Les résultats d'IMC présentés dans le tableau 2.13 ont été calculés à partir des données fournies dans l'article de Gorski et al. et les valeurs P n'ont pas été calculées. On peut quand même observer que l'IMC des athlètes sélectionnés est plus élevé que celui des athlètes non sélectionnés. (Gorski, et al., 2014)

Tableau 2.13 IMC calculés à partir des données du *Swiss-Ski Power Test* (Gorski, et al., 2014)

Age group	Male		Female	
	Selected	Non-Selected	Selected	Non-Selected
U16	21,31	20,33	---	---
U18	22.53	22.15	22.11	21.85
U21	23.95	23.7	23.46	22.47

IMC= kg/m<sup>2</sup>

## 2.2 La puissance des membres inférieurs

L'étude de Haymes et Dickinson de 1980 a mesuré la puissance des skieurs américains membres de l'équipe nationale, toutes disciplines confondues, avec le *Margaria-Kalamen stair run test* (voir Tableau 2.14). Dans ce test, le sujet effectue une course sur une distance de 6 mètres pour ensuite grimper dans un escalier en s'appuyant sur la 3<sup>e</sup>, la 6<sup>e</sup> et la 9<sup>e</sup> marche. Le temps entre la 3<sup>e</sup> et la 9<sup>e</sup> marche est chronométré au laser. On insère ensuite les différentes données recueillies dans la formule suivante :

$$\text{Puissance (W)} = (\text{Masse (kg)} \times \text{Distance (m)} \times 9.8) / \text{Temps}$$

Avec les résultats de ce test, les auteurs ont pu observer une corrélation positive entre la puissance des jambes (absolue) et les points FIS en slalom (0,64) et en slalom géant (0,80) chez les hommes. Les hommes ont aussi démontré une corrélation entre les

résultats au saut vertical et les points FIS en Slalom Géant (0,64). (Haymes et Dickinson, 1980)

Tableau 2.14 Puissance des jambes des skieurs membres d'équipes nationales américaines de différentes disciplines  
(Haymes et Dickinson, 1980)

CHARACTERISTICS OF ELITE SKI RACERS						155
TABLE 2. Aerobic capacities, strength, power and motor performance characteristics of ski racers.						
	Alpine Women N=13	Alpine Men N=12	Cross-Country Women N=10	Cross-Country Men N=10	Nordic Combined N=9	F
Power (W)	1131 ± 83	1791 ± 139	989 ± 109	1534 ± 120	1470 ± 261	52.45*
Adjusted for weight	1258 ± 138	1642 ± 156	1162 ± 154	1424 ± 132	1414 ± 121	10.93*
Adjusted for LBW	1357 ± 199	1600 ± 175	1202 ± 178	1356 ± 162	1359 ± 136	10.21*
Vertical Jump (J)	273 ± 31	459 ± 43	260 ± 32	401 ± 32	404 ± 58	55.64*
Adjusted for weight	293 ± 46	435 ± 48	288 ± 49	384 ± 42	395 ± 39	11.82*
Adjusted for LBW	310 ± 62	428 ± 55	295 ± 56	372 ± 51	386 ± 43	6.46*

Le tableau 2.15 présente la puissance développée au *Margarita-Kalamen stair run test* divisée par le poids corporel des individus. Ces données ont été calculées avec les résultats présentés dans l'article. Ces résultats similaires à ceux de puissance relative développée au saut vertical présentés par l'étude de White et Johnson de 1991 (Tableau 2.17) suggèrent que les deux tests pourraient se substituer lors d'une intervention.

Tableau 2.15 Puissance des jambes par kg de poids corporel chez des skieurs membres d'équipes nationales américaines de différentes disciplines  
(à partir des données de Haymes et Dickinson, 1980)

Alpine Women	Alpine Men	Cross-Country Women	Cross-Country Men	Nordic Combined
19,23	23,72	17,69	20,96	20,88

$$\text{Margarita stair run test result} / \text{Weight} = \text{Power/BW (W/kg)}$$

Dans l'étude de Brown et Wilkinson de 1983, on peut observer des différences significatives dans les résultats du test de saut vertical (puissance des jambes absolue)

entre les skieurs de certains niveaux (voir Tableau 2.16). L'instrumentation du saut vertical n'a toutefois pas été spécifiée. (Brown et Wilkinson, 1983)

Tableau 2.16 Résultats au test de saut vertical des skieurs canadiens hommes et femmes de différents niveaux  
(adapté de Brown et Wilkinson, 1983)

**TABLE 3. Muscular power and endurance of male alpine ski racers.**

	National N=10	Divisional N=10	Club N=22
Vertical jump (cm)	54.2 ± 1.2	52.2 ± 1.5	48.3 ± 0.8*
(J)	411 ± 20	374 ± 27*	329 ± 11*

L'étude de White et Johnson de 1991, a comparé les résultats de skieurs alpins américains de différents niveaux au test de saut vertical (voir Tableau 2.17). Les résultats de ce test montraient que les skieurs de niveau international et national développaient une plus grande puissance relative et absolue des jambes, que ceux de niveau régional chez les deux sexes, tandis que chez les hommes, ceux de niveau international développaient une plus grande puissance relative et absolue des jambes que ceux de niveau national. Dans cette même étude, on peut aussi observer que la moyenne de la puissance relative (des jambes) au Wingate était significativement plus grande pour les skieurs de niveau international que pour ceux des autres niveaux chez les deux sexes. Les femmes de niveau régional ont obtenu des résultats significativement plus faibles au test de sauts répétés (puissance-endurance des jambes) que les celles de niveau national et international, tandis que les hommes de niveau régional ont obtenu des résultats significativement plus faibles que les hommes de niveau international. Le test de sauts répétés (*repeated jump test*) est un test où les sujets sautent à répétition en pliant les genoux à 90 degrés et en maintenant les mains sur les hanches pendant 60 secondes. Le but du test est de faire le plus de sauts possible en une minute tout en sautant le plus haut possible à chaque fois. On calcule la

puissance développée par le sujet à l'aide de son poids corporel et de son temps d'envol.  
(White et Johnson, 1991)

Tableau 2.17 Résultats aux tests de puissance anaérobie de skieurs alpins américains de différents niveaux (adapté de White et Johnson, 1991)

Table 3 Anaerobic Power Test Results

		MALES			FEMALES		
		INT n=12	NAT n=8	REG n=11	INT n=17	NAT n=6	REG n=7
60s JUMP (W/kg)	MEAN	23.2	22.0	20.4 <sup>a</sup>	20.9	19.8	17.9 <sup>ab</sup>
	SEM	0.50	0.61	0.66	0.29	0.77	0.66
VERT JUMP (W/kg)	MEAN	17.4	16.7	15.8 <sup>a</sup>	15.7	14.4	13.8 <sup>ab</sup>
	SEM	0.28	0.52	0.33	0.25	0.48	0.25
VERT JUMP (watts)	MEAN	1369	1216 <sup>a</sup>	1083 <sup>ab</sup>	985	918	795 <sup>ab</sup>
	SEM	29	50	48	22	40	35
AVE WORK (kgm)	MEAN	6378	5429 <sup>a</sup>	3827 <sup>ab</sup>	5022	5245	3853 <sup>ab</sup>
	SEM	112	215	288	74	83	314
WIN END (%)	MEAN	77.7	63.8 <sup>a</sup>	61.1 <sup>a</sup>	68.1	59.8	57.3 <sup>a</sup>
	SEM	1.50	3.47	2.10	1.48	4.78	3.16
WIN AVG (W/kg)	MEAN	9.32	9.54	8.93	8.65	7.76 <sup>a</sup>	7.43 <sup>a</sup>
	SEM	0.19	0.09	0.18	0.14	0.20	0.25
WIN AVG (watts)	MEAN	735	694	616 <sup>ab</sup>	546	495	434 <sup>ab</sup>
	SEM	16	10	24	9	14	25
WIN MAX (W/kg)	MEAN	10.6	11.8 <sup>a</sup>	11.2	10.6	10.2	9.8
	SEM	0.30	0.36	0.28	0.21	0.37	0.30
WIN MAX (watts)	MEAN	836	859	772	669	650	572 <sup>a</sup>
	SEM	26	39	37	14	25	30

<sup>a</sup> Significantly different from INT  $p < .05$ ;

<sup>b</sup> Significantly different from NAT  $p < .05$ .

Une étude publiée en 2010 qui avait comme sujets 16 skieurs adolescents espagnols a présenté des corrélations entre le classement national de ceux-ci et divers facteurs associés avec la puissance des jambes, soit : la masse musculaire ( $r=0,70$ ;  $p=0.003$ ) (masse maigre), le Counter Mouvement Jump ( $r=0.67$ ;  $p<0.01$ ) (puissance des jambes), le Counter Mouvement Jump sur 30 secondes ( $r=0.59$ ;  $p<0.05$ ) (puissance endurance des jambes), et l'accélération et la force dynamique au full squat ( $r=0.059$ ;  $p=0.017$  et  $r=0.059$ ;  $p=0.017$ ) (force des jambes). (Emeterio et González-Badillo, 2010)

Dans l'étude de Gorski, Rosser et al. (2014), les hommes ayant déjà été sélectionnés sur une équipe nationale ont obtenu des résultats significativement plus élevés que ceux non-sélectionnés dans tous les tests de puissance des membres inférieurs (voir Tableau 2.18). On peut aussi observer une différence significative entre les femmes sélectionnées et non-sélectionnées U18. (Gorski et al., 2014)

Tableau 2.18 Comparaison des résultats aux tests de puissance des jambes du Swiss-Ski Power test des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés sur des équipes nationales (adapté de Gorski et al., 2014)

Table 4 Anthropometric and Physical Characteristics of Selected and Nonselected Athletes

Test	Age group	Male		Female	
		Selected	Nonselected	Selected	Nonselected
Two-leg 5-hop (m)	U16	12.19 ± 0.90	11.57 ± 1.15*	—	—
	U18	13.53 ± 0.91	13.01 ± 0.97*	11.98 ± 0.45	11.03 ± 0.85*
	U21	14.07 ± 0.84	13.59 ± 0.97*	11.23 ± 0.72	10.98 ± 0.91
One-leg 5-hop (m)	U16	11.26 ± 0.91	10.51 ± 1.12*	—	—
	U18	12.37 ± 0.81	11.92 ± 0.92*	11.00 ± 0.47	10.16 ± 0.86*
	U21	12.80 ± 0.66	12.33 ± 0.77*	10.34 ± 0.79	10.06 ± 0.82
Standing long jump (m)	U16	2.34 ± 0.15	2.21 ± 0.20*	—	—
	U18	2.53 ± 0.16	2.46 ± 0.17*	2.27 ± 0.10	2.11 ± 0.15*
	U21	2.63 ± 0.14	2.56 ± 0.17*	2.15 ± 0.13	2.11 ± 0.15

### 2.3 Le test de Wingate

Cette section a été conçue pour mieux comprendre le test de Wingate et son utilisation en ski alpin. Ce dernier s'effectue sur un ergocycle (vélo stationnaire) avec une résistance de pédalage ajustée au poids de l'individu (0,75g/kg). Il a une durée de 30, 60 ou 90 secondes et sert à mesurer la puissance maximale et moyenne développée en watts par l'individu. La version de 30 secondes de ce test semble être plus utilisée en ski alpin, même si les versions plus longues s'apparentent plus à la durée et aux demandes énergétiques du sport. Des recherches précédentes effectuées sur des skieurs alpins ont fait ressortir que les spécialistes du slalom développent une puissance maximale plus élevée lors du test, alors que les spécialistes de la descente développent une moyenne de puissance plus élevée. Comme le croisement de ces courbes se produit après 30 secondes, on suggère fortement la version du test employée soit de 60 ou 90 secondes. (Turnbull *et al.*, 2009)

### 2.4 L'agilité

Dans l'étude de Gorski et al (2014), où l'on a compilé les résultats des skieurs suisses, les résultats au test «*Swiss cross*» (agilité) ont démontré des différences significatives entre les athlètes sélectionnés et les non sélectionnés chez les hommes U18 et U21 et chez les femmes U18 (voir Tableau 2.19).

Tableau 2.19 Comparaison des résultats aux tests d'agilité du *Swiss-Ski Power test* des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés  
(adapté de Gorski et al., 2014)

Table 4 Anthropometric and Physical Characteristics of Selected and Nonselected Athletes

Test	Age group	Male		Female	
		Selected	Nonselected	Selected	Nonselected
Swiss cross (s)	U16	13.6 ± 0.6	13.8 ± 0.9	—	—
	U18	12.6 ± 0.6	13.0 ± 0.7*	13.7 ± 0.6	14.1 ± 0.7*
	U21	12.4 ± 0.6	12.8 ± 0.7*	14.1 ± 0.5	14.3 ± 0.7
Obstacle run (s)	U16	25.0 ± 2.6	25.6 ± 3.3	—	—
	U18	22.5 ± 1.8	23.6 ± 2.6*	26.2 ± 1.3	26.7 ± 3.5
	U21	22.0 ± 1.9	23.1 ± 2.7*	27.1 ± 2.0	27.4 ± 4.1

## 2.5 Le Box Jump 90

Le *Box Jump 90* est probablement un des tests physiques les plus utilisés en ski alpin. Son protocole demande au sujet d'effectuer des sauts latéraux à pieds joints en atterrissant sur la boîte et puis au sol d'un côté de celle-ci, pour ensuite ressauter sur la boîte et puis au sol de l'autre côté de la boîte et continuer ainsi en alternant de côté pendant 90 secondes. La boîte la plus fréquemment utilisée a une hauteur de 44 cm et une hauteur de 50 cm. Pour le résultat, on compte le nombre de fois où le sujet a touché à la boîte en ayant les pieds joints en 90 secondes. On peut aussi noter le nombre de fois où le sujet a touché la boîte par tranche de 30 secondes afin d'analyser l'endurance de celui-ci au cours du test. Selon Gross et al. (2014), plus on avance dans le test, moins les capacités anaérobies sont importantes et plus les capacités aérobies le sont.

Cette étude mentionne que le test de la boîte simule bien les demandes physiologiques du ski alpin et que 63% de l'énergie nécessaire pour compléter le test provient du système aérobie. Cette valeur est à mi-chemin entre les demandes énergétiques mesurées en slalom géant publiées par Vecsteinas, Ferretti et al. (1984) et celles de Saibene, Cortilli, Gavazzi et Magistri (1985).

L'étude de Gross et al. (2014) mentionne également que le test de la boîte nécessite plusieurs qualités physiques nécessaires en ski alpin, soit : de la bonne coordination bilatérale, de la puissance des membres inférieurs, une bonne capacité à gérer les forces excentriques ainsi que bonne capacités aérobies et anaérobies. Cette étude a effectué une intervention auprès de skieurs élites suisses qui leur a fait suivre un programme de 10 sessions d'entraînement par intervalles sur vélo stationnaire de 4 x 4 minute. Les résultats de cette étude ont démontré une augmentation de 4.3% de la  $VO_2$  max de ces skieurs de 4.3% suite à cet entraînement, mais aucune augmentation significative de la moyenne des résultats du test de la boîte (90 sauts avant vs 91 après). (Gross, M., Hemund, *et al.*, 2014)

L'étude de Brown et Wilkinson (1983), a présenté une corrélation significative de  $r=0,58$  entre le temps des athlètes au test anaérobie du tapis roulant (8mph avec pente de 20% jusqu'à épuisement) et leur résultat au Box jump 90 (boîte de 40 cm) (voir Tableau 2.20). (Brown et Wilkinson, 1983)

Tableau 2.20 Résultats aux tests BJ90 et tapis roulant anaérobie des skieurs canadiens hommes de différents niveaux  
(adapté de Brown et Wilkinson, 1983)

**TABLE 3. Muscular power and endurance of male alpine ski racers.**

	National N=10	Divisional N=10	Club N=22
Big-box jump (number · 90 s <sup>-1</sup> )	87.2 ± 3.8	92.2 ± 1.8**	82.1 ± 1.3
(number · last 30 s <sup>-1</sup> )	28.7 ± 1.5	30.9 ± 2.0	23.2 ± 0.9*
Anaerobic treadmill (s)	77.4 ± 5.1	76.9 ± 3.3	56.3 ± 2.1*

Tableau 2.21 Résultats au test de la boîte (BJ90)

Club	Nombre d'athlètes	sexe	Âge	Résultats moyens	Boîte
Équipe nationale canadienne des Olympiques de 1980	10	M	21.9	87.2	Hauteur : 40 cm
Elite sports school, Switzerland	9	M	16.8	90/91 Pré/post	Largeur : 50 cm Hauteur : 44 cm

Tableau issu des résultats de Brown et Wilkins (1983) et aussi de Gross, Hemund et al (2014)

## 2.6 La force des membres inférieurs

Dans l'étude de Haymes et Dickson de 1980, où l'on comparait les skieurs américains de différentes disciplines, on a pu observer que ceux du combiné nordique avaient une plus grande force relative des jambes (force ajustée à leur masse maigre) que les skieurs de fond dans le test de l'extension du genou en position assise (voir Tableau 2.22). Avec les résultats de ce test, ils ont aussi pu observer que les skieurs hommes avaient une plus grande force et une plus grande puissance des jambes que les skieuses femmes.

Selon les auteurs, les skieurs de cette étude, possédaient une très grande force extensionnelle isométrique des quadriceps, par contre, leur force dynamique était plus faible que celle rapportée des sauteurs et des sprinteurs. Ce que les auteurs ont expliqué par la construction de la botte de ski qui limite le mouvement à la cheville et en même temps l'activité musculaire des mollets. (Haymes et Dickinson, 1980)

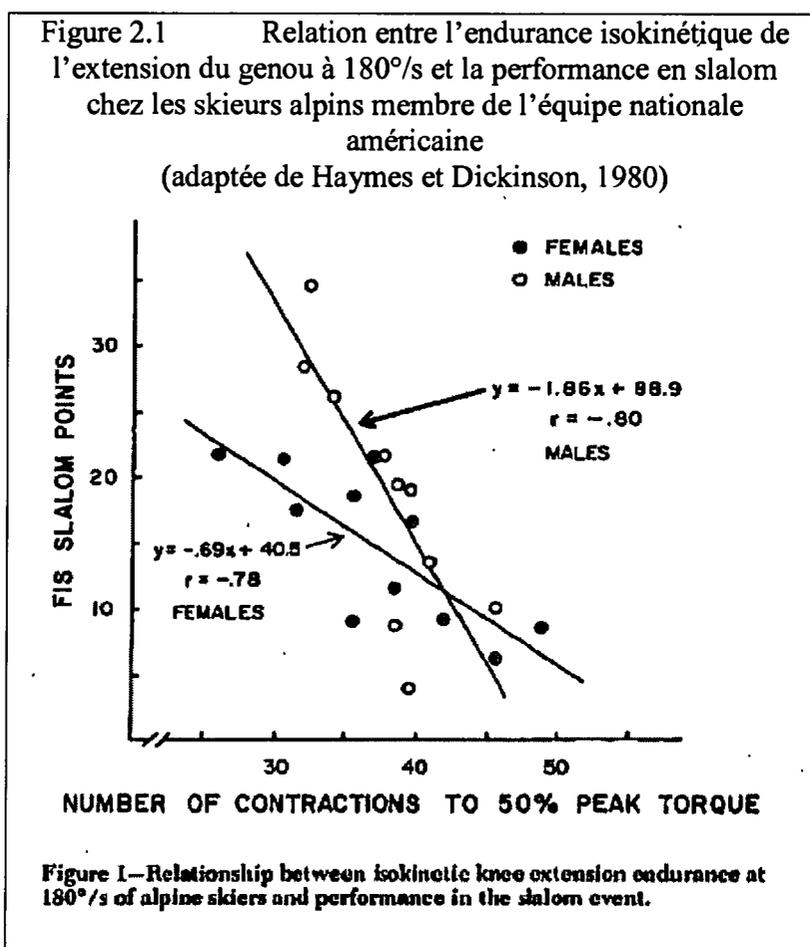
Tableau 2.22 Force isométrique et endurance de skieurs alpins membres d'équipes nationales américaines (adapté de Haymes et Dickinson, 1980)

	Torque Nm		Torque/Weight Nm/kg		Torque/LBW Nm/kg LBW		Endurance # Contractions
	30°	100°	30°	100°	30°	100°	
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	
Alpine Women	189.1 ± 24.5	104.9 ± 11.8	3.23 ± .39	1.76 ± .20	4.02 ± .49	2.25 ± .20	36.0 ± 6.7
Alpine Men	259.7 ± 35.3	167.6 ± 16.7	3.53 ± .49	2.22 ± .20	3.83 ± .59	2.47 ± .29	37.4 ± 4.6
Difference	70.6	62.7	.30	.46	.20	.22	0.6
t	11.29*	21.33*	3.33*	12.20*	1.73	4.40*	0.55

\*Significant,  $p < .01$   
Values represent mean ± standard deviation

Ces mêmes auteurs ont administré un autre test d'extension du genou à leurs sujets. Le protocole de celui-ci leur faisait exécuter des extensions du genou à répétition en maintenant une vitesse de 180° par seconde jusqu'à ce qu'ils se fatiguent et que leur torque développé atteigne 50% du torque le plus élevé de la séquence (*peak torque*). Les auteurs ont pu observer de fortes corrélations négatives entre le nombre de

contractions effectuées avant d'atteindre 50% du *peak torque* (force endurance des jambes) et les points FIS au slalom chez les hommes ( $r=-0.80$ ) et les femmes ( $r=-0.78$ ) (voir Figure 2.1). C'est donc que ceux qui se fatiguaient le moins rapidement au test de l'extension du genou était généralement aussi les plus performants en slalom. Ces mêmes auteurs ont mentionné que le déclin du *peak torque* corrélait positivement avec le pourcentage de fibres musculaires rapides de leurs sujets et qu'il se peut que les meilleurs slalomeurs soient aussi ceux avec le moins de fibres rapides. Les points FIS en GS corrélaient aussi avec le nombre de contractions effectuées avant d'atteindre le *50% torque* ( $r=-0,75$ ), mais seulement chez les hommes. (Haymes et Dickinson, 1980)



Dans l'étude de Brown et Wilkinson (1983), les skieurs de l'équipe nationale affichaient une plus grande force des jambes que les skieurs des équipes régionales, mais que la différence de force des jambes entre les skieurs de niveau national et international n'était pas significative (voir Tableau 2.23). Les tests employés par cette étude pour mesurer la force des jambes des skieurs étaient les différentes variantes de test d'extension du genou. Lors de ces tests, les différences de forces entre les skieurs de différents niveaux étaient toujours plus marquées à 30°/sec qu'à 180°/sec. Les auteurs ont aussi pu observer que plus le niveau des skieurs augmente, plus leur résultat est élevé au test des 50 extensions du genou répétées (force endurance des jambes). L'article présente également une forte corrélation positive entre les résultats du test d'extension du genou à une jambe et celui à deux jambes (0,94), alors qu'une autre forte corrélation a été observée entre les résultats de la jambe droite et ceux de la jambe gauche (0,77). Avec ces derniers résultats, on peut supposer que l'administration d'un seul de ces tests est suffisante. Enfin, les auteurs ont aussi mentionné que les skieurs de cette étude étaient moins puissants et moins forts des membres inférieurs que ceux rapportés dans d'autres études. (Brown et Wilkinson, 1983)

Tableau 2.23 Force et endurance isokinétique des jambes des skieurs canadiens hommes membres de différents niveaux (adapté de Brown et Wilkinson, 1983)

TABLE 5. Isokinetic leg strength and endurance of male alpine ski racers.

	National N=10	Divisional N=10	Club N=22
Torque @ 30° .s <sup>-1</sup> left leg (Nm.kg <sup>-1</sup> )	3.98 ± 0.14*	3.88 ± 0.17	3.44 ± 0.10
Torque @ 180° .s <sup>-1</sup> left leg (Nm.kg <sup>-1</sup> )	2.08 ± 0.05	2.07 ± 0.07	2.01 ± 0.09
Torque @ 30° .s <sup>-1</sup> both legs (Nm.kg <sup>-1</sup> )	7.83 ± 0.29*	7.59 ± 0.25	6.95 ± 0.20
Torque @ 180° .s <sup>-1</sup> both legs (Nm.kg <sup>-1</sup> )	4.11 ± 0.08	4.04 ± 0.10	3.96 ± 0.17
Hamstring-to-quadriceps ratio (%)	57.6 ± 1.4*	61.8 ± 1.7	65.6 ± 1.9
Strength-to-velocity ratio, left leg (%)	52.8 ± 1.1	49.9 ± 1.7	54.5 ± 2.5
Endurance ratio (%)	42.1 ± 1.5	41.9 ± 1.7	42.1 ± 1.6
Torque endurance, mean of 50 contractions (Nm.kg <sup>-1</sup> )	1.37 ± 0.04*	1.29 ± 0.04	1.20 ± 0.04

Values are means ± SE.

\* Significant ( $P < 0.01$ ) difference from club team.

L'étude qui a testé des skieurs de l'équipe nationale d'Autriche, a aussi administré des tests de flexion et d'extension du genou à ses sujets (voir Tableau 2.24). Leur test de 3 répétitions d'extension du genou a été effectué à 60° par secondes et celui de 30 répétitions à 240° par secondes. Les sujets ont eu droit à un repos de 20 secondes entre les deux tests. Les auteurs de cette étude n'ont pas réussi à présenter de corrélations entre la force musculaire et la performance en ski alpin, malgré les grands succès que cette équipe a connu. Ils n'ont pas observé des différences significatives entre le torque développé par la jambe droite et la jambe gauche chez les skieurs des deux sexes, ni de différence marquée ou d'évolution dans les résultats entre les saisons. Les chercheurs

ont cependant pu observer que les valeurs des femmes atteignaient environ 60% des valeurs des hommes au *peak torque* et 55 à 60% de leur travail total et que le ratio quadriceps/ischiojambier de leurs sujets s'est situé entre 0,57 et 0,60 durant toute la période d'investigation. Ils ont mentionné que ce ratio devrait être pris en compte dans un sport où les blessures aux genoux sont fréquentes. (Neumayr et al., 2003)

Tableau 2.24 Résultats des tests de force des membres inférieurs en flexion et en extension chez des skieurs alpins membres de l'équipe nationale autrichienne  
(adapté de Neumayr et al., 2003)

Table 4 Mean values of peak torque and work for knee extension (ext) and flexion (flex) in elite skiers (right leg)

season gender	1997/1998		1998/1999		1999/2000	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂
peak torque ext (Nm)	200	326	197	334	206	314
(±SD)	32	45	24	43	21	44
work ext (J)	2438	4406	2587	4414	2690	3964
(±SD)	375	618	393	629	364	1231
peak torque flex (Nm)	115	187	114	187	119	186
(±SD)	19	23	16	21	15	24
work flex (J)	1763	2749	1803	2813	1904	2739
(±SD)	316	376	331	463	267	458

## 2.7 La force des membres supérieurs

La seule étude ayant compilé des résultats de tests de force du haut du corps est l'étude de Gorski et al., publiée en 2014 (voir Tableau 2.25). Suite à la compilation des résultats aux tests de push-ups, ils n'ont pas pu observer de différence entre les résultats des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés sur l'équipe nationale. Les résultats élevés

au test de push-ups de cette étude sont explicables par le protocole qui ne demandait pas aux sujets d'exécuter le mouvement complet puisqu'il contenait les indications suivantes : les coudes doivent atteindre l'extension complète en haut et le front doit toucher au sol en bas. Les auteurs ont présenté une augmentation de 7% du poids corporel des skieurs suisses entre 2004 et 2011, ce qu'ils ont expliqué par l'importance qu'avait pris l'entraînement en force durant ces années. Rappelons-nous que plusieurs études ont observé des corrélations entre la performance et la masse corporelle et/ou la masse maigre. Il peut donc être intéressant de muscler le haut du corps des skieurs pour augmenter leur masse maigre et ainsi peut-être les aider à améliorer leurs performances. (Gorski et al., 2014)

Tableau 2.25 Comparaison des résultats au test de push-ups du *Swiss-Ski Power test* des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés sur les équipes nationales  
(adapté de Gorski et al., 2014)

Table 4 Anthropometric and Physical Characteristics of Selected and Nonselected Athletes

Test	Age group	Male		Female	
		Selected	Nonselected	Selected	Nonselected
Push-ups (s)	U16	78 ± 23	81 ± 28	—	—
	U18	98 ± 25	92 ± 30	73 ± 14	74 ± 24
	U21	101 ± 24	97 ± 33	78 ± 18	71 ± 23

## 2.8 Les capacités aérobies

Dans l'étude de Haymes et Dickinson (1980), les skieurs de fond avaient un plus grand  $VO_{2max}$  que les skieurs des autres disciplines (voir Tableau 2.26) et les fondeurs hommes avaient un plus grand  $VO_{2max}$  que les femmes. Le  $VO_{2max}$  (capacités aérobies) des skieurs alpins femmes de leur étude corrélait avec les points fis en descente ( $r=-0.66$ ). Les auteurs ont évoqué dans leur discussion que le meilleur skieur alpin au monde cette année-là était un Suédois avec un  $VO_2$  max de 70, tout en ajoutant que la consommation d'oxygène en slalom géant atteignait 95% de le  $VO_{2max}$ . (Haymes et Dickinson, 1980)

Tableau 2.26 Capacités aérobies de skieurs américains membres d'équipes nationales de différentes disciplines (adapté de Haymes et Dickinson, 1980)

TABLE 2. Aerobic capacities, strength, power and motor performance characteristics of albi racers.

	Alpine Women N=13	Alpine Men N=12	Cross-Country Women N=10	Cross-Country Men N=10	Nordic Combined N=9	F
VO <sub>2</sub> max (l/min)	3.10 ± .24	5.03 ± .41	3.44 ± .36	5.34 ± .44	4.75 ± .64	64.67*
Adjusted for weight	3.40 ± .45	4.69 ± .47	3.85 ± .48	5.09 ± .42	4.62 ± .38	17.75*
Adjusted for LBW	3.70 ± .59	4.52 ± .52	4.01 ± .53	4.87 ± .48	4.45 ± .40	5.15*
HR max	198.2 ± 8.7	200.9 ± 6.7	191.2 ± 7.1	195.4 ± 8.5	196.9 ± 7.4	2.33
Ḡ <sub>12</sub> max (l/min)	112.7 ± 12.7	173.5 ± 25.0	124.8 ± 20.2	195.5 ± 26.2	159.3 ± 27.2	24.57*
Adjusted for weight	120.8 ± 27.0	163.7 ± 28.6	136.9 ± 29.1	189.0 ± 26.8	149.6 ± 26.6	6.86*
Ḡ <sub>12</sub> /VO <sub>2</sub>	36.4 ± 4.4	34.4 ± 3.5	36.1 ± 3.1	37.4 ± 4.1	33.0 ± 2.8	1.65

Brown et Wilkinson (1983) ont quant à eux, testé le VO<sub>2</sub>max de leurs skieurs sur tapis roulant, tout en mentionnant dans la discussion que les résultats de ce test sous-estiment probablement la capacité aérobie des athlètes puisqu'en général, les skieurs ne possèdent pas la meilleure technique de course. Ils ont quand même pu observer que les skieurs membres de l'équipe nationale avaient un VO<sub>2</sub>max (capacité aérobie) légèrement plus élevé que ceux des équipes régionales (voir Tableau 2.27). Cette différence non-significative peut s'expliquer par le fait que la moyenne d'âge et le poids corporel des skieurs de niveau national étaient significativement plus élevés que celle des skieurs de niveau régional (voir section 2.1, Tableau 2.3). (Brown et Wilkinson, 1983)

Les capacités aérobies des sujets de cette étude ont aussi été mesurées avec un test de course sur 2 milles (2 mile run). Les résultats du test (capacité aérobie) ont montré que le temps de parcours et les pulsations cardiaques à l'effort étaient significativement plus bas chez les skieurs de l'équipe nationale que chez les skieurs de niveau régional. Les auteurs ont toutefois précisé que les skieurs de niveau régional (*Club*) n'avaient pas autant d'expérience que les autres à ce type de test et qu'ils ont eu de la difficulté à ajuster leur rythme de course. (Brown et Wilkinson, 1983)

Tableau 2.27 Puissance aérobie, concentration en lactate sanguin et résultat à la course de 2 miles chez des skieurs canadiens hommes de différents niveaux  
(adapté de Brown et Wilkinson, 1983)

TABLE 4. Aerobic power and performance of male alpine ski racers.

	National N=10	Club N=7
$\dot{V}O_{2max}$ ( $l \cdot min^{-1}$ , STPD)	4.82 $\pm$ 0.1	4.44 $\pm$ 0.2
$\dot{V}O_{2max}$ ( $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ , STPD)	63.1 $\pm$ 1.3	61.6 $\pm$ 1.8
$\dot{V}E_{max}$ ( $l \cdot min^{-1}$ , BTPS)	156 $\pm$ 3.0	149 $\pm$ 7.2
HR <sub>max</sub> (beats $\cdot$ min <sup>-1</sup> )	195 $\pm$ 1.2*	204 $\pm$ 1.8
Blood lactate (mM)	12.0 $\pm$ 0.5	12.4 $\pm$ 0.9
2-mile run time (s)	720 $\pm$ 12*	787 $\pm$ 11**

Values are means  $\pm$  SE.

\* Significant ( $P < 0.01$ ) difference from club team.

\*\* N=22.

Dans l'étude de White et Johnson (1991), le  $VO_{2max}$  ne semblait pas être un des facteurs physiologiques pouvant différencier les skieurs de différents niveaux, malgré qu'il affichait des petites différences non-significatives (voir Tableau 2.28). Les auteurs ont indiqué qu'il se peut qu'il y ait un  $VO_2$  minimum nécessaire pour performer en ski alpin, mais celui-ci n'aurait pas encore été déterminé. (White et Johnson, 1991) Il est important de mentionner que même si l'on détermine qu'au-delà d'un certain seuil, le  $VO_2$  max n'a plus d'incidence sur la performance en ski alpin, les compétitions de ce sport peuvent avoir lieu à haute altitude et que dans ce type d'environnement : la pression partielle d'oxygène ( $PO_2$ ) diminue et donc la capacité d'un individu à utiliser l'oxygène à l'effort ( $VO_{2max}$ ) devient plus importante; surtout si cet individu s'est entraîné à basse altitude, donc sans acclimatation à la haute altitude.

Tableau 2.28 Puissance aérobie de skieurs alpins américains de différents niveaux  
(adapté de White et Johnson, 1991)

**Table 4 Maximal Aerobic Test Results**

		MALES			FEMALES		
		INT	NAT	REG	INT	NAT	REG
		n=12	n=8	n=11	n=17	n=6	n=7
TVENT (% max)	MEAN	88.4	81.8	81.9	88.4	81.7 <sup>a</sup>	83.8 <sup>a</sup>
	SEM	1.76	1.66	1.50	1.21	1.32	0.92
VO <sub>2</sub> max (ml/kg/ min)	MEAN	53.1	53.4	51.4	46.7	45.5	43.4
	SEM	1.03	0.74	1.41	1.19	0.46	1.09

<sup>a</sup> Significantly different from INT  $p < .05$ ;

<sup>b</sup> Significantly different from NAT  $p < .05$ .

Neumayr et al. (2003), ont testé la puissance aérobie sur ergocycle des skieurs membres de l'équipe nationale autrichienne avec une augmentation de 50W/3min (voir Tableau 2.29). Les résultats ont démontrés que la performance des hommes dans les évènements de vitesse sur le circuit mondial (*WC ranking*) de 1998 était fortement corrélée avec la puissance maximale ( $W_{max}$ )  $r = 0.947$  ( $p = 0,001$ ) et avec le  $VO_2max$   $r = 0,964$  ( $p < 0,001$ ). Ces 2 corrélations ajoutent la puissance aérobie (capacités aérobie) dans les facteurs pouvant influencer la performance en ski alpin. D'autres résultats de ce test d'endurance ont démontré que les skieurs de vitesse ( $4,84W \pm 0,38 W/kg$ ) développaient plus de watts que les skieurs techniques ( $4,63W \pm 0,34 W/kg$ ) et les non-spécialistes ( $4,58W \pm 0,32 W/kg$ ). Ces résultats ne sont pas surprenants puisque généralement, les skieurs de vitesse ont une capacité à générer de la puissance plus longtemps puisque leurs évènements sont de plus longue durée. (Neumayr et al., 2003)

Tableau 2.29 Résultats des différents tests maximaux effectués chez des skieurs alpins membres de l'équipe nationale autrichienne (adapté de Neumayr et al., 2003)

Table 3 Various performance parameters of elite skiers in a maximal exercise test (mean values)

season gender	1997/1998		1998/1999		1999/2000	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂
$W_{2mmol}$	1.8	2.3	1.7	2.4	2.0	2.6
(±SD)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
$W_{4mmol}$	2.6	3.2	2.9	3.4	3.0	3.6
(±SD)	0.4	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3
$W_{max}$	3.7	4.2	4.3	4.4	4.3	4.7
(±SD)	0.5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
$\dot{V}O_{2max}$	55.8	57.5	56.9	59.5	55.6	58.7
(±SD)	3.5	3.0	3.9	4.7	4.9	3.2
$Lac_{max}$	10.6	11.3	11.4	11.5	12.0	12.0
(±SD)	1.3	1.2	1.9	2.3	0.9	1.6
RQ	1.11	1.12	1.13	1.12	1.12	1.13
(±SD)	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
AT	78	78	74	76	75	78
(±SD)	7	5	5	4	6	5

SD = standard deviation; W = power output [W/kg] at various lactate concentrations;  $W_{max}$  = maximum power output [W/kg];  $\dot{V}O_{2max}$  = maximal oxygen uptake [ml/kg/min];  $Lac_{max}$  = maximal lactate concentration [mmol/L]; RQ = respiratory quotient; AT = anaerobic threshold [%].

Toujours selon ces auteurs, la capacité aérobie est essentielle pour performer en ski alpin puisque c'est le système d'énergie le plus utilisé lors de la pratique de ce sport et que lorsqu'il est bien développé, il permet une récupération plus rapide entre les descentes et les courses. Il permet aussi d'être mieux préparé à faire face aux stress physiques de la saison de compétition et favorise le succès de la deuxième demie de celle-ci, moment crucial où se situent habituellement les Jeux olympiques et les championnats du monde. (Neumayr et al., 2003)

Dans l'étude de Gorski, Rosser et al. (2014) les athlètes sélectionnées sur l'équipe nationale avaient de meilleurs résultats au test Cooper que ceux non sélectionnés (voir Tableau 2.30). Cette étude s'ajoute donc aux précédentes pour confirmer que la capacité aérobie est une des différences marquantes entre les skieurs de différents niveaux. (Gorski et al., 2014)

Tableau 2.30 Comparaison des résultats au test Cooper du *Swiss-Ski Power test* des athlètes sélectionnés et non-sélectionnés sur des équipes nationales  
(Adapté de Gorski et al., 2014)

Table 4 Anthropometric and Physical Characteristics of Selected and Nonselected Athletes

Test	Age group	Male		Female	
		Selected	Nonselected	Selected	Nonselected
12-min run (m)	U16	2873 ± 219	2792 ± 267	—	—
	U18	3010 ± 173	2947 ± 259	2640 ± 145	2562 ± 243
	U21	3048 ± 180	2918 ± 330*	2618 ± 180	2481 ± 258*

Tableau 2.31 VO<sub>2</sub> max mesurées en laboratoire

Auteurs	Équipe	VO <sub>2</sub>	Méthode
(Brown et Wilkinson, 1983)	Équipe nationale canadienne des Olympiques de 1980 (hommes)	63.1	Tapis roulant
(Veicsteinas et al., 1984)	Équipe nationale italienne ayant participé à la 16e coupe du monde (8 hommes)	52,4 (+-7,8)	Tapis roulant
(Saibene et al., 1985)	Équipe de ski de l'école militaire alpine de Courmayeur	58.9	Tapis roulant
(Neumayr et al., 2003)	Équipe nationale autrichienne de 1997 à 2000	F: 55 M: 60	Bicycle Ergomètre

Tableau 2.32 VO<sub>2</sub> max mesuré en ski alpin

Auteurs	VO <sub>2</sub> en ski	Méthode	Demande énergétique
(Saibene et al., 1985)	72	Sacs de Douglas	120%

Il a été mentionné qu'il est préférable d'assigner des tests de  $VO_2$  sur vélo pour les skieurs alpins, car ils font souvent face à des blessures aux genoux. (Turnbull *et al.*, 2009) Le test de course navette 20m (Léger-Lambert) continu d'être le test «terrain» le plus utilisé en ski alpin, puisque plusieurs racontent qu'il simule mieux les demandes du sport que le test Cooper de 12 minutes puisqu'il comprend un changement de direction à chaque 20 m alors que le test Cooper s'effectue généralement sur une piste d'athlétisme où l'on court en continu. (Turnbull *et al.*, 2009) Par contre, les suisses ont inclus le test de course de 12 min dans la batterie *Swiss-Ski Power test*, puisqu'il nécessite moins d'équipement et que cela le rend plus facile à imposer à leurs clubs de ski établis à travers leur pays.

Une récente étude effectuée sur 47 personnes âgées entre 60 et 76 ans, a présenté une augmentation moyenne de leur  $VO_2$  max de 7.2% suite à environ 28.5 jours de ski alpin récréatif sur une durée de 12 semaines. Cette étude nous montre que la pratique du ski alpin peut avoir un effet sur la capacité aérobie et que l'augmentation de la capacité aérobie chez des skieurs âgés n'est pas seulement due à l'entraînement aérobie de ceux-ci, mais aussi à la pratique de ce sport. (Müller *et al.*, 2011)

## 2.9 Les demandes énergétiques

Nous savons que le ski alpin requiert un apport des deux filières énergétiques (Haymes et Dickinson, 1980; Saibene *et al.*, 1985) et plusieurs auteurs s'entendent pour dire que l'apport de la filière anaérobie est plus important. (Saibene *et al.*, 1985; Veicsteinas *et al.*, 1984) Cet apport plus important implique que la contribution des fibres musculaires glycolytiques (fibres de type II) capables de produire plus de force est plus grande que celle des fibres plus endurantes (fibres de type I).

Une étude publiée en 1984 effectuée sur 8 italiens membres de l'équipe nationale a mesuré les demandes énergétiques d'une course de ski alpin. Selon cette étude, les

contributions des différents systèmes énergétiques lors d'une descente en ski alpin sont de 30-35% du système aérobie, de 25-30% du système anaérobie alactique et de 40% du système anaérobie lactique. C'est donc que 65 à 70% des substrats énergétiques proviennent du système anaérobie et 30 à 35% proviennent du système aérobie. Les auteurs ont mentionnés que les coûts énergétiques provenant du système alactique sont dut en partie au travail statique intense de certains groupes musculaires. Ils ont aussi déterminé que le slalom avait une intensité de 200% de la  $VO_2$  max et que le Slalom Géant avait une intensité de 160% de la  $VO_2$  max. (Veicsteinas et al. 1984)

Cette même étude a rapporté que l'énergie totale dépensée lors d'une descente était sensiblement pareille pour le SL et le GS, mais comme le temps de descente en SL est plus court qu'en GS, les auteurs ont conclu que la SL est environ 23% plus couteux en énergie pour la même durée. Les auteurs ont aussi mentionné que les dépenses énergétiques en GS étaient 1.35 fois plus élevées chez le groupe de skieurs élites que chez le groupe témoin malgré le fait que le groupe élite a effectué la tâche beaucoup plus rapidement. Ils ont expliqué cela par le fait qu'un skieur qui travaille plus fort dans un parcours devrait développer une plus grande vitesse et que cette plus grande vitesse implique une contribution plus élevée en contractions statiques servant à contrer des forces centrifuges plus grandes. Les auteurs ont aussi mentionné que les différences en habiletés techniques et en efficacité mécanique des différents skieurs faisaient que les dépenses énergétiques variaient beaucoup d'un individu à l'autre. (Veicsteinas et al. 1984)

Tous les sujets de cette étude ont atteint leur battement cardiaque maximal avant la fin de la tâche et il leur a fallu en moyenne 37 (+-11) secondes avant que leurs battements cardiaques commencent à redescendre lors de la récupération. La consommation d'oxygène en ski mesurée par cette étude a été faite à l'aide de ballons météorologiques (sac de Douglas) attachés au dos des skieurs. Les gaz expirés par le sujet étaient récoltés

ainsi pour être ensuite être analysés par des analyseurs d'O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub> (analyseurs Beckman) et un compteur de volume de gaz sec de type Collin. La consommation d'oxygène en ski a été mesurée à 2880m d'altitude et a été calculée en fonction du lactate sanguin (15 mml/L) récolté chez les skieurs environ 5 minutes après leur descente (3.15 ml O<sub>2</sub> x kg of BW), tandis que la VO<sub>2</sub> max a été mesurée au niveau de la mer sur tapis roulant (52,4 ± 7,8 ml/kg/min pour le groupe élite). (Veicsteinas *et al.*, 1984)

Une autre étude qui a tenté de mesurer la dépense énergétique en ski alpin avec des sacs de Douglas (Saibene *et al.*, 1985) a affirmé que le slalom géant ne semblait pas être un évènement à haute demande énergétique et que la dépense énergétique ce cet évènement était environ 20% plus élevée que le VO<sub>2</sub> max. Les skieurs de cette études, des italiens de niveau national membres de la *Ski team of the Scuola Militare Alpina of Courmayeur*, ont obtenu un VO<sub>2</sub> max moyen de 58.9 ml/kg/min sur tapis roulant alors que le coût métabolique moyen d'une descente leurs descentes de GS était de 72 ml/kg/min. Le parcours de cette étude avait été tracé par un membre de la fédération italienne de ski (longueur : 1100 m, 300m de gradient, 41 pôles) à Courmayeur (*Aosta Valley*) en Italie et respectait les prérequis pour un parcours de difficulté moyenne. Cependant, le VO<sub>2</sub>max des skieurs a été mesuré sur tapis roulant dans un laboratoire à basse altitude alors que la collecte des gaz expirés en parcours de ski alpin s'est faite à une altitude de 1700m et donc la densité des gaz prélevés dans les deux environnements n'étaient pas la même, ce qui a pu affecter les résultats. (Saibene *et al.*, 1985)

Tableau 2.33 Sources énergétiques en ski alpin

Discipline et Auteurs	Système aérobie	Système lactique	Système alactique
Slalom et Slalom Géant (Veicsteinas <i>et al.</i> , 1984)	30-35%	40%	25-30%
Slalom Géant (Saibene <i>et al.</i> , 1985)	46,4%	25,3%	28,3%

Il est important d'ajouter que les demandes physiologiques ayant été mesurées en ski alpin par ces 2 études peuvent être faussées, car ce sport est pratiqué dans des environnements alpins froids qui affectent la physiologie humaine et les prises de mesures. (Turnbull *et al.*, 2009).

#### 2.10 Le maintien des capacités au cours d'une saison

Une étude effectuée sur 18 skieurs de différentes disciplines membres de l'équipe nationale britannique a mesuré l'évolution de certaines variables physiologiques de ceux-ci au cours d'une saison de compétition. Les auteurs ont pu observer que la capacité aérobie de leurs sujets avait diminuée tandis que leur composition corporelle leur puissance des membres inférieurs n'avaient pas variées significativement (voir Tableau 2.34). Ces résultats semblent indiquer qu'une pratique assidue du ski alpin n'est pas suffisante pour maintenir les capacités aérobies d'un individu. On peut supposer que la composition corporelle des skieurs a quant-à-elle très peu variée puisque la pratique du ski implique les grands groupes musculaires des jambes qui sont en partie responsable des mouvements de puissance de ce sport. (Koutedakis *et al.*, 1992)

Tableau 2.34 Évolution de différents paramètres physiologiques au cours d'une saison chez des skieurs de niveau international de différentes disciplines.  
(Koutedakis et al., 1992)

Table 2. Results (means  $\pm$  SD) for the maximal treadmill and 30-s Wingate tests at the beginning (Test 1), middle (Test 2) and end (Test 3) of the 1988-90 competition season<sup>a</sup>.

	VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min)	T vent (% VO <sub>2</sub> max)	VEmax (l/min)	R max	HR max (b/min)	PP (watts)	MP (watts)
Test 1	60.9 (3.6)	85.4 (5.2)	171 (19)	1.17 (0.06)	184 (12)	940 (44)	653 (32)
Test 2	57.3 (4.3)	82.2 (5.2)	180 (21)	1.14 (0.06)	190 (14)	982 (40)	685 (37)
Test 3	54.9 (3.8)	78.9 (4.2)	171 (19)	1.12 (0.03)	186 (13)	983 (51)	665 (34)
ANOVA p-value	p < 0.01 <sup>a</sup>	p < 0.05 <sup>a</sup>	NS	NS	NS	NS	NS

n = 18

<sup>a</sup> For all abbreviations, see text

<sup>a</sup> significant difference between Test 1 and Test 3

NS = not significant

Une autre étude a mesuré la fluctuation de différentes variables physiologiques chez des skieurs au cours d'une saison (Tableau 2.35). Dans cette recherche, les résultats aux différents tests de puissance ont été maintenus au cours de la saison malgré la diminution du temps investi en préparation physique. Ces résultats nous laissent croire que la pratique du ski alpin sollicite suffisamment de puissance membres inférieurs pour qu'elle soit maintenue par une pratique assidue. (Bosco *et al.*, 1994)

Tableau 2.35 Évolution des résultats au test de Saut Squat (SJ) et de Sauts répétés au cours d'une saison de ski chez 12 skieurs de niveau international  
(adapté de Bosco et al., 1994)

Table 1. Values for the increase of the height of the centre of gravity in squat jump, performed without (SJ) and with 20 kg and body mass extra loads (SJ<sub>20kg</sub>, SJ<sub>bm</sub> respectively), and the average mechanical power in continuous jumps (duration 15, 30 s). The tests were carried out four times during the season

	Test 1 before training (June-1989)		Test 2 during training (July-1989)		Test 3 after training (October-1989)		Test 4 off-training (April-1990)	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
SJ (cm)	34.6	3.8	39.9	3.5 <sup>a</sup>	42.7	5.0 <sup>b</sup>	43.4	4.0 <sup>ac</sup>
SJ <sub>20kg</sub> (cm)	25.1	3.2	27.7	2.3	32.0	5.1 <sup>bd</sup>	32.4	4.2 <sup>cd</sup>
SJ <sub>bm</sub> (cm)	10.1	2.6	13.4	2.5	15.7	2.4 <sup>b</sup>	16.2	2.3 <sup>c</sup>
Jumping 15 s (W · kg <sup>-1</sup> )	27.1	2.2	27.2	2.9	30.5	3.2 <sup>bd</sup>	30.5	3.6 <sup>cd</sup>
Jumping 30 s (W · kg <sup>-1</sup> )	24.6	3.3	23.8	3.3	28.9	3.1 <sup>bd</sup>	26.5	3.2

Significant changes (ANOVA and Sheffé's test) at  $P < 0.01$  level, <sup>a</sup> June versus July, <sup>b</sup> June versus October, <sup>c</sup> June versus April, <sup>d</sup> July versus October, <sup>e</sup> July versus April. October versus April, not significant

### 2.11 La composition des fibres musculaires

Une étude de Suède a comparé le pourcentage de fibres musculaires rapides sur des skieurs de différents niveaux, soit 3 skieurs membres de l'équipe nationale suédoise, 2 moniteurs de ski (ex-coueurs) et 8 étudiants d'éducation physique et sportive (EPS). Le tableau 2.36 présente les résultats des biopsies musculaires du vaste interne (quadriceps) des sujets comprenant un minimum de 200 fibres. (Tesch et al., 1977)

Tableau 2.36 Composition des fibres musculaires

Catégorie	Niveau	Nombre	Âge	Grandeur	Poids	Pourcentage de fibres rapides
Habiles	Équipe nationale suédoise	3	21	179	74	40% (30-49)
	Moniteurs de ski	2	35	174	71	58% (53-62)
Non-habiles	Étudiants en EPS	8	24	178	70	53% (45-62)

Tableau adapté de (Tesch *et al.*, 1977)

Dans le Tableau 2.36, on peut observer que les skieurs de l'équipe nationale ont un pourcentage de fibres rapides plus faible que les skieurs des deux autres groupes. Les résultats de cet article qui nous portent à croire que les fibres musculaires rapides ne peuvent pas supporter le rythme de renouvellement d'énergie du ski alpin vu la durée des événements.

## 2.12 La flexibilité

L'étude dirigée par Brown et Wilkinson (1983) a mesuré la flexibilité des skieurs alpins de différents niveaux de différentes façons (Tableau 2.37). Selon les auteurs, les skieurs de cette étude sont très forts et très flexibles du tronc comparé à une population sédentaire. Dans la discussion de leur article, ils mentionnent qu'au-delà d'un certain seuil de flexibilité, la performance en ski alpin ne sera plus augmentée. Aussi, les résultats aux différents tests de flexibilité corrélaient tous les uns avec les autres. Les auteurs suggèrent donc d'inclure seulement un test de flexibilité dans les futures batteries de tests destinées à tester des skieurs alpins: celui de la flexion du tronc. (Brown et Wilkinson, 1983)

Tableau 2.37 Flexibilité des skieurs canadiens hommes de différents niveaux  
(adapté de Brown et Wilkinson, 1983)

**TABLE 2. Flexibility characteristics of male alpine ski racers.**

	<b>National N=10</b>	<b>Divisional N=10</b>	<b>Club N=22</b>
Sit-reach (cm)	45.9 ± 1.5	49.1 ± 0.9	43.3 ± 1.2
Trunk extension (cm)	43.5 ± 1.4	40.9 ± 2.1	39.6 ± 3.2
Trunk flexion (cm)	13.5 ± 1.4	10.6 ± 1.7	14.7 ± 1.5
Trunk lateral flexion (degree)	111.3 ± 2.3	109.9 ± 3.5	110.8 ± 1.9
Hip ad/abduction (degree)	69.0 ± 1.4	69.6 ± 2.3	69.2 ± 1.2

Values are means ± SE.

## 2.13 Facteurs physiologiques associés avec la performance

Tableau 2.38 Facteurs physiologiques associés avec le succès en ski alpin

Facteur	Référence d'article où il a été associé avec la performance en ski alpin	Référence d'article où il différencie les skieurs de différents niveaux
Taille		Gorski, Rosser et al., 2014
Poids	Haymes et Dickinson, 1980	Brown et Wilkinson, 1983 White et Johnson, 1991 Gorski, Rosser et al., 2014
% de gras	Haymes et Dickinson, 1980	
Masse maigre	Haymes et Dickinson, 1980 Emeterio et González-Badillo, 2010	Brown et Wilkinson, 1983 White et Johnson, 1991
Puissance absolue des jambes	Brown et Wilkinson, 1983 Emeterio et González-Badillo, 2010	Brown et Wilkinson, 1983 White et Johnson, 1991 Gorski, Rosser et al., 2014
Puissance relative des jambes		White et Johnson, 1991
Puissance-endurance des jambes	Emeterio et González-Badillo, 2010	White et Johnson, 1991
Force des jambes	Emeterio et González-Badillo, 2010	Brown et Wilkinson, 1983
Force-endurance des jambes	Haymes et Dickinson, 1980	Brown et Wilkinson, 1983
Agilité		Gorski, Rosser et al., 2014
Capacité aérobie	Haymes et Dickinson, 1980 Neumayr et al., 2003	Brown et Wilkinson, 1983 Gorski, Rosser et al., 2014

Il est important de mentionner que certains facteurs physiologiques ont moins souvent été présentés et évalués que d'autres dans la littérature scientifique et donc que le fait qu'ils soient moins référés ne signifie pas qu'ils ont un impact moins grand dans la performance du sport. L'agilité en est un bon exemple, puisque ce facteur n'est référé qu'une seule fois, alors que dans un parcours de ski alpin on mesure la capacité d'un skieur à se déplacer le plus rapidement possible au travers celui-ci tout en respectant les balises de l'épreuve.

## CHAPITRE III

### MÉTHODOLOGIE

#### 3.1 Stratégies de recherche

##### 3.1.1 Recherche Manuelle

Afin d'effectuer une méta-analyse basée sur les données présentes dans la littérature scientifique, le processus de sélection des articles a été effectué en respectant les critères d'une revue systématique et est présenté dans un organigramme de sélection des articles scientifiques inspiré du modèle PRISMA (voir Figure 3.1).

Les bases de données employées pour cette recherche théorique étaient les 4 bases de données incontournables en sciences de l'activité physique mises en disposition par le service de bibliothèque de l'UQAM. Des tests de recherche préliminaires ont été effectués dans ces bases de données avec différents mots clés tels que : *alpine skiing strength and conditioning* et *alpine skiing assesment*, mais ceux-ci affichaient trop peu de résultats. Nous avons donc pris la décision d'effectuer notre recherche avec des mots clés moins spécifiques pour potentiellement rassembler un plus grand nombre d'articles présentant des relations entre différents facteurs physiologiques et la performance en ski alpin.

Les 4 bases de données, PubMed, SCOPUS, SPORTDiscus et ERIC (ProQuest) ont donc fait l'issue d'une recherche systématique en novembre 2016 avec les mots clés : *alpine skiing physiology*. La base de données ERIC' (ProQuest) a vite été disqualifiée sous faute qu'elle n'affichait aucun résultat puisque qu'elle est principalement

employée dans le domaine de l'éducation et qu'elle est recommandée par les services de bibliothèque afin de desservir les recherches effectuées dans le domaine de l'éducation physique.

Les mots clés ont été employés dans PubMed avec la stratégie de recherche suivante: alpine [All Fields] AND ("skiing"[MeSH Terms] OR "skiing"[All Fields]) AND ("physiology"[Subheading] OR "physiology"[All Fields] OR "physiology"[MeSH Terms]). La recherche dans Scopus a été faite avec les mêmes mots clés, soit "alpine" et "skiing" et "physiology", dans les titres, les résumés et les mots clés, tandis qu'elle a été performée dans tous les champs dans SPORTDiscus.

La confirmation de la qualité des mots clés et des résultats de recherche a été faite en comparant notre stratégie de recherche avec les deux revues systématiques les plus récentes publiées sur le ski alpin, provenant toutes deux du même auteur et publiées dans la revue scientifique *Sports Medecine* (Hébert-Losier et Holmberg, 2013; Hébert-Losier *et al.*, 2013).

### 3.1.2 Recherche manuelle

Des recherches manuelles ont été effectuées à partir de la liste de référence de tous les articles retenus, dans la collection personnelle de l'auteur, ainsi que dans les rapports de colloques scientifiques *science and skiing*. Les articles de ces rapports présentent des *keynotes* et des présentations orales du *International Congress on Science and Skiing* qui ont été sélectionnés et révisés par les pairs puis confrontés au jugement éditorial avant d'être publiés. Ce congrès est organisé à peu près à tous les quatre ans (1996-2000-2004-2007-2010-2013) et fait partie intégrante du programme de la Commission Mondiale de la Science et du Sport.

## 3.2 Critères d'inclusion et d'exclusion

### 3.2.1 Duplicata

Tous les doublons d'articles ont été exclus en plaçant tous les titres en ordre alphabétique dans EndNote X7. Si deux articles avaient le même titre et les mêmes auteurs, l'un d'eux a été identifié comme un doublon et a été exclu.

### 3.2.2 Titre

Si en lisant le titre les auteurs pouvaient clairement identifier que les sujets de l'étude n'étaient pas des coureurs alpins appartenant à un groupe homogène où tous étaient de même sexe (homme/femme) et de même niveau (international, national ou régional); l'article était exclu.

### 3.2.3 Résumé

Si en lisant le résumé, les auteurs pouvaient clairement identifier que les sujets de l'étude n'étaient pas des coureurs alpins appartenant à un groupe homogène où tous étaient de même sexe (homme/femme) et de même niveau (international, national ou régional); l'article était exclu.

### 3.2.4 Texte

Si l'article ne contenait pas de données ou de corrélations; il était exclu. Si l'article contenait des données ou des corrélations, nous vérifions par la suite si les données ou les corrélations provenaient d'un groupe homogène dont tous les membres étaient de même sexe (homme/femme) et de même niveau (international, national ou régional). Les sujets du groupe devaient être des skieurs alpins participants à une ou plusieurs de ces disciplines. : Slalom, Slalom Géant, Super Géant, Descente ou Skicross. S'il y avait possibilité de dupliquer un individu dans la base de données, ce qui veut dire que si deux articles présentaient des données de skieurs provenant d'un même pays, étant de

même sexe et de même niveau qui avaient été recueillies à des dates où il y avait possibilité de duplicata, les données de l'article provenant du groupe avec le plus grand nombre de sujets étaient retenues.

### 3.2.5 Critères spécifiques aux données du profil athlétique

Les données des groupes de skieurs devaient être présentées sous forme de moyennes. Les moyennes retenues devaient obligatoirement être accompagnées d'un écart type. Si les données provenaient d'une intervention, les données post intervention étaient retenues. Si les données étaient recueillies plus d'une fois, les données les plus récentes étaient retenues. Ces deux derniers critères permettent aux données de provenir de skieurs établis depuis plus longtemps au même niveau; augmentant la validité de ceux-ci.

Les moyennes présentant le poids des individus devaient être accompagnées de la grandeur ou du pourcentage de gras pour être incluses. La relation inverse était aussi vraie. Les données de grandeur et de pourcentage de gras devaient être accompagnées du poids pour être incluses. Ceci a été fait pour calculer l'indice de masse corporelle (IMC) à partir du poids et de la grandeur et la masse maigre à partir du poids et du pourcentage de gras.

### 3.2.6 Critères spécifiques à la méta-analyse

Les données devaient présenter corrélation mettant en relations un facteur physiologique provenant d'un groupe de skieurs homogène et une mesure de performance du même groupe. Seulement les corrélations appartenant à des groupes de skieurs performants ont été acceptées, soit de niveau national ou international.

### 3.3 Extraction et Classification des données

#### 3.3.1 Extraction et Classification des données pour le profil athlétique

Les données extraites des différentes études servant à bâtir le profil athlétique ont été classifiées dans un fichier de type Excel (Microsoft Corp., USA) selon les caractéristiques des études (année de publication, auteur, pays), les caractéristiques du groupe de skieurs (nombre, sexe et niveau), les valeurs anthropométriques (incluant l'âge) et puis les résultats aux tests physiques.

Tableau 3.1 Exemple du fichier Excel de classification des données de la revue  
systématique

Année	Auteur	Pays	Sexe	Niveau	Nombre	Âge	Écart Type Âge	Grandeur (m)
1990	John Smith	É-U	F	I	17	23,1	1,6	1,63
2001	Marcel Brochu	Can	M	I	12	22,8	2,2	1,78
2001	Marcel Brochu	Can	M	N	22	18,8	0,9	1,76

#### 3.3.2 Extraction et Classification des données pour la méta-analyse

Les données extraites des différentes études incluses la méta-analyse ont été classifiées dans un fichier de type Excel (Microsoft Corp., USA) selon le facteur mis en relation avec la performance, les caractéristiques de l'étude (année de publication et auteur), les caractéristiques du groupe de skieurs (nombre, sexe, niveau, pays et discipline), la mesure de performance et les informations de la corrélation (r, p et type). Les corrélations ont ensuite été classées par facteurs sur différentes feuilles du même fichier Excel.

Tableau 3.2 Exemple du fichier Excel de classification des données de la méta-analyse

Facteur	Étude	n	S	N	P	D	Mesure de performance	r	p	Type de corrélation
Âge	Strojnik 2009	9	M	I	Slo	SL	Temps SL C1	0,876	0,002	Coefficient de corrélation Pearson
Âge	Aerenhout s 2012	6	F	I	-	SL	Pts FIS Comb	-0,31	-	Coefficient de corrélation Pearson
Margaria-Klamen stair run	Haymes 1980	12	M	I	US	SL	Classement Pts FIS SL	0,64	NI	Avec Classement des Pts FIS de 1977
%BF 3 Plis	Haymes 1980	12	M	I	US	SL	Classement Pts FIS SL	0,78	NI	Avec Classement des Pts FIS de 1977

### 3.4 Quantification et analyses

#### 3.4.1 Profil physiologique

Le premier objectif de la démarche statistique était d'effectuer la compilation des moyennes des divers paramètres mesurés sur des coureurs alpins présents dans la littérature, afin de bâtir un profil athlétique spécifique au sexe et au niveau de ceux-ci. Une fois que les données des articles retenus furent extraites et classifiées, les résultats des tests jugés équivalents appartenant à des skieurs de même sexe et de même niveau ont été jumelés afin de présenter les résultats sous forme de moyennes combinées. Ces moyennes et leurs écarts types ont été calculés à partir de Microsoft Excel. L'ensemble de ces résultats sont présentés dans la revue systématique au chapitre 4.

Tableau 3.3 Exemple : Données anthropométriques de skieurs alpins hommes

Niveau	Donnée	Âge (yrs)	Grandeur (m)	Poids (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Pourcentage de gras (%)	Masse maigre (kg)
Int	$\bar{x}$	23,01	1,79	78,82	24,63	11,48	72,55
	SD	3,37	4,25	6,39	-	2,74	-
Nat	$\bar{x}$	17,93	1,74	69,9	23,12	8,92	58,06
	SD	0,69	2,42	4,36	-	2,96	-
Reg	$\bar{x}$	17,17	1,76	70,43	22,72	9,28	62,13
	SD	0,75	1,83	2,55	-	1,26	-

#### 3.4.2 Méta-analyse

Le second objectif de la démarche statistique était de faire ressortir les différentes corrélations mesurées entre les paramètres physiologiques et la performance en ski alpin, pour les classer dans des tableaux de méta-analyse et les analyser avec le logiciel R version 3.3.2 Package Metafor.

La méta-analyse est une méthode systématique qui combine les données d'études indépendantes et qui, par analyse statistique, obtient une estimation numérique de taille d'effet d'une procédure particulière sur un résultat quelconque. Dans tous les calculs de méta-analyse que nous avons effectués, les méthodes variaient beaucoup d'un article à l'autre et le nombre d'articles très limité c'est pourquoi nous n'avons pas pu utiliser la méthode à multiniveaux et que nous avons suivi la recommandation de Borenstein qui était de combiner (résumer) les effets par article. (Borenstein *et al.*, 2009)

Les facteurs associés avec la performance présentant des corrélations provenant d'un seul article n'ont pas eu droit à une analyse de taille d'effet. Dans ceux qui ont été soumis à une analyse de taille d'effet, les facteurs physiologiques présentant des corrélations provenant de deux études différentes ont été analysés avec le modèle fixe

(*FE Model*), tandis que les facteurs présentant des corrélations provenant de plus de 2 études furent analysés avec le modèle aléatoire (*Random-Effects Model*). Lorsque les données de méta-analyse présentaient plusieurs corrélations d'un même facteur provenant des mêmes individus, donc de données jugées dépendantes, nous nous devions d'inclure une covariance dans le calcul. Cette dernière ne peut pas être calculée explicitement à moins que les covariances soient incluses dans l'article (ce qui n'est généralement pas le cas). Nous avons donc estimé les covariances à partir d'un coefficient de corrélation plausible entre les mesures (Borenstein *et al.*, 2009) et avons effectué des calculs préliminaires avec trois scénarios de corrélation possibles entre les mesures dépendantes : 0.1 (faible), 0.5 (moyenne) et 0.9 (forte). Nous aurions pu présenter une corrélation de 0,9, ce qui aurait été jugé comme conservateur, puisque plus la corrélation augmente, plus l'intervalle de confiance augmente, mais nous avons décidé de faire le choix de présenter les différents scénarios avec des corrélations fixées à 0.5, ce qui est considéré comme un effet moyen.

#### 3.4.3 Mesures de performance

Dans les études ressortis suite à la revue systématique mettant en relation différents facteurs physiologiques avec la performance en ski alpin, différentes mesures de performance ont été employées par les différents auteurs. Les mesures présentées dans les différents articles ont toutes été jugées équivalentes puisque dans toutes ces mesures, le skieur présentant les valeurs les plus faibles est le plus performant. Que ce soit avec des points FIS, un classement (*ranking*) ou un temps de parcours au contre la montre (*time trial*). C'est donc que si une valeur élevée de d'un facteur physiologique a un impact positif sur la performance on devrait pouvoir observer une corrélation négative.

#### 3.4.4 Combinaison des mesures pour un même facteur

Différents auteurs ont utilisé différentes méthodes pour mesurer le pourcentage de gras de leurs sujets (2, 3 ou 6 plis) avant de le mettre en relation avec la performance en ski alpin. Les différentes méthodes mesurant le pourcentage de gras ont été jugées équivalentes, malgré la différence de précision de chacune puisque tous les résultats de ces tests sont présentés sous forme de pourcentage.

La masse maigre a elle aussi été mise en relation avec la performance en ski alpin dans différents articles. Comme elle est calculée à partir du pourcentage de gras du sujet, les résultats de masse maigre provenant de différents articles ont tous été jugés équivalents.

Les différents tests de puissance des membres inférieurs ayant été mis en relation avec la performance en ski alpin sont : le VJ, le CMJ, le Squat et le *Margaria-Kalamen stair run*. Malgré leurs différents protocoles, ce sont tous des tests qui mesurent la puissance développée par les membres inférieurs et qui présentent leurs résultats en watts. Dans chacun de ces tests, le skieur le plus puissant demeure celui qui développe le plus de watts. Nous comprenons qu'il pourrait y avoir une légère variabilité entre les méthodes d'essai, mais nous les avons jugées équivalentes.

## CHAPITRE IV

### ATHLETIC PROFILE OF ALPINE SKI RACERS : A SYSTEMATIC REVIEW

Cette section présente une partie des résultats de cette recherche qui fut soumise sous forme d'article scientifique à la revue *The Journal of Strength & Conditioning Research*. Une première soumission avait été effectuée le jeudi 21 décembre 2017, alors qu'une seconde et une troisième soumission ont été effectuées respectivement le lundi 10 avril 2018 le mercredi 3 juillet 2018 en réponse aux demandes de correction de l'éditeur et ses arbitres.

#### 4.1 Abstract

The purpose of this study was to review all anthropometric and physical test results performed on alpine ski racers that were published in the scientific literature to build an athletic profile specific to the skier's sex and level. Four electronic databases were systematically searched using the following key words: *alpine skiing physiology*. The manual search was performed through the reference list of all suitable publications, the author's personal collection and the proceedings of the International Congresses on Science and Skiing. The search and selection strategy permitted to gather data from 28 peer reviewed publications that was collected on a total of 1107 skiers coming from 11 different countries. Results of this study present the athletic profile and also review the different testing protocols. Findings show that men generally present higher tests result than woman and that higher level ski racers generally present higher test results than lower level ski racers. The present review should serve as guidelines for professionals working with alpine ski racers since most of the factors presented in the athletic profile have previously been shown to be related with performance. Further research should include more details on the testing protocols used, be directed towards female athletes and present results from groups of athletes of the same sex and clearly identified as established at a certain level. These measures could help support further theoretical investigations.

**KEY WORDS:** Alpine skiing physiology, Anthropometry, Lower body power, Aerobic capacity, strength and conditioning, athlete

## 4.2 Introduction

Alpine skiing is a complex sport that can be affected by many variables. Over the years, scientific investigations have been through several testing protocols to measure physical, physiological and anthropometrical characteristics of alpine ski racers (Turnbull *et al.*, 2009). Most of these tests were undertaken to identify some of the factors related to performance in alpine ski racing.

To this day, several reviews have been published on alpine skiing, however, only two were published on alpine skiing physiology. The first review, published in 1988 by Andersen and Montgomery (Andersen, R. E. et Montgomery, 1988) presented 9 aspects on the topic: “physical characteristics, muscle fiber composition, muscle glycogen utilisation, anaerobic endurance, aerobic endurance, muscle strength and endurance, flexibility, and field tests and injury.” The second review, published in 2009 by Turnbull, Kilding and Keogh (Turnbull *et al.*, 2009), examined the different scientific investigations made on specific aspects of alpine skiing. Since the last review was accepted for publication in 2008 and published in 2009 (Turnbull *et al.*, 2009), we believed that starting a systematic review in 2016 would bridge the 8 year gap in alpine skiing physiology by combining the results from the most recent and earlier publications.

The hypothesis of this theoretical research was that by using a systematic approach, authors would be able to review the different physical fitness tests performed on alpine ski racers throughout the years and regroup these test results into tables that would present an athletic profile specific to the skier’s biological sex and competitive level. The rationale is based from other disciplines (running, sprinting and cycling) where it was reported that using various laboratory and field tests (horizontal and vertical jumps, triple jump, leg press, and squat lift), appear to be reasonable tools to predict performance (Hopkins *et al.*, 2001). As well, the relevance in alpine skiing is based on

studies that have already demonstrated correlations between the performance of alpine ski racers at the regional, national or international level with age (Aerenhouts *et al.*, 2012; Strojnik et Dolenc, 2009), height (Aerenhouts *et al.*, 2012), weight (Aerenhouts *et al.*, 2012; Haymes et Dickinson, 1980), BMI (Aerenhouts *et al.*, 2012), body fat percentage (Aerenhouts *et al.*, 2012; Emeterio et González-Badillo, 2010; Haymes et Dickinson, 1980), lean body weight (Emeterio et González-Badillo, 2010; Geissler *et al.*, 2012; Haymes et Dickinson, 1980), lower body power (Emeterio et González-Badillo, 2010; Haymes et Dickinson, 1980), power endurance (Emeterio et González-Badillo, 2010) and aerobic capacity (Haymes et Dickinson, 1980; Neumayr *et al.*, 2003). Thus, the results of this systematic review could serve as guidelines for investigators and strength and conditioning specialists when working with alpine ski racers, whether it be for building a test battery or setting physical capacity benchmarks for their athletes to perform at a higher level.

### 4.3 Methods

#### 4.3.1 Data Sources and Search Strategy

The systematic search process used for selecting the scientific publications was made following the PRISMA transparent reporting method (Moher *et al.*, 2009) and is outlined in Figure 1. The systematic search proceeded in November 2016 through the four essential electronic databases in exercise science suggested by the University of Quebec in Montreal (UQÀM) library services, which are: PubMed, SCOPUS, SPORTDiscus and ERIC - ProQuest using the key words: *alpine skiing physiology*. The search terms in PubMed were employed with the following strategy: alpine [All Fields] AND ("skiing"[MeSH Terms] OR "skiing"[All Fields]) AND ("physiology"[Subheading] OR "physiology"[All Fields] OR "physiology"[MeSH Terms]). The search in Scopus was performed with the same terms "alpine" and "skiing" and "physiology", in titles, abstracts and key words, while the searches in

SPORTDiscus and ERIC - ProQuest were performed in all fields. Confirmation of the key words, publication quality and number of hits was made by comparing the search strategy within with previous systematic reviews on alpine skiing published by Hebert-Loisier in Sports Medicine (Hébert-Loisier et Holmberg, 2013; Hebert-Loisier *et al.*, 2013).

#### 4.3.1.1 Manual Search

The manual search was performed in the reference list of all suitable publications, in the author's personal collection and in the book collection of the Proceedings from the International Congresses on Science and Skiing. This congress is held every three to four years and is part of the World Commission of Sports and Science. Articles from the congress present keynotes and oral presentations that were subject to peer review and editorial judgement prior to being published.

#### 4.3.2 Inclusion and Exclusion Criteria

##### 4.3.2.1 Duplicates

All duplicated articles were discarded by placing titles in alphabetical order in EndNote X7.4.

##### 4.3.2.2 Title

If by reading the title, authors could not clearly identify that the groups presented in the study were groups of alpine ski racers of the same sex (male/female) and of one of these three levels: international, national or regional; the article was discarded.

#### 4.3.2.3 Abstract

If by reading the abstract, authors could not clearly identify that the groups presented in the study were groups of alpine ski racers of the same sex (male/female) and of one of these three levels: international, national or regional; the article was discarded.

#### 4.3.2.4 Text

If by screening the text, authors could not find any data, the article was discarded. If data was found, authors then verified if the data met the different data criteria. Only English peer reviewed scientific publications were accepted, regardless of the publication year.

#### 4.3.2.5 Data

Data had to be presented as group means. All sample means had to present the number of skiers and standard deviation, as well as skiers of the same sex (male/female) and level [International (Int), National (Nat) or Regional (Reg)]. Skiers included in the means had to be practicing one of these alpine ski racing disciplines: Slalom (SL), Giant Slalom (GS), Super Giant Slalom (SG), Downhill (DH) or Ski Cross. If means were presented at different points in time, the most recent mean was used; making the skiers established at a certain level for a longer period of time. If two different articles presented means from groups of skiers of the same country, sex, level and it had been taken at points in time where there was a possibility of a skier's duplicate, the mean from the group of skiers with the larger  $n$  was retained and the other one was discarded. This was to reduce possibilities of duplicating a skier in the data. Weight means had to be accompanied by either height or body fat percentage (BF%) means to be included and as an inverse relationship, height and BF% means had to be accompanied by weight means to be included. This was done so we could calculate body mass index (BMI)

means from height and weight and lean body weight (LBW) means from weight and BF% means. In addition, assessment of risk of bias was controlled by carefully reading research protocols (methodology) and only using data that presented standard deviations.

#### 4.3.3 Data Extraction and Classification

Means extracted from the individual studies were entered in a Spreadsheet (Excel, Microsoft, Corp, USA) and classified by publication characteristics: year of publication, author and country. The rest of the information was entered in the following order: group characteristics (number of skiers, sex and level), anthropometry means (including age), and physical testing results means (testing method, sample mean and SD).

#### 4.3.4 Classification of Skier Level

Ski racers were classified as follows: international (int) for those participating in competitions up to the international level; national (nat) for those participating in competitions up to the national level; regional (reg) for those participating in competitions up to the provincial, state or regional level. Results from NCAA, collegiate or high-school levels were only included if all the athletes were competing within the same level and could be classified as international, national or regional.

#### 4.3.5 Result Table Methodology

##### 4.3.5.1 Values

Once all suitable data was entered, a procedure for matching test results was performed in the spreadsheet to combine means from tests done on skiers of the same sex and level. Tests with a lack or absence of matches were discarded. Each test result is presented as a combined mean ( $\bar{x}$ ) complemented with a combined standard deviation

(SD). Combined means and standard deviations were not normalised to their respective  $n$  before being combined. This unconventional approach was adopted so that all data would be comparable from an observation standpoint and that the main goal of the systematic review would be respected, i.e., present benchmark tables for strength and conditioning specialists as a guideline for further interventions with alpine ski racers of various sex and levels. Presenting weighted  $\bar{x}$  and SD in the result tables would have misrepresented the test results and would mislead strength and conditioning specialists in their work. Data collection methods are presented in result tables only for Squat Jump (SJ) and Counter Movement Jump (CMJ). This was done to properly compare these tests results.

#### 4.3.5.2 Anthropometry

The combined means presented for BF% include groups assessed with different testing methods. These different methods include: 2, 3, 4, 6, 7 or 8 skin folds, hydrostatic weighing and DXA. Some authors did not mention what methods were used to measure BF%, but nonetheless, their data was included; assuming authors used valid methods when publishing results in scientific literature. Sample means for BF% were combined from different assessment methods to obtain a larger  $n$  (number of skiers) for the presented combined means, accepting the standard error and precision differences for each BF% assessment method. Data that presented skinfold millimetre thickness without providing BF% was not retained. Both scientific investigations that presented thigh circumference (Thigh) means did not specify measuring methods, but were still included in the presented combined means. BMI and (LBW) were calculated with these standard formulas:  $BMI = kg/m^2$ ;  $LBW = BW - (BF\% * BW)$ ; from the height, body weight (BW) and BF% values of the combined means. This was made to be able to present BMI and LBW combined means with the largest  $n$  possible, since most papers included height, weight and BF% but not BMI and LBW. Standard deviations were not

calculated for BMI and LBW, since calculations of these values were made out of height and BW and BW and BF% respectively, and most authors did not include a covariance for Height, BW and BF%.

#### 4.3.5.3 Lower Body Power

The squat jump SJ and CMJ data included from the studies were measured by either force plates (FP) or contact mats (CM) and it is specified when the subjects jumped without the help of their hands (NH). Means were considered from a SJ when athletes were instructed to start in a still squat position and were considered for the CMJ when athletes were instructed to go down and up into a vertical jump. Means were not retained if specifications for jump execution were not presented in the article. The Broad Jump (BroadJ) testing protocol did not confirm how distance was measured in the only research included (Gorski *et al.*, 2014). Standard BroadJ protocols usually have subjects stand stationary behind a line and jump as far as they can with the use of their arms. The distance traveled is usually measured from the starting point (toes) to the closest landing point of the heels. The five broad jump (5BroadJ) test is similar to the broad jump test except that athletes have to execute five consecutive broad jumps instead of one. Distance traveled is measured from toes to heels. The 90 second box jump test (BJ90) has athletes jump laterally on and off of a box while keeping their feet together and alternating sides. The recorded score is the number of times subjects hit the top of the box with both feet synchronized. Different box heights have been used for the BJ90 test. Three authors used 40 cm Boxes (Andersen, Ross E *et al.*, 1990; Brown et Wilkinson, 1983; Reid *et al.*, 1997) and one author used a 44cm box (Gorski *et al.*, 2014). Two authors mentioned the box width used: 40cm (Brown et Wilkinson, 1983) and 51 cm (Reid *et al.*, 1997) and two authors did not (Andersen, Ross E *et al.*, 1990; Gorski *et al.*, 2014).

#### 4.3.5.4 Wingate

Different authors have used different Wingate protocols that varied in test durations and resistances. White (White et Johnson, 1991) and Bacharach (Bacharach et von Duvillard, 1995), used a resistance of 75g per kg of BW while Andersen (Andersen, Ross E *et al.*, 1990) used a resistance of 0.075kp per kg of BW and Emeterio (Emeterio et González-Badillo, 2010) used a resistance of 7.5% of BW. Means were combined if tests were of the same duration since all resistances were considered equivalent. Combined means are presented as Wingate Peak and Average (Avg).

#### 4.3.5.5 VO<sub>2</sub>max and Other Tests

Four different combined means were calculated for VO<sub>2</sub>max: VO<sub>2</sub>max with treadmill (VO<sub>2</sub> Tread), Relative VO<sub>2</sub>max with treadmill (VO<sub>2</sub>R Tread), VO<sub>2</sub>max with bicycle ergometer (VO<sub>2</sub> Ergo) and Relative VO<sub>2</sub>max with bicycle ergometer (VO<sub>2</sub>R Ergo). Combined means presented in the result tables consist of protocols where authors gradually increased the speed and the grade of treadmills. In contrast, authors that used bicycle ergometer tests gradually increased resistance. Testing protocols were all different but considered equivalent since they all measured VO<sub>2</sub>max.

Both hexagon tests (Hex Test) combined in the result tables had a hexagon that consisted of six hurdles measured in cm (3x20+25+32+35). In the hexagon test used by Reid (Reid *et al.*, 1997), athletes received a ready, set, go signal, then performed three laps around the hexagon in one direction, up and over the hurdles executing two footed jumps, and stopped. Athletes would then get a two to three minute break between each trial and do two to three trials in each direction (with a minimum of two trials clockwise and two trials counter clockwise). The best trials in each direction were then summarized for a total score. In the hexagon test used by Andersen (Andersen, Ross E *et al.*, 1990), athletes had to do three laps clockwise, stop, and then go back

counter clockwise for another three laps before time was stopped. Subjects would get three trials and the best of three was recorded for a final score.

The push-up test results were all from the same article (Gorski *et al.*, 2014). In this testing protocol, each phase of the push up lasted one second and athletes were asked to go to full elbow extension when getting up and had to have their forehead touch the mat at the bottom.

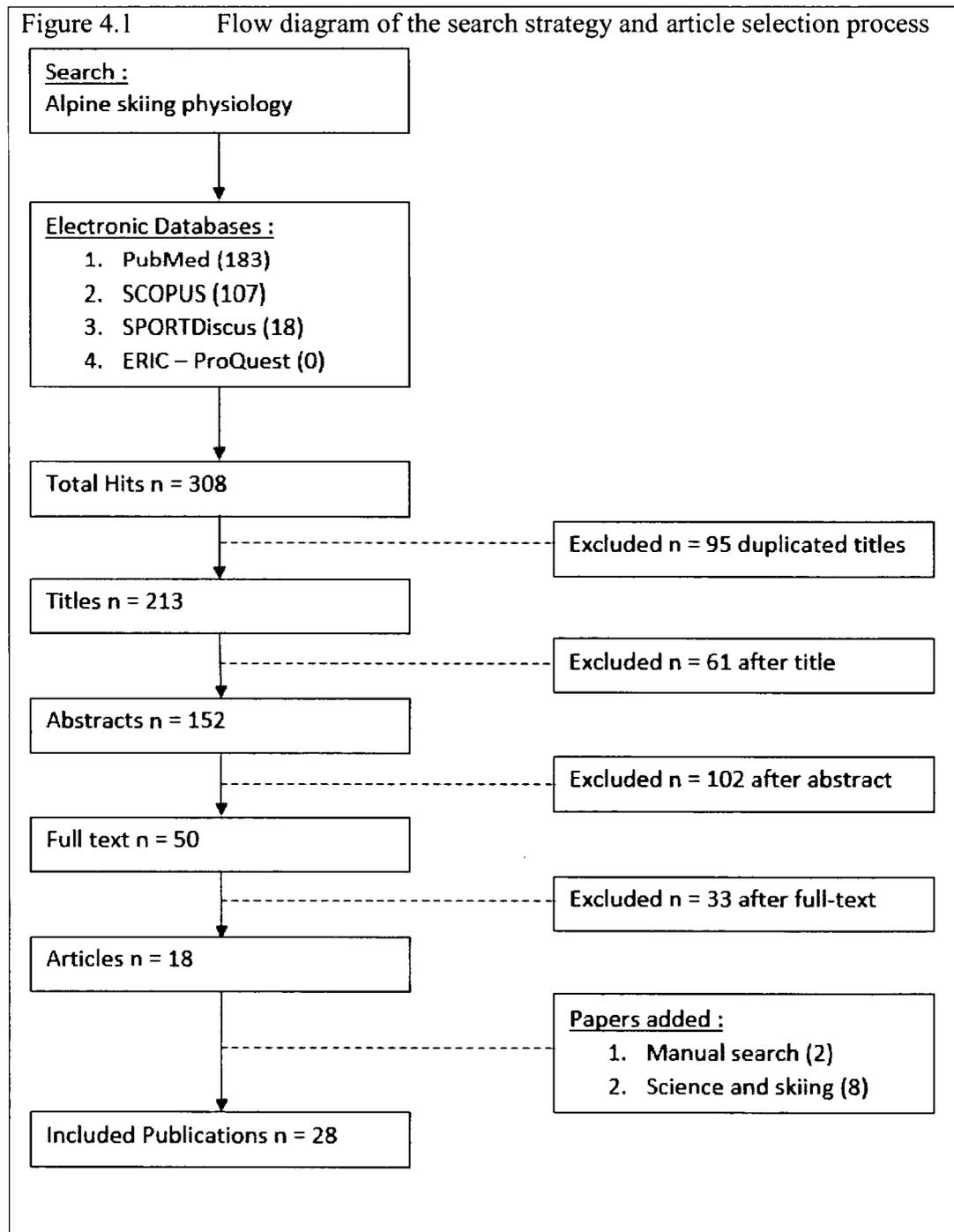
Sit and reach test (Sit n Reach) results also all came from the same article (Brown et Wilkinson, 1983). Subjects performed five minutes of static stretching before performing the test. Authors used the Modified Wells and Dillon testing protocol.

#### 4.4 Results

##### 4.4.1 Search Results

The systematic search and the manual search yielded 32 publications containing suitable data. Out of those 32, 4 were discarded: 1 for no matching test results and 3 because of the risk of duplicating skiers (testing teams of the same country and levels in short periods of time). Therefore, results include 28 different scientific publications published from 27 different first authors between 1980 and 2015. Out of those 28; 18 were scientific articles from the systematic search (Abe *et al.*, 1992; Andersen, Ross E *et al.*, 1990; Bacharach et von Duvillard, 1995; Bosco *et al.*, 1994; Brown et Wilkinson, 1983; Emeterio et González-Badillo, 2010; George *et al.*, 1999; Gorski *et al.*, 2014; Gross, M.Bieri, *et al.*, 2014; Gross, M. A. *et al.*, 2009; Haymes et Dickinson, 1980; Jordan *et al.*, 2015; Liphardt *et al.*, 2015; Lombardi *et al.*, 2010; Neumayr *et al.*, 2003; Saibene *et al.*, 1985; Veicsteinas *et al.*, 1984; White et Johnson, 1991), 2 were scientific articles from the manual search (Berg *et al.*, 1995; Laurent *et al.*, 1993) and 8 were scientific investigations presented in the Proceedings collection on Science and Skiing from the manual search (Aerenhouts *et al.*, 2012; Geissler *et al.*, 2012; Gomez-Lopez

*et al.*, 2012; Huber *et al.*, 2015; Impellizzeri *et al.*, 2009; Reid *et al.*, 1997; Strojnik et Dolenc, 2009; Taeymans *et al.*, 2012).



#### 4.4.2 Result Tables

Tables 1 to 8 present data from 27 different variables collected on alpine skiers, which are: Age, Height, Weight, BMI, BF%, LBW, Thigh, SJ (cm), SJ (W/kg), CMJ (cm), CMJ (W/kg), BroadJ, 5BroadJ, BJ90, Win 30 Peak, Win 30 Avg, Win 60 Peak, Win 60 Avg, Win 90 Peak, Win 90 Avg, VO<sub>2</sub> Tread, VO<sub>2</sub>R Tread, VO<sub>2</sub> Ergo, VO<sub>2</sub>R Ergo, Hex Test, Push Ups and Sit n Reach. Data presented in these tables includes 1107 skiers (718 males and 389 females) from 62 different groups and 11 countries.

Table 4.1      **Anthropometry of male alpine ski racers**

Level	Data	Age (yrs)	Height (m)	Weight (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	BF% (%)	LBW (kg)	Thigh (cm)
Int	$\bar{x}$	23.01	1.79	78.82	24.63	11.48	72.55	60.75
	SD	3.37	4.25	6.39	-	2.74	-	2.11
	<i>n</i>	354	497	497	497	298	298	77
Nat	$\bar{x}$	17.93	1.74	69.9	23.12	8.92	58.06	-
	SD	0.69	2.42	4.36	-	2.96	-	-
	<i>n</i>	89	89	89	89	24	24	-
Reg	$\bar{x}$	17.17	1.76	70.43	22.72	9.28	62.13	-
	SD	0.75	1.83	2.55	-	1.26	-	-
	<i>n</i>	84	84	84	84	11	11	-

Table 4.2 Lower body power of male alpine ski racers

Level	Data	SJ (cm)	SJ (W/kg)	CMJ (cm)	CMJ (W/kg)	BroadJ (m)	5BroadJ (m)	BJ90 (hits)
Int	$\bar{x}$	43.01	51.2	48.65	55.84	2.56	13.65	92.58
	SD	4.24	3.56	4.69	4.32	0.15	0.87	6.59
	<i>n</i>	21	8	50	17	159	159	186
	Methods	FP NH	FP NH	FP NH	FP NH	-	-	-
Nat	$\bar{x}$	-	-	34.4	25.5	-	13.1	90.53
	SD	-	-	7.7	2.9	-	0.2	1.63
	<i>n</i>	-	-	16	16	-	9	57
	Methods	-	-	CM NH	CM NH	-	-	-
Reg	$\bar{x}$	-	-	53.4	15.8	-	13.1	83.01
	SD	-	-	1.8	0.33	-	0.2	2.02
	<i>n</i>	-	-	14	11	-	14	-
	Methods	-	-	Vertec	Vertec	-	-	40 cm

Table 4.3 Wingate results of male alpine ski racers

Level	Data	Win 30 Peak (W)	Win 30 Avg (W)	Win 60 Peak (W)	Win 60 Avg (W)	Win 90 Peak (W)	Win 90 Avg (W)
Int	$\bar{x}$	836	735	-	-	-	-
	SD	26	16	-	-	-	-
	<i>n</i>	12	12	-	-	-	-
Nat	$\bar{x}$	798.5	653.32	798.1	486.3	885.1	554.5
	SD	160.62	131.24	25.9	10.3	70.8	46.3
	<i>n</i>	34	34	9	9	10	10
Reg	$\bar{x}$	772	616	836.3	507.8	-	-
	SD	37	24	27.3	9.6	-	-
	<i>n</i>	11	11	14	14	-	-

Table 4.4 Aerobic capacity and Other tests results of male alpine ski racers

Level	Data	VO <sub>2</sub> Tread (l/min)	VO <sub>2</sub> R Tread (ml/kg/min)	VO <sub>2</sub> Ergo (l/min)	VO <sub>2</sub> R Ergo (ml/kg/min)	Hex Test (s)	Push- Ups (reps)	Sit n Reach (cm)
Int	$\bar{x}$	4.71	58.34	4.42	55.98	29.05	97.23	45.9
	SD	0.46	3.32	0.33	3.99	0.4	24.14	1.5
	<i>n</i>	30	18	21	95	17	159	10
Nat	$\bar{x}$	4.018	58.9	-	53.4	31.73	-	49.1
	SD	0.35	2.19	-	0.74	0.5	-	0.9
	<i>n</i>	8	8	-	8	47	-	10
Reg	$\bar{x}$	4.44	61.6	-	51.4	33.08	-	43.3
	SD	0.2	1.8	-	1.41	0.67	-	1.2
	<i>n</i>	22	22	-	.11	51	-	22

Table 4.5 Anthropometry of female alpine ski racers

Level	Data	Age (yrs)	Height (m)	Weight (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	BF% (%)	LBW (kg)	Thigh (cm)
Int	$\bar{x}$	21.11	1.67	64.84	23.24	20.44	51.5	57.2
	SD	2.98	3.59	6.29	-	3.63	-	3.33
	<i>n</i>	237	281	281	281	209	209	39
Nat	$\bar{x}$	16.94	1.65	59.16	21.68	18.46	45.75	-
	SD	0.62	1.07	3.8	-	2.99	-	-
	<i>n</i>	44	44	44	44	21	21	-
Reg	$\bar{x}$	16.64	1.64	59.7	22.16	20.96	46.33	-
	SD	0.15	1.52	1.59	-	1.51	-	-
	<i>n</i>	32	32	32	32	7	7	-

Table 4.6 Lower body power of female alpine ski racers

Level	Data	SJ (cm)	SJ (W/kg)	CMJ (cm)	CMJ (W/kg)	BroadJ (m)	5BroadJ (m)	BJ90 (hits)
Int	$\bar{x}$	-	41.95	-	42.8	2.19	11.5	75.87
	SD	-	5.31	-	4.4	0.12	0.63	8.01
	<i>n</i>	-	10	-	10	58	58	81
	Methods	-	FP NH	-	FP NH	-	-	-
Nat	$\bar{x}$	29.8	-	-	23.5	-	-	68.17
	SD	2.6	-	-	1.69	-	-	2.99
	<i>n</i>	15	-	-	15	-	-	23
	Methods	CM NH	-	-	CM NH	-	-	40 cm
Reg	$\bar{x}$	-	-	-	13.6	-	-	57.83
	SD	-	-	-	0.25	-	-	2.44
	<i>n</i>	-	-	-	7	-	-	25
	Methods	-	-	-	Vertec	-	-	-

Table 4.7 Wingate results of female alpine ski racers

Level	Data	Win 30 Peak (W)	Win 30 Avg (W)	Win 60 Peak (W)	Win 60 Avg (W)	Win 90 Peak (W)	Win 90 Avg (W)
Int	$\bar{x}$	669	546	-	-	-	-
	SD	14	9	-	-	-	-
	<i>n</i>	17	17	-	-	-	-
Nat	$\bar{x}$	613.74	486.78	-	-	666.7	413.6
	SD	79.54	59.42	-	-	87.7	69.7
	<i>n</i>	29	29	-	-	8	8
Reg	$\bar{x}$	572	434	-	-	-	-
	SD	30	25	-	-	-	-
	<i>n</i>	7	7	-	-	-	-

Table 4.8 Aerobic capacity and Other tests results of female alpine ski racers

Level	Data	VO <sub>2</sub> Tread (l/min)	VO <sub>2</sub> R Tread (ml/kg/min)	VO <sub>2</sub> Ergo (l/min)	VO <sub>2</sub> R Ergo (ml/kg/min)	Hex Test (s)	Push- Ups (reps)	Sit n Reach (cm)
Int	$\bar{x}$	3.1	-	-	50.27	29.68	76.19	-
	SD	0.24	-	-	3.81	0.3	16.53	-
	<i>n</i>	13	-	-	44	23	58	-
Nat	$\bar{x}$	-	-	-	45.5	32.53	-	-
	SD	-	-	-	0.46	0.42	-	-
	<i>n</i>	-	-	-	6	23	-	-
Reg	$\bar{x}$	-	-	-	42.4	33.66	-	-
	SD	-	-	-	1.09	0.53	-	-
	<i>n</i>	-	-	-	7	25	-	-

## 4.5 Discussion

### 4.5.1 Observational Results

The main observational result that came from regrouping the data from the systematic search into the eight tables is that the skier's sex and ski racing level contribute to most differences in test results. Therefore, as a general tendency, men have higher results than woman and higher level ski racers have higher results than lower level ski racers. There are, however, a few exceptions where lower level athletes have better results than athletes of the level above them. Tests results that presented higher results for  $M_{NAT}$  than  $M_{INT}$  are VO<sub>2</sub>R Tread ( $58.9 \pm 2.19$  vs  $58.34 \pm 3.32$  ml/kg/min) and Sit n Reach ( $49.1 \pm 0.9$  vs  $45.9 \pm 1.5$  cm). Tests results that present higher results for  $M_{REG}$  than  $M_{NAT}$  are: Weight ( $70.43 \pm 2.55$  vs  $69.9 \pm 4.36$  kg), BF% ( $9.28 \pm 1.26$  vs  $8.92 \pm 2.96$  %), LBW ( $62.13$  vs  $58.06$  kg), CMJ (cm) ( $53.4 \pm 1.8$  vs  $34.4 \pm 7.7$  cm), Win 60 Peak ( $836.3 \pm 27.3$  vs  $798.1 \pm 25.9$  W), Win 60 Avg ( $507.8 \pm 9.6$  vs  $486.3 \pm 10.3$  W), VO<sub>2</sub> Tread ( $4.44 \pm 0.2$  vs  $4.018 \pm 0.35$  l/min) and VO<sub>2</sub>R Tread ( $61.6 \pm 1.8$  vs  $58.9 \pm 2.19$  ml/kg/min). All values for female national level skiers ( $F_{NAT}$ ) are, as expected, lower than female international

level skiers ( $F_{INT}$ ). Tests results that present higher results for  $F_{REG}$  than  $F_{NAT}$  are: Weight ( $59.7 \pm 1.59$  vs  $59.16 \pm 3.8$  kg), BMI (22.16 vs 21.68), BF% ( $20.96 \pm 1.51$  vs  $18.46 \pm 2.99$  %) and LBW (46.33 vs 45.75 kg). Empty spaces in the results tables indicate that no suitable data was found.

Many secondary findings came from the systematic research. Very few results are presented for female athletes, as shown in tables 5 to 8. Many authors presented values coming from groups of unclear classification level, which had to be discarded. Several authors did not specify what testing protocols were used in their studies when publishing data. It is proposed that investigators should always clearly identify the level of the athletes and specify the testing protocols used when presenting data and that referees in peer reviewed journals should encourage authors to do so. These type of specifications could help to support further theoretical research.

#### 4.5.2 Anthropometry

Anthropometry results that present higher means for  $M_{REG}$  than  $M_{NAT}$  (height, weight and LBW) could be explained by the fact that these combined means do not present skiers coming from the same studies. Anthropometry results that present higher means for  $F_{REG}$  than  $F_{NAT}$  (Weight, BMI and LBW) could be explained by the same previously mentioned reason.

#### 4.5.3 Lower Body Power

As for lower body power, some results are not as expected, i.e., the  $M_{REG}$  had higher CMJ results than  $M_{NAT}$  and  $M_{INT}$ . This can be attributed to a difference in the way the CMJ test was performed.  $M_{INT}$  and  $M_{NAT}$  were evaluated with the use of Force plates (FP) and Contact Mats (CM) respectively and were both prohibited from using their arms during the test, while  $M_{REG}$  testing was performed with the Vertec and subjects were permitted to use their arms. It is known that the use of the arms increases jump

height significantly as confirmed by a study on “the effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping”(Hara *et al.*, 2006).

Although the Vertec and the Sargent jump testing methods are very practical for field testing CMJ, a recent study has shown that the Vertec and the Contact mat do not provide valid measures when measuring vertical jump height, but that force plates and a belt mat do (Buckthorpe *et al.*, 2012). For this reason, it is recommended, when possible, to use the more reliable method. However, if assessors decide to use the contact mat to assess vertical jump height, they should be aware that flight time is used to estimate jump height and that jumping and landing positions must be standardised. Having subjects leave the mat from their toes and landing on their heels could overestimate jump height. Optical systems could be a more precise and cheaper alternative as well. (Bui *et al.*, 2015)

As for BroadJ assessments, a study has shown that the means of recorded trials differed significantly and this is why the authors have recommended to include at least one practice jump before testing the subjects (Markovic *et al.*, 2004).

The BJ90 test is very common in field testing for competitive alpine skiing (Gross, M., Hemund, *et al.*, 2014). According to a study performed by Gross on Junior Elite alpine skiers (Gross, M., Hemund, *et al.*, 2014), the BJ90 test revealed that 63.3% (+-2,8) of its energy demands come from the aerobic system. These results differ from the values published by Veicsteinas in 1984 (Veicsteinas *et al.*, 1984) that measured energy sources in SL and GS: 30-35% Aerobic, 40% Anaerobic Lactic and 25-30% Anaerobic Alactic; and differ also from the values published by Saibene in 1985 (Saibene *et al.*, 1985) that measured energy sources in GS: 46.4% Aerobic, 25.3% Anaerobic lactic and 28.3% Anaerobic Alactic.

Even though the physiological demands of the BJ90 do not seem to quite match the ones of alpine skiing events, the study by Gross also states that the BJ90 requires physical abilities similar to SL and GS; demanding “good bilateral coordination, explosive leg power, and large amounts of eccentric leg work, as well as near maximal aerobic and anaerobic energy production.” (Gross, M., Hemund, *et al.*, 2014) Other authors have also suggested to keep track of the number of hits athletes complete per 30 seconds and observe different performance curves between slalom and downhill skiers; knowing a slalom event lasts about 45-60 sec, GS 60-90 sec, SG 1-2min and DH 2-3 min (Turnbull *et al.*, 2009).

#### 4.5.4 Wingate (muscle endurance power)

Results for Win 60 Peak and Avg that are higher for  $M_{REG}$  than  $M_{NAT}$  come from the study of Andersen that did not include any explanations for these unexpected results in their discussion (Andersen, Ross E *et al.*, 1990). The systematic search, has brought up that the Win 30 is the most commonly used test. Three authors (Bacharach et von Duvillard, 1995; Emeterio et González-Badillo, 2010; White et Johnson, 1991) have used the Win 30 in their studies compared to one authors for the Win 60 (Andersen, Ross E *et al.*, 1990) and one author for the Win 90 (Bacharach et von Duvillard, 1995). Some researchers believe that alpine skiing test batteries should include a Win 60 or 90 instead of a Win 30, due to the duration of a ski event (45 sec to 3 mins) (Turnbull *et al.*, 2009). As previously mentioned in the review from Turnbull, the work of Bacharach (Bacharach et von Duvillard, 1995) has shown that SL skiers develop a higher peak watt and that DH skiers develop a higher watt average. It also mentions that the crossing of this data happens after 30 seconds, which would justify using longer duration Wingate tests.

#### 4.5.5 Aerobic Capacity and Other Tests

VO<sub>2</sub>R Tread results that present higher means for M<sub>REG</sub> than M<sub>NAT</sub> and VO<sub>2</sub>R Tread that present higher means for M<sub>REG</sub> than M<sub>NAT</sub> and M<sub>INT</sub> could not be explained, but it is important to mention that the lowest VO<sub>2</sub> values all come from Italian athletes (Saibene *et al.*, 1985; Veicsteinas *et al.*, 1984). As previously mentioned, results from these studies have shown a contribution of 30-35% of the aerobic system in SL and GS (Veicsteinas *et al.*, 1984) and 46.4% in GS (Saibene *et al.*, 1985). This could mean that the longer the event, the more aerobic system will contribute to energy supply. With the event duration that respectively increases from SL to DH, the contribution of the aerobic system will increase accordingly. Therefore, speed event competitors should focus more on aerobic capacities during training than technical event competitors. Additionally, recommendations should be made for skiers suffering from a knee injury to be tested on bicycle ergometers when possible (Turnbull *et al.*, 2009).

The discrepancies reported in the results section for the Hex tests results are possibly caused by the two different testing methods used in the studies. The testing protocol from the 1997 study (Reid *et al.*, 1997) had subjects perform three laps in one direction, time recording stopped, allowing time for the athletes to recover, before doing another three laps in the opposite direction. Subjects would also get two trials in each direction and the best trial time from each direction was retained, contributing to diminish the time required to complete the task. The earlier 1990 study required that athletes stop, and return back immediately, without a resting period, to do three laps in the other direction (Andersen, Ross E *et al.*, 1990). The differences in protocols could explain why the 1997 study presents lower results, i.e., quicker athletes, than the 1990 study. The 1997 results are the max of M<sub>REG</sub> and M<sub>NAT</sub> in the result tables, while the 1990 results are the min of M<sub>REG</sub> and M<sub>NAT</sub>.

The scores from the push-up tests are pretty high, but could be explained by the fact that athletes were asked to touch the mat with their forehead (athletes could cheat by sending the head downward) (Gorski *et al.*, 2014) and then go to full elbow extension.

Sit n Reach values were greater in  $M_{NAT}$  athletes than the other groups. The 1983 study by Brown states that: “above certain minimum levels of flexibility, performance level in alpine ski racing is not associated with further development of flexibility.”(Brown et Wilkinson, 1983) The sit and reach is a good test to measure overall flexibility and results are easily comparable since it is very common.

#### 4.6 Practical applications

As previously mentioned in the introduction, correlations between alpine ski racing performance and multiple physical characteristics of alpine ski racers presented in the athletic profile have already been demonstrated. Therefore, combined with proper testing, the values presented in the result Tables 1 to 8 could serve as benchmark values for the strength and conditioning specialists when working with athletes of a certain level to set training goals for their athletes to reach and perform at a higher level. The suggested testing battery coming from the results of this study is: Countermovement Jump (with Force Plates, Jump Mat or Optical System), Broad Jump (including at least 1 practice jump), the 90 second Box Jump (marking score every 30 seconds), a 90 seconds Wingate tests (Peak and Average), a  $VO_2$  max on ergocycle, a Hex Test (with one continuous time trial with 3 laps on each side with a change of direction in the middle (no break) and a Sit and Reach (to measure general flexibility for injury prevention).

#### 4.7 Limits

A limit of the present study is that groups of athletes are classified at a certain level (Int, Nat, Reg) but from different countries that might not be of equivalent level since

some countries perform better than others on the international scene (Turnbull *et al.*, 2009).

Another limit of this study is that there is a very little, but still present, possibility of a skier's duplicate in the data. Assuming a skier was a team member for an abnormally extended period of time or if a skier was a member of two different teams from two different levels or two different countries. Nonetheless, necessary measures were taken to minimize the risk of duplicating a skier's duplicate. Lastly, the present work is limited to analysing the published tests and results.

#### 4.8 Conclusion

In conclusion, by using a systematic approach, authors were able to review the different physical fitness tests performed on alpine ski racers throughout the years and to combine all suitable data from these tests results into result tables that present an athletic profile specific to alpine ski racers sex and level. Therefore, the hypothesis of this systematic review is accepted.

Further research should include more details on assessment used, testing female athletes of various levels and present results from groups of athletes of the same sex and clearly identified as established at a certain level. These measures could help support further theoretical investigations. The present work presents reference values that may be useful in the field of alpine skiing physiology.

#### 4.9 Acknowledgements

Authors would like to thank all authors referred in this study, all authors that were read but unfortunately not included, and all authors that help improve science in the field of strength and conditioning and alpine skiing. We would also like to thank Jean-Jacques Rondeau, PhD, from the UQÀM library services for his support with the methodical

search. The results of the present study do not constitute endorsement of the product by the authors or the National Strength and Conditioning Association. No funding was received for this research.

## CHAPITRE V

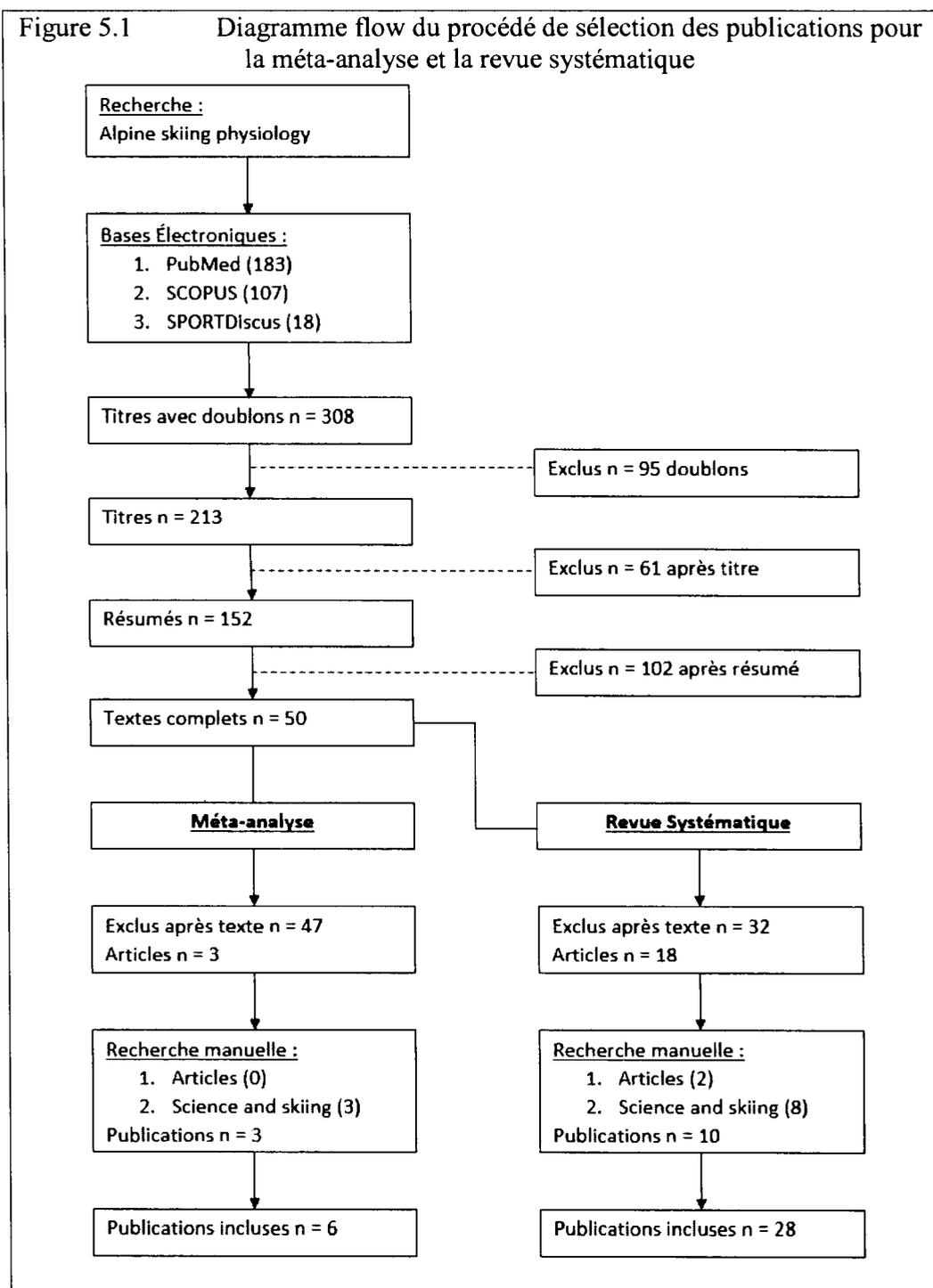
### RÉSULTATS DE LA META-ANALYSE

#### 5.1 Résultats de la revue systématique

Des 50 publications retenues après la lecture systématique des résumés, seulement 3 ont été retenues après la lecture de leur texte (Emeterio et González-Badillo, 2010; Haymes et Dickinson, 1980; Neumayr *et al.*, 2003), tandis que 3 autres ont été ajoutées suite à la recherche manuelle (Aerenhouts *et al.*, 2012; Geissler *et al.*, 2012; Strojnik et Dolenc, 2009); pour un total de 6 publications retenues pour la méta-analyse. Les 3 publications issues de la recherche manuelle provenaient toutes des recueils de colloques scientifiques: *Science and Skiing*. Les résultats des différentes étapes de la revue systématique effectuée parallèlement pour bâtir le profil athlétique et la méta-analyse sont présentés en détail dans la figure 5.1.

Les résultats de cette recherche n'ont pu être présentés dans un même article, faute du manque de données admissibles à la méta-analyse. Les résultats furent donc divisés en deux parties afin de pouvoir soumettre la partie des résultats présentant la revue systématique du profil athlétique des skieurs alpins de différents niveaux pour publication. Nous avons jugé que même si certains des résultats de la méta-analyse étaient statistiquement significatifs, le nombre d'articles inclus dans chaque analyse était trop faible; annulant de ce fait la possibilité de faire des généralisations. Les résultats de la méta-analyse sont ainsi présentés uniquement dans ce chapitre.

Figure 5.1 Diagramme flow du procédé de sélection des publications pour la méta-analyse et la revue systématique



## 5.2 Résultats de la méta-analyse

Suite à la revue systématique, 7 différents facteurs ont vu leurs corrélations avec la performance en ski alpin rassemblées dans leur propre tableau de méta-analyse (Tableaux 5.1 à 5.8). De ces 7 facteurs, 2 n'ont pas pu être soumis aux calculs de méta-analyse (la grandeur et l'IMC) puisqu'ils présentaient des corrélations provenant d'un seul article. Des facteurs ayant été soumis à une analyse de taille de l'effet, 3 ont été analysés avec un modèle fixe, soit l'âge, le poids et la puissance des membres inférieurs, et 2 ont été analysés avec le modèle aléatoire, soit le pourcentage de gras et la masse maigre (Figures 5.3 à 5.7). Nous tenons à spécifier que même si certains des résultats peuvent sembler statistiquement significatifs, les généralisations de taille d'effet de ces facteurs sur la performance en ski alpin ne sont pas possibles, faute du manque d'études incluses dans chacun des calculs de méta-analyse.

### 5.2.1 L'âge

Les calculs de méta-analyse de modèle fixe effectués sur l'incidence de l'âge ont démontrés qu'elle a un effet significatif de -0,52 [95% IC : -0,73; -0,31] ( $p < 0,0001$ ) sur la performance en ski alpin. C'est donc que plus le skieur est vieux, plus il est performant.

Tableau 5.1 Corrélations de l'âge avec la performance

Étude	n	S	N	P	D	Mesure de Performance	r	p	Corrélation
Strojnik 2009	9	H	I	Slo	SL	Temps SL P1	0,876	0,002	Pearson
Strojnik 2009	9	H	I	Slo	SL	Temps SL P2	0,736	0,024	Pearson
Strojnik 2009	9	H	I	Slo	SL	Temps SL P3	0,776	0,014	Pearson
Strojnik 2009	9	H	I	Slo	SL	Temps SL P4	0,753	0,031	Pearson
Strojnik 2009	9	H	I	Slo	SL	Temps SL C1 normalisé	0,226	0,591	Pearson
Strojnik 2009	9	H	I	Slo	SL	Temps SL C2 normalisé	-0,124	0,769	Pearson
Strojnik 2009	9	H	I	Slo	SL	Temps SL C3 normalisé	-0,313	0,45	Pearson
Strojnik 2009	9	H	I	Slo	SL	Temps SL C4 normalisé	0,15	0,723	Pearson
Aerenhouts 2012	11	F	I	-	SL	Pts FIS SL	-0,60	<0,05	Pearson
Aerenhouts 2012	17	H	I	-	SL	Pts FIS SL	-0,78	<0,001	Pearson
Aerenhouts 2012	9	F	I	-	DH	Pts FIS DH	0,00	-	Pearson
Aerenhouts 2012	26	H	I	-	DH	Pts FIS DH	-0,44	<0,05	Pearson
Aerenhouts 2012	6	F	I	-	SL	Comb FIS Pts	-0,31	-	Pearson
Aerenhouts 2012	6	F	I	-	DH	Comb FIS Pts	-0,34	-	Pearson
Aerenhouts 2012	15	H	I	-	SL	Comb FIS Pts	-0,78	<0,001	Pearson
Aerenhouts 2012	15	H	I	-	DH	Comb FIS Pts	-0,60	<0,05	Pearson

Estimation des tailles d'effets et variances :

```

études      Yest      Vest
est1  Strojnik 2009  0.5309610  0.10416667
est2  Aerenhouts 2012 -0.6457096  0.01271285

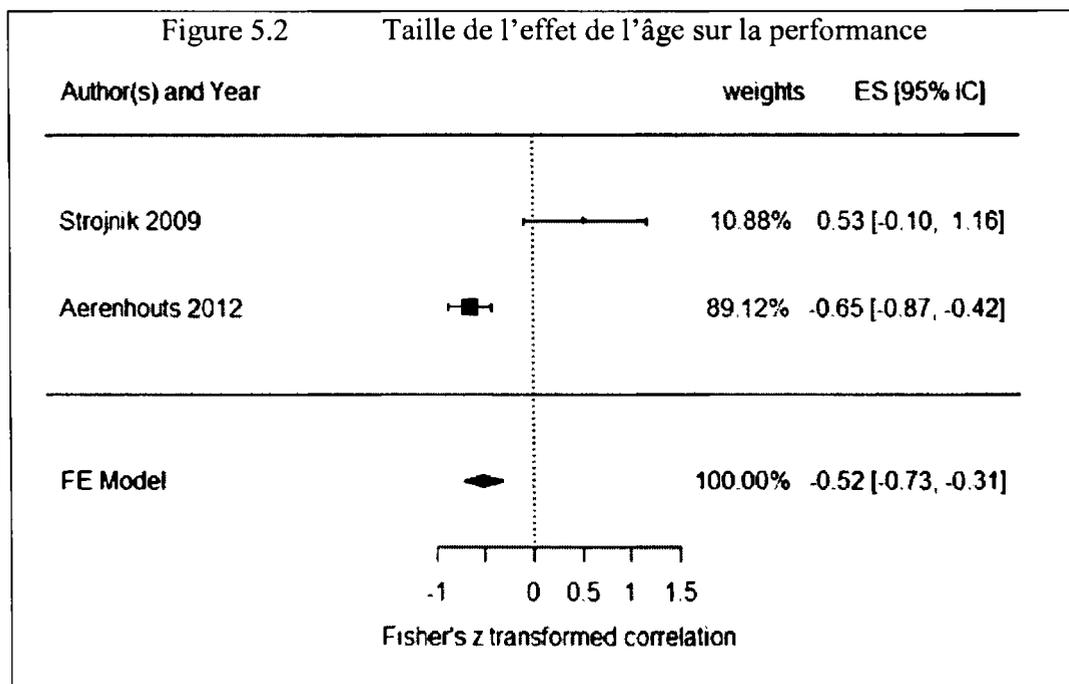
```

Résultats du modèle fixe :

```

Fixed-Effects Model (k = 2)
Test for Heterogeneity:
Q(df = 1) = 11.8460, p-val = 0.0006
Model Results:
estimate      se      zval      pval      ci.lb      ci.ub      ***
-0.5177      0.1064  -4.8639  <.0001  -0.7263  -0.3091
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```



### 5.2.2 La grandeur

Seulement un auteur a présenté des corrélations mettant en relations la grandeur avec la performance en ski alpin. Ce facteur n'a donc pas eu droit à une analyse de taille d'effet, mais seulement au procédé de classement de données de méta-analyse dans un tableau.

Tableau 5.2 Corrélations de la grandeur avec la performance

Étude	n	S	N	P	D	Mesure de Performance	r	p	Corrélation
Aerenhouts 2012	11	F	I	-	SL	Pts FIS SL	-0,36	-	Pearson
Aerenhouts 2012	17	H	I	-	SL	Pts FIS SL	-0,63	<0,01	Pearson
Aerenhouts 2012	9	F	I	-	DH	Pts FIS DH	-0,39	-	Pearson
Aerenhouts 2012	26	H	I	-	DH	Pts FIS DH	-0,22	-	Pearson
Aerenhouts 2012	6	F	I	-	SL	Pts FIS Comb	-0,42	-	Pearson
Aerenhouts 2012	6	F	I	-	DH	Pts FIS Comb	-0,27	-	Pearson
Aerenhouts 2012	15	H	I	-	SL	Pts FIS Comb	-0,42	-	Pearson
Aerenhouts 2012	15	H	I	-	DH	Pts FIS Comb	-0,31	-	Pearson

### 5.2.3 Le poids

Les calculs de méta-analyse de modèle fixe effectués sur l'incidence du poids ont démontrés qu'il a un effet significatif de -0,57 [95% IC : -0,78; -0,36] ( $p < 0,0001$ ) sur la performance en ski alpin. C'est donc que plus le skieur est lourd, plus il est performant.

Tableau 5.3 Corrélations du poids avec la performance

Étude	n	S	N	P	D	Mesure de Performance	r	p	Corrélation
Haymes 1980	12	H	I	US	SL	Classement Pts FIS SL	0,76	-	Pearson
Aerenhouts 2012	11	F	I	-	SL	Pts FIS SL	-0,20	-	Pearson
Aerenhouts 2012	17	H	I	-	SL	Pts FIS SL	-0,76	<0,001	Pearson
Aerenhouts 2012	9	F	I	-	DH	Pts FIS DH	-0,62	-	Pearson
Aerenhouts 2012	26	H	I	-	DH	Pts FIS DH	-0,68	<0,001	Pearson
Aerenhouts 2012	6	F	I	-	SL	Pts FIS Comb	-0,68	-	Pearson
Aerenhouts 2012	6	F	I	-	DH	Pts FIS Comb	-0,64	-	Pearson
Aerenhouts 2012	15	H	I	-	SL	Pts FIS Comb	-0,64	-	Pearson
Aerenhouts 2012	15	H	I	-	DH	Pts FIS Comb	-0,61	<0,05	Pearson

## Résultats du modèle fixe

```

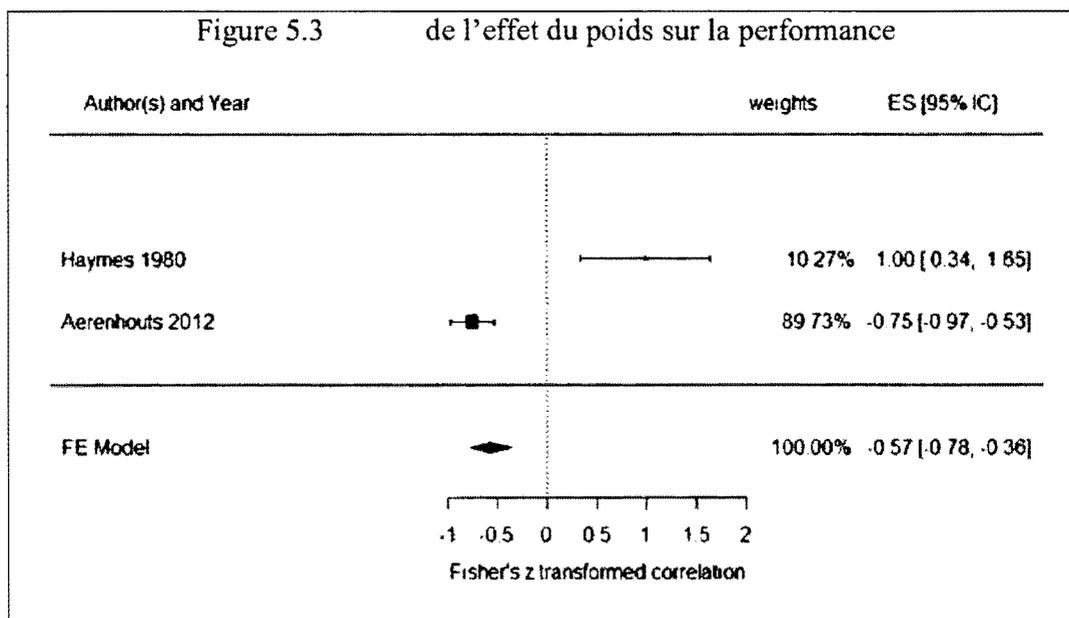
Fixed-Effects Model (k = 2)
Test for Heterogeneity:
Q(df = 1) = 24.6333, p-val < .0001

Model Results:

estimate      se      zval      pval      ci.lb      ci.ub
-0.5710      0.1068     -5.3457     <.0001     -0.7803     -0.3616      ***

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```



#### 5.2.4 L'IMC

Seulement un auteur a présenté des corrélations mettant en relations l'IMC avec la performance en ski alpin. Ce facteur n'a donc pas eu droit à une analyse de taille d'effet mais seulement au procédé de classement de données de méta-analyse dans un tableau.

Tableau 5.4 Corrélations de l'IMC avec la performance

Étude	n	S	N	P	D	Mesure de Performance	r	p	Corrélation
Aerenhouts 2012	11	F	I	-	SL	Pts FIS SL	0,18	-	Pearson
Aerenhouts 2012	17	H	I	-	SL	Pts FIS SL	-0,52	<0,05	Pearson
Aerenhouts 2012	9	F	I	-	DH	Pts FIS DH	-0,64	-	Pearson
Aerenhouts 2012	26	H	I	-	DH	Pts FIS DH	-0,53	<0,01	Pearson
Aerenhouts 2012	6	F	I	-	SL	Pts FIS Comb	-0,39	-	Pearson
Aerenhouts 2012	6	F	I	-	DH	Pts FIS Comb	-0,54	-	Pearson
Aerenhouts 2012	15	H	I	-	SL	Pts FIS Comb	-0,57	<0,05	Pearson
Aerenhouts 2012	15	H	I	-	DH	Pts FIS Comb	-0,64	<0,05	Pearson

### 5.2.5 Le pourcentage de gras

Les calculs de méta-analyse de modèle aléatoire effectués sur l'incidence du pourcentage de gras ont démontré qu'il avait un effet significatif de -0,25 [95% IC : -0,43; -0,07] ( $p=0,0055$ ) sur la performance en ski alpin. Ce qui indique que plus le pourcentage de gras du skieur est élevé, plus la performance de ce dernier est élevée.

Tableau 5.5 Corrélations du pourcentage de gras avec la performance

Méthode	Étude	n	S	N	P	D	Mesure de Performance	r	p	Corrélation
3 Plis	Haymes 1980	12	H	I	US	SL	Classement Pts FIS SL	0,78	-	Pearson
3 Plis	Haymes 1980	12	H	I	US	DH	Classement Pts FIS DH	-0,67	-	Pearson
2 Plis	Haymes 1980	13	F	I	US	DH	Classement Pts FIS DH	-0,74	-	Pearson
6 Plis	Emeterio 2010	16	H	N	ES	-	Classement FEDI	-0,46	0,07	Rangs de Spearman
6 Plis	Aerenhouts 2012	11	F	I	-	SL	Pts FIS SL	0,32	-	Pearson
6 Plis	Aerenhouts 2012	17	H	I	-	SL	Pts FIS SL	-0,21	-	Pearson
6 Plis	Aerenhouts 2012	9	F	I	-	DH	Pts FIS DH	-0,42	-	Pearson
6 Plis	Aerenhouts 2012	26	H	I	-	DH	Pts FIS DH	-0,05	-	Pearson
6 Plis	Aerenhouts 2012	6	F	I	-	SL	Pts FIS Comb	-0,71	-	Pearson
6 Plis	Aerenhouts 2012	6	F	I	-	DH	Pts FIS Comb	-0,64	-	Pearson
6 Plis	Aerenhouts 2012	15	H	I	-	SL	Pts FIS Comb	-0,30	-	Pearson
6 Plis	Aerenhouts 2012	15	H	I	-	DH	Pts FIS Comb	-0,16	-	Pearson

Estimation des tailles d'effets et variances :

	études	Yest	Vest
est1	Haymes 1980	-0.2578568	0.03571950
est2	Emeterio 2010	-0.4973113	0.07692308
est3	Aerenhouts 2012	-0.2118271	0.01271285

Résultat du modèle aléatoire :

```
Random-Effects Model (k = 3; tau^2 estimator: ML)

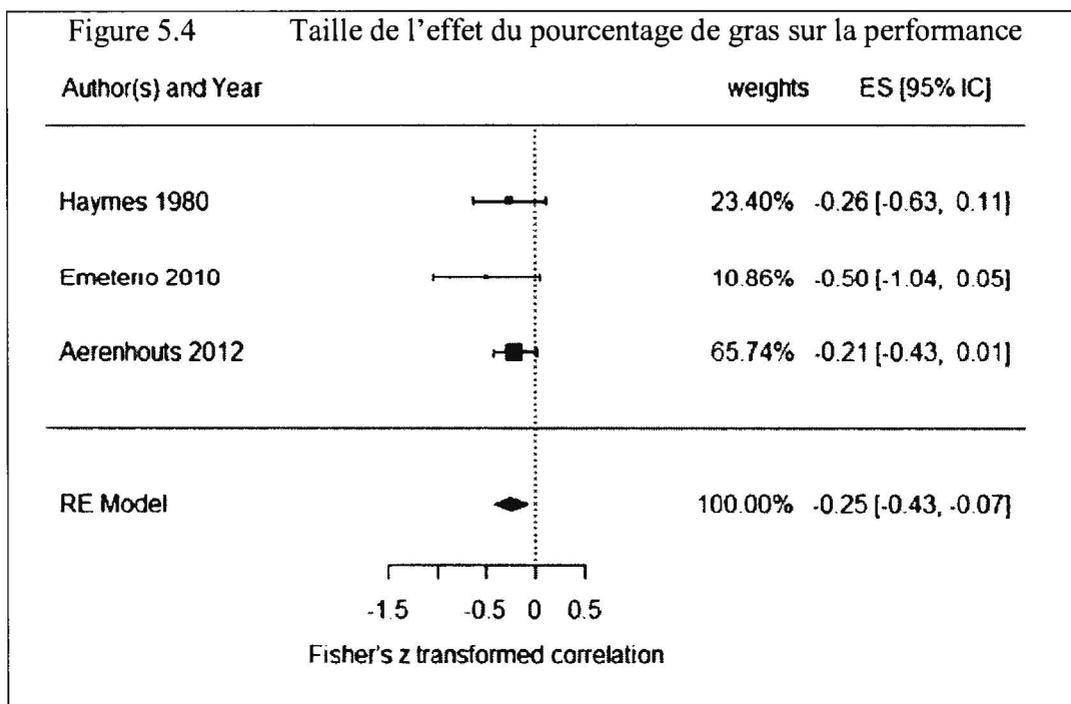
tau^2 (estimated amount of total heterogeneity): 0 (SE = 0.0167)
tau (square root of estimated tau^2 value):      0
I^2 (total heterogeneity / total variability):    0.00%
H^2 (total variability / sampling variability):    1.00

Test for Heterogeneity:
Q(df = 2) = 0.9099, p-val = 0.6345

Model Results:

estimate      se      zval      pval      ci.lb      ci.ub
-0.2536      0.0914   -2.7742    0.0055   -0.4328   -0.0744      **

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```



### 5.2.6 La masse maigre

Les calculs de méta-analyse de modèle aléatoire effectués sur l'incidence de la masse maigre ont démontré qu'elle avait un effet non-significatif de 0,25 [95% IC : -0,62; 1,11] ( $p=0,5779$ ) sur la performance en ski alpin.

Tableau 5.6 Corrélations de la masse maigre avec la performance

Méthode	Étude	n	S	N	P	D	Mesure de Performance	r	p	Corrélation
3 Plis	Haymes 1980	12	H	I	US	SL	Classement Pts FIS SL	0,64	-	Pearson
6 Plis	Emeterio 2010	16	H	N	ES	-	Classement FEDI	0,70	0,003	Rangs de Spearman
7 Plis	Geissler 2012	69	H	I	D	E	- Pts FIS	-0,73	<0,01	Rangs de Spearman avec correction de Bonferoni
7 Plis	Geissler 2012	74	F	I	D	E	- Pts FIS	-0,53	<0,01	Rangs de Spearman avec correction de Bonferoni

Résultats du modèle aléatoire :

```

Random-Effects Model (k = 3; tau^2 estimator: ML)

tau^2 (estimated amount of total heterogeneity): 0.5229 (SE = 0.4761)
)
tau (square root of estimated tau^2 value):      0.7231
I^2 (total heterogeneity / total variability):    91.15%
H^2 (total variability / sampling variability):    11.30

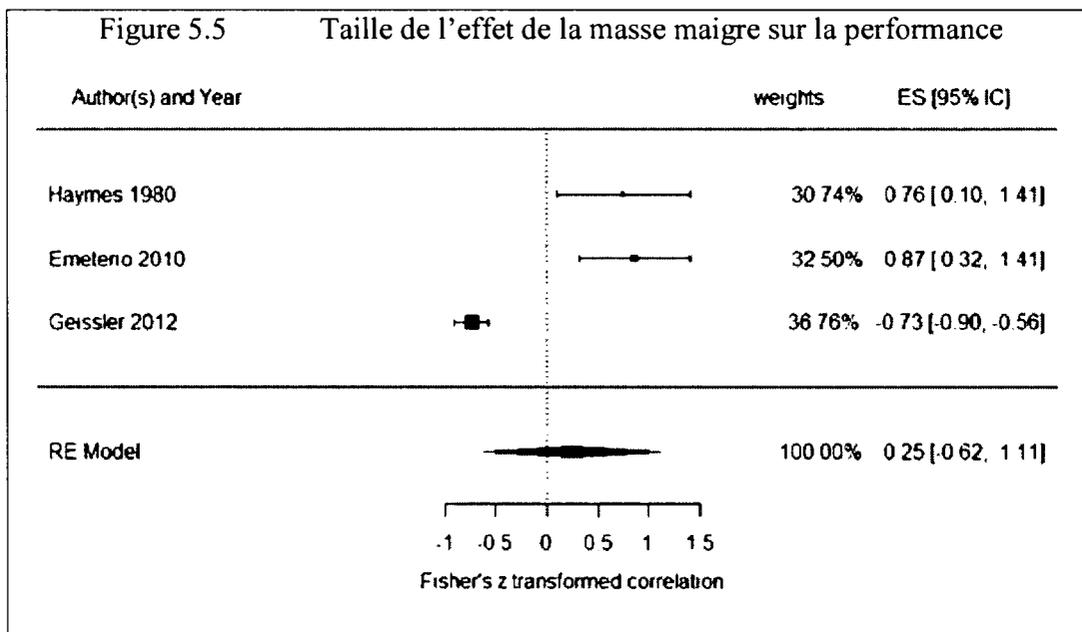
Test for Heterogeneity:
Q(df = 2) = 45.9018, p-val < .0001

Model Results:

estimate      se      zval      pval      ci.lb      ci.ub
  0.2457    0.4415    0.5565    0.5779   -0.6196    1.1110

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```



### 5.2.7 La puissance des membres inférieurs

Les calculs de méta-analyse de modèle fixe effectués sur l'incidence de la puissance des membres inférieurs ont démontré qu'elle avait un effet significatif 0,8 [95% IC : 0,44; 1,17] ( $p < 0,0001$ ) sur la performance en ski alpin. C'est donc que moins le skieur est puissant des membres inférieurs, plus il performe en ski alpin.

Tableau 5.7 Corrélations de la puissance des membres inférieurs avec la performance

Méthode	Étude	n	S	N	P	D	Mesure de Performance	r	p	Corrélation
Margaria-Klamen	Haymes 1980	12	H	I	US	SL	Classement Pts FIS SL	0,64	-	Pearson
Margaria-Klamen	Haymes 1980	12	H	I	US	GS	Classement Pts FIS GS	0,80	-	Pearson
VJ With hands	Haymes 1980	12	H	I	US	GS	Classement Pts FIS GS	0,64	-	Pearson
CMJ NH (cm)	Emeterio 2010	16	H	N	ES	-	Classement FEDI	0,67	0,005	Rangs de Spearman
CMJ NH (W)	Emeterio 2010	16	H	N	ES	-	Classement FEDI	0,67	0,004	Rangs de Spearman
CMJ NH ( $W \cdot kg^{-1}$ )	Emeterio 2010	16	H	N	ES	-	Classement FEDI	0,69	0,003	Rangs de Spearman
CMJ30	Emeterio 2010	16	H	N	ES	-	Classement FEDI	0,59	0,021	Rangs de Spearman
Squat Power	Emeterio 2010	16	H	N	ES	-	Classement FEDI	0,59	0,017	Rangs de Spearman

Estimation des tailles d'effets et variances :

```

études      Yest      Vest
est1 Haymes 1980 0.8716533 0.09259259
est2 Emeterio 2010 0.7649548 0.05384615

```

Résultats du modèle fixe :

```

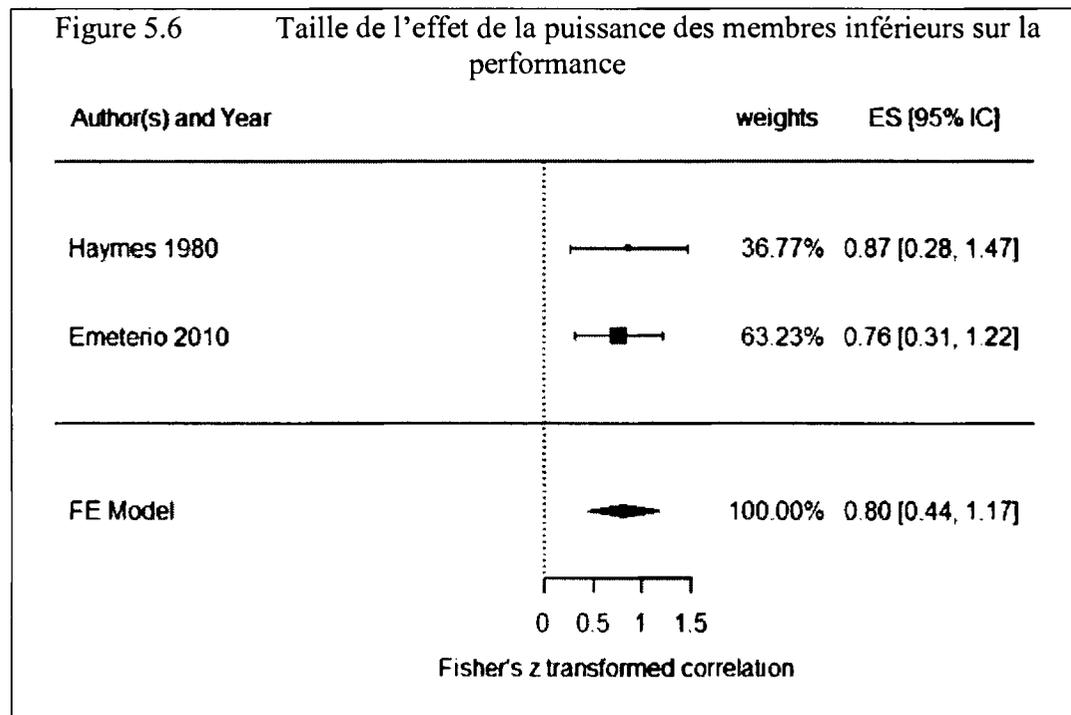
Fixed-Effects Model (k = 2)
Test for Heterogeneity:
Q(df = 1) = 0.0777, p-val = 0.7804

Model Results:

estimate      se      zval      pval      ci.lb      ci.ub
0.8042      0.1845      4.3583      <.0001      0.4425      1.1658      ***

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```



### 5.2.8 Les facteurs non-jumelés

Le tableau ci-dessous présente des résultats de tests ayant été mis en relation avec la performance en ski alpin qui n'ont malheureusement pu être soumis à calculs de méta-analyse, faute du manque de résultats présents dans la littérature pour un même facteur.

Tableau 5.8 Corrélations des facteurs non-jumelés avec la performance

Méthode	Étude	n	S	N	P	D	Mesure de Performance	r	p	Corrélation
Number of contractions to reach a 50% peak torque decrement	Haymes 1980	12	H	I	US	SL	Classement Pts FIS SL	-0,8	-	Pearson
Number of contractions to reach a 50% peak torque decrement	Haymes 1980	12	H	I	US	GS	Classement Pts FIS GS	-0,75	-	Pearson
VO <sub>2</sub> Treadmill	Haymes 1980	13	F	I	US	DH	Classement Pts FIS DH	-0,66	-	Pearson
Wmax VO <sub>2</sub> ergocycle	Neumayr 2003	27	H	I	A T	SG DH	Classement Coupe M	0,947	0,001	Pearson
VO <sub>2</sub> Max Ergocycle	Neumayr 2003	27	H	I	A T	SG DH	Classement Coupe M	0,964	<0,001	Pearson
Wingate mean power	Emeterio 2010	16	H	N	ES	-	Classement FEDI	0,55	<0,05	Rangs de Spearman
1Rm Back squat Parallel	Emeterio 2010	16	H	N	ES	-	Classement FEDI	0,59	0,017	Rangs de Spearman

## CHAPITRE VI

### DISCUSSION

#### 6.1 Résultats de la recherche

L'hypothèse générale qu'un profil athlétique spécifique au sexe et au niveau des skieurs serait établi et que des relations entre les diverses variables physiologiques et la performance en ski alpin seraient dévoilées a été respectée. La première partie des résultats, le profil athlétique spécifique au sexe et au niveau des skieurs, a été soumise pour publication scientifique et les résultats ont été présentés sous forme de tableaux incluant un total de 28 publications, 18 provenant de la revue systématique et 10 de la recherche manuelle. Des relations entre diverses variables physiologiques et la performance ont aussi été dévoilées et leur effet sur celle-ci a été combiné à l'aide de calculs de méta-analyse. L'hypothèse est donc acceptée.

La seconde partie des résultats, la méta-analyse, n'a malheureusement pas été soumise pour publication sous faute du manque de données présentes dans la littérature et du manque de données admissibles aux calculs suite à leur soumission aux critères d'inclusion et d'exclusion. Au final, seulement 3 publications ont été retenues suite à la revue systématique et 3 autres furent ajoutées suite à la recherche manuelle. Le manque de poids des calculs de méta-analyse peut en partie être attribué au fait que peu de recherches ont mis en relation des facteurs physiologiques avec la performance en ski alpin, mais aussi au fait que plusieurs études présentaient des corrélations que nous avons jugées non-valides puisqu'elles avaient été faites avec des données recueillies sur des skieurs «non-performants». Nous pensons que les recherches futures mesurant

l'impact de différents facteurs sur la performance en ski alpin devraient être dirigées sur des skieurs de niveau élite, c'est-à-dire de niveau national ou international, afin qu'ils soient déjà établis à un certain niveau technique. Cette approche pourrait aider à réduire l'impact du niveau technique des sujets sur leur performance et ainsi mieux isoler l'incidence du facteur mesuré.

## 6.2 Facteurs physiologiques

### 6.2.1 L'âge

La taille de l'effet de l'âge de  $-0,52$  ( $p < 0,0001$ ) sur la performance en ski alpin indique qu'un skieur plus âgé serait meilleur. Une étude effectuée sur des joueurs de tennis a démontré que peu importe l'âge des joueurs, les experts performant mieux que les novices et ce, grâce à leurs connaissances, leurs habiletés et leur capacité à prendre de meilleures décisions. (McPherson et Thomas, 1989) Comme les données incluses dans les calculs effectués sur l'âge et la performance provenaient tous de skieurs membres d'équipes nationales, on peut supposer que les skieurs plus vieux étaient membres de leurs équipes respectives depuis plus longtemps, favorisant à ce qu'ils aient développé un niveau d'expertise plus élevé.

Une autre étude a démontré que les joueurs de soccer européens sélectionnés sur des équipes nationales U-15, U-16, U17 et U18 étaient majoritairement représentés par des joueurs nés dans le premier quart de l'année (de janvier à mars). Les auteurs ont mentionné que les joueurs nés dans le premier quart de l'année avaient un âge relatif plus élevé que les autres joueurs admissibles à la sélection, ce qui augmentait leur chance d'être identifiés comme talentueux à cause de leurs avantages physiques. (Helsen *et al.*, 2005)

Lorsqu'on observe les résultats du tableau de méta-analyse, on peut remarquer que tous les résultats d'Aerenhouts (2012), sauf 1, affichent des corrélations négatives qui

indiquent que plus le skieur est âgé, plus il est performant. Cependant, dans les résultats de Strojnik (2009) seulement 3 résultats sur 8 de affichent des corrélations avec la même tendance. La lecture des résultats de Strojnik (2009) a été jugée douteuse puisque dans la discussion, l'auteur mentionne que les skieurs les plus rapides de son étude étaient les plus vieux, alors que ses résultats affichent, pour la plupart, des corrélations positives. Il affirme aussi que lorsque normalisés, seulement les temps de parcours C1 et C4 sont demeurés corrélés avec l'âge, alors que ceux-ci affichent aussi une corrélation positive. Afin que ses affirmations soient vraies, les corrélations présentées auraient dues être des corrélations négatives pour qu'un skieur plus vieux soit plus rapide puisqu'il aurait obtenu un temps de parcours plus faible. Il est donc possible que Strojnik (2009) ait fait une mauvaise lecture de ses résultats. Malgré le fait que la qualité des données de cet auteur ont été jugées douteuses, elles ont quand même été incluses dans les résultats sous faute du manque de données probantes dans la littérature. (Aerenhouts *et al.*, 2012; Strojnik et Dolenc, 2009)

### 6.2.2 La grandeur

Les seules données admissibles à l'analyse de l'effet de taille de la grandeur sur la performance étaient ceux d'Aerenhouts (2012) qui semblent toutes indiquer qu'un skieur de slalom ou de descente plus grand aurait des points FIS plus faibles et donc serait meilleur. En contrepartie, la revue systématique d'Hébert-Loisier (2013) mentionne que le coefficient de traînée d'un skieur lors d'une descente est **significativement** corrélé avec la hauteur des épaules de celui-ci; par contre il diminue **significativement** lorsque la vitesse et la posture de ce dernier sont minimisées. (Hébert-Loisier *et al.*, 2013). Il serait donc important que plus de recherches s'intéressent à l'effet de la taille sur la performance en ski alpin afin de pouvoir tirer des conclusions significatives. (Aerenhouts *et al.*, 2012)

### 6.2.3 Le poids

L'effet significatif du poids (-0,57 ( $p < 0,0001$ )) sur la performance en ski alpin nous indique qu'un skieur plus lourd serait plus performant. Nous savons aussi que la vélocité est un des facteurs biomécaniques qui influence la performance en ski alpin. (Hebert-Losier *et al.*, 2013) On peut donc supposer qu'un skieur plus lourd accélère plus rapidement grâce à l'effet qu'à la gravité sur son poids en pente descendante. Cependant, lorsque nous observons le tableau de méta-analyse qui classe les différentes corrélations du poids et de la performance, on peut remarquer que les résultats de l'étude de Haymes (1980) contredisent ceux de l'étude d'Aerenhouts (2012) puisqu'ils indiquent que les meilleurs skieurs de cette étude étaient les plus légers. La corrélation de Haymes (1980) entre le poids des skieurs et la performance a été effectuée avec la performance en slalom. Celle-ci nous pousse à croire que le poids n'est pas nécessairement un avantage dans une épreuve de technique et d'agilité comme le SL qui mesure la capacité d'un skieur à compléter un parcours composé de beaucoup changements de direction le plus rapidement possible. (Aerenhouts *et al.*, 2012; Haymes et Dickinson, 1980)

### 6.2.4 L'IMC

Les résultats du seul auteur ayant publié des corrélations sur l'IMC et la performance, Aerenhouts (2012), indiquent pour la majorité qu'un skieur avec un IMC plus élevé serait meilleur. La revue systématique d'Hébert-Loisier (2013) qui a rassemblé les différents facteurs biomécaniques influençant la performance en ski alpin a identifié le coefficient de traînée comme un de ces facteurs. Elle mentionne aussi qu'en réduisant la surface antérieure qu'ils exposent à la résistance de l'air, les skieurs alpins pourraient mieux performer. (Hebert-Losier *et al.*, 2013) Ces différentes informations nous poussent à croire qu'à habiletés égales et pour une même grandeur, un athlète avec un IMC plus élevé, donc plus dense est plus aérodynamique. (Aerenhouts *et al.*, 2012)

### 6.2.5 Le pourcentage de gras

La taille d'effet de  $-0,25$  ( $p=0,0055$ ) du pourcentage de gras indique que les skieurs les plus gras sont meilleurs en ski alpin, mais aussi que ce facteur a peu d'effet sur la performance. Toutes les corrélations présentées par Aerenhouts (2012) révèlent qu'un pourcentage de gras plus élevé est un avantage dans ce sport et ce en slalom, en descente et au combiné. Dans sa discussion, Aerenhouts (2012) mentionne qu'un certain pourcentage de gras pourrait être bénéfique en ski alpin, puisque si une partie de l'accélération du skieur était produite par l'effet de la gravité sur sa masse adipeuse, celle-ci serait moins coûteuse en énergie que si elle était produite par de la masse musculaire. (Aerenhouts *et al.*, 2012)

Les deux résultats qui présentent des corrélations positives entre le pourcentage de gras et la performance en slalom (Hayme, 1980 :  $0,78$  et Aerenhouts, 2012 :  $0,32$ ) s'ajoutent à celui de Haymes (1980) qui avait présenté une corrélation positive entre le poids et la performance en slalom ( $0,76$ ). Ces résultats renforcent l'idée que d'avoir plus de masse n'est pas nécessairement un avantage dans cette épreuve d'agilité et de technique et qu'il est beaucoup plus important d'être efficace avec sa masse afin de bien pouvoir se déplacer. (Aerenhouts *et al.*, 2012; Haymes et Dickinson, 1980)

### 6.2.6 La masse maigre

L'effet non-significatif de  $0,25$  ( $p=0,5779$ ) de la masse maigre sur la performance en ski alpin qui nous indique qu'un skieur plus musclé pour une même grandeur serait moins performant. Le résultat de Haymes (1980) qui affichait une corrélation positive de  $0,64$  entre la masse maigre et les points FIS en slalom nous laisse croire qu'une plus grande masse maigre n'est pas toujours un avantage dans ce type d'évènement qui demande beaucoup de déplacements latéraux. (Haymes et Dickinson, 1980)

À l'opposé de ce résultat, il serait facile penser qu'une plus grande masse maigre peut aider un skieur mieux gérer les forces d'une descente. La revue systématique de Turnbull (2009) mentionne qu'un skieur avec une force insuffisante peut se voir limité dans son habileté à gérer les forces et les charges excentriques d'une descente de ski alpin, mais qu'au-delà d'un certain niveau, la force n'est pas un déterminant qui aide à prédire du niveau d'un skieur. (Turnbull *et al.*, 2009)

#### 6.2.7 La puissance des membres inférieurs

L'effet de -0,8 ( $p < 0,0001$ ) de la puissance des membres inférieurs sur la performance nous indique que plus le skieur est puissant, moins il est bon en ski alpin. Ce résultat nous porte à croire que les meilleurs skieurs ne sont pas nécessairement les plus puissants, mais ceux qui ont la capacité de maintenir un certain niveau d'intensité tout au long de la descente.

Une revue de littérature publiée en 2006 rapporte que le développement de la force et de la puissance dans des mouvements demandant des contractions bilatérales avaient peu de transfert dans la performance des sports de puissance, mais que les exercices de pliométrie et les exercices unilatéraux incluant tous les muscles du corps en avaient plus. Fait intéressant à prendre en compte lors de la planification des séances de préparation physique. (Young, 2006)

#### 6.2.8 Les facteurs non-jumelés

Les tests présentés dans le tableau 5.8 sont des tests qui, suite à la revue systématique, avaient été inclus dans la base de données mais qui n'ont malheureusement pas été jumelés, faute de données probantes dans la littérature. Certains de ces tests ont été jugés intéressants, comme le test de puissance moyenne au Wingate qui pourrait servir à évaluer la capacité d'un skieur à maintenir un effort soutenu lors d'une descente ou le test de force de une répétition maximale (1RM) au Back Squat qui pourrait servir à

mesurer la capacité d'un skieur à gérer les forces excentriques d'une descente en ski alpin.

### 6.3 Limites

Les limites de la méthodologie de la revue systématique ont déjà été abordées dans l'article ci-joint et ne seront pas discutées dans cette section. Toutefois, une première limite de la méta-analyse est que la qualité des études incluses dans les calculs n'était pas toujours excellente. Certaines lectures de résultats d'études étaient douteuses et nous attribuons cela au fait que la plupart de ces études ont été traduites en anglais à partir de langues étrangères. Une seconde limite de la méta-analyse est que les échantillons d'articles inclus dans chacun des calculs étaient trop faibles.

## CHAPITRE VII

### CONCLUSION

En conclusion, cette recherche présente des résultats en deux parties : la première étant une revue systématique portant sur profil athlétique des skieurs alpins de différents niveaux et la seconde étant une méta-analyse effectuée sur les différents paramètres physiologiques mis en relation avec la performance. Les résultats de la méta-analyse, malheureusement non-concluants, ne pourront servir d'outil de référence puisqu'ils n'incluaient pas suffisamment d'articles au sein des calculs de taille d'effet. Cependant, les résultats du profil athlétique pourront guider les préparateurs physiques dans d'éventuelles interventions avec des athlètes de ski alpin.

Nous croyons que les recherches futures mettant en relation la performance et les différents paramètres du ski alpin devraient être dirigées sur des skieurs de niveau national ou supérieur. Nous croyons aussi que les résultats présentant différents paramètres mesurés sur des skieurs devraient être présentés sous forme de moyennes de groupes homogènes clairement identifiés par leur sexe et leur niveau afin de permettre aux données d'être réutilisées dans des futures recherches théoriques. Nous croyons aussi que les auteurs devraient porter attention particulière à l'interprétation de leurs résultats, et que les revues scientifiques devraient établir un système de contrôle de qualité lors de la traduction d'articles.

## ANNEXE A

### TABLEAUX ORIGINAUX DE LA REVUE SYSTÉMATIQUE

La version originale des tableaux de résultats de la revue systématique comprenait plus d'information qui a été retirée suite aux demandes des arbitres en réponse à la soumission de l'article effectuée le 21 décembre 2017. La version originale des tableaux de résultats a donc été incluse en annexe.

Table A.1 Anthropometry of male alpine ski racers

Level	Data	Age (yrs)	Height (m)	Weight (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	BF% (%)	LBW (kg)	Thigh (cm)
Int	$\bar{x}$	23.01	1.79	78.82	24.63	11.48	72.55	60.75
	SD	3.37	4.25	6.39	-	2.74	-	2.11
	Max	27.6	1.83	88	26.56	15.8	75.66	64.5
	Min	19.3	1.7	61.6	21.31	7.9	67.48	58.6
	<i>n</i>	354	497	497	497	298	298	77
	Pub	17	18	18	18	12	12	2
	Countries	9	10	10	10	7	7	2
	Yrs	1980- 2015	1980- 2015	1980- 2015	1980- 2015	1980- 2015	1980- 2015	2003- 2012
	Methods	-	-	-	-	7min	7min	-
	Nat	$\bar{x}$	17.93	1.74	69.9	23.12	8.92	58.06
SD		0.69	2.42	4.36	-	2.96	-	-
Max		21.6	1.76	72.59	24.25	10.2	67.85	-
Min		14.6	1.67	59.2	21.23	6.53	53.16	-
<i>n</i>		89	89	89	89	24	24	-
P		6	6	6	6	2	2	-
C		4	4	4	4	2	2	-
Yrs		1983- 2010	1983- 2010	1983- 2010	1983- 2010	1991- 2010	1991- 2010	-
Methods		-	-	-	-	2	2	-
Reg		$\bar{x}$	17.17	1.76	70.43	22.72	9.28	62.13
	SD	0.75	1.83	2.55	-	1.26	-	-
	Max	18.1	1.78	72	23.24	-	-	-
	Min	15.7	1.74	68.48	21.62	-	-	-
	<i>n</i>	84	84	84	84	11	11	-
	P	4	4	4	4	1	1	-
	C	2	2	2	2	1	1	-
	Yrs	1983- 1997	1983- 1997	1983- 1997	1983- 1997	1991	1991	-
	Methods	-	-	-	-	Hydro	Hydro	-

Table A.2 Lower body power of male alpine ski racers

Level	Data	SJ (cm)	SJ (W/kg)	CMJ (cm)	CMJ (W/kg)	BroadJ (m)	5BroadJ (m)	BJ90 (hits)
Int	$\bar{x}$	43.01	51.2	48.65	55.84	2.56	13.65	92.58
	SD	4.24	3.56	4.69	4.32	0.15	0.87	6.59
	Max	43.4	-	55.5	61.7	-	-	97.82
	Min	42.5	-	45.8	49.9	-	-	82
	SD	4.24	3.56	4.69	4.32	0.15	0.87	6.59
	<i>n</i>	21	8	50	17	159	159	186
	Pub	2	1	3	2	1	1	3
	Countries	2	1	3	2	1	1	3
	Yrs	1994- 2009	2014	2009- 2014	2014	2014	2014	1983- 2014
	Methods	FP NH	FP NH	FP NH	FP NH	-	-	40-44
Nat	$\bar{x}$	-	-	34.4	25.5	-	13.1	90.53
	SD	-	-	7.7	2.9	-	0.2	1.63
	Max	-	-	-	-	-	-	93.6
	Min	-	-	-	-	-	-	89.37
	<i>n</i>	-	-	16	16	-	9	57
	P	-	-	1	1	-	1	3
	C	-	-	1	1	-	1	1
	Yrs	-	-	2010	2010	-	1990	1983- 1997
	Methods	-	-	CM NH	CM NH	-	-	40 cm
	Reg	$\bar{x}$	-	-	53.4	15.8	-	13.1
SD		-	-	1.8	0.33	-	0.2	2.02
Max		-	-	-	-	-	-	85.3
Min		-	-	-	-	-	-	82.1
<i>n</i>		-	-	14	11	-	14	73
P		-	-	1	1	-	1	3
C		-	-	1	1	-	1	1
Yrs		-	-	1990	1991	-	1990	1983- 1997
Methods		-	-	Vertec	Vertec	-	-	40 cm

Table A.3 Wingate results of male alpine ski racers

Level	Data	Win 30 Peak (W)	Win 30 Avg (W)	Win 60 Peak (W)	Win 60 Avg (W)	Win 90 Peak (W)	Win 90 Avg (W)
Int	$\bar{x}$	836	735	-	-	-	-
	SD	26	16	-	-	-	-
	Max	-	-	-	-	-	-
	Min	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	12	12	-	-	-	-
	Pub	1	1	-	-	-	-
	Countries	1	1	-	-	-	-
	Yrs	1991	1991	-	-	-	-
	Methods	-	-	-	-	-	-
Nat	$\bar{x}$	798.5	653.32	798.1	486.3	885.1	554.5
	SD	160.62	131.24	25.9	10.3	70.8	46.3
	Max	859	694	-	-	-	-
	Min	707	593	-	-	-	-
	<i>n</i>	34	34	9	9	10	10
	P	3	3	1	1	1	1
	C	2	2	1	1	1	1
	Yrs	1991- 2010	1991- 2010	1990	1990	1995	1995
	Methods	-	-	-	-	-	-
Reg	$\bar{x}$	772	616	836.3	507.8	-	-
	SD	37	24	27.3	9.6	-	-
	Max	-	-	-	-	-	-
	Min	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	11	11	14	14	-	-
	P	1	1	1	1	-	-
	C	1	1	1	1	-	-
	Yrs	1991	1991	1990	1990	-	-
	Methods	-	-	-	-	-	-

Table A.4 Aerobic capacity and Other tests results of male alpine ski racers

Level	Data	VO <sub>2</sub> Tread (l/min)	VO <sub>2</sub> R Tread (ml/kg/min)	VO <sub>2</sub> Ergo (l/min)	VO <sub>2</sub> R Ergo (ml/kg/min)	Hex Test (s)	Push- Ups (reps)	Sit n Reach (cm)
Int	$\bar{x}$	4.71	58.34	4.42	55.98	29.05	97.23	45.9
	SD	0.46	3.32	0.33	3.99	0.4	24.14	1.5
	Max	5.03	63.1	4.47	58.7	-	-	-
	Min	4.11	52.4	4.27	51.6	-	-	-
	<i>n</i>	30	18	21	95	17	159	10
	Pub	3	2	2	5	1	1	1
	Countries	3	2	2	5	1	1	1
	Yrs	1980- 1984	1983-1984	1993- 2009	1991-2012	1997	2014	1983
	Methods	-	-	-	-	-	Forehead	-
Nat	$\bar{x}$	4.018	58.9	-	53.4	31.73	-	49.1
	SD	0.35	2.19	-	0.74	0.5	-	0.9
	Max	-	-	-	-	34.3	-	-
	Min	-	-	-	-	31.12	-	-
	<i>n</i>	8	8	-	8	47	-	10
	P	1	1	-	1	2	-	1
	C	1	1	-	1	1	-	1
	Yrs	1985	1985	-	1991	1990- 1997	-	1983
	Methods	-	-	-	-	-	-	-
Reg	$\bar{x}$	4.44	61.6	-	51.4	33.08	-	43.3
	SD	0.2	1.8	-	1.41	0.67	-	1.2
	Max	-	-	-	-	36.4	-	-
	Min	-	-	-	-	31.82	-	-
	<i>n</i>	22	22	-	11	51	-	22
	P	1	1	-	1	2	-	1
	C	1	1	-	1	1	-	1
	Yrs	1983	1983	-	1991	1990- 1997	-	1983
	Methods	-	-	-	-	-	-	-

Table A.5 Anthropometry of female alpine ski racers

Level	Data	Age (yrs)	Height (m)	Weight (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	BF% (%)	LBW (kg)	Thigh (cm)	
Int	$\bar{x}$	21.11	1.67	64.84	23.24	20.44	51.5	57.2	
	SD	2.98	3.59	6.29	-	3.63	-	3.33	
	Max	25.6	1.7	69.2	24.29	24.4	54.78	59	
	Min	18.3	1.61	58.8	21.57	13.14	46.69	55.3	
	<i>n</i>	237	281	281	281	209	209	39	
	Pub	13	13	13	13	11	11	2	
	Countries	7	7	7	7	7	7	1	
	Yrs	1980- 2015	1980- 2015	1980- 2015	1980- 2015	1980- 2015	1980- 2015	1980- 2015	2003- 2012
	Methods	-	-	-	-	8	8	-	
Nat	$\bar{x}$	16.94	1.65	59.16	21.68	18.46	45.75	-	
	SD	0.62	1.07	3.8	-	2.99	-	-	
	Max	21.8	1.69	63.64	23.38	19.2	53.06	-	
	Min	14.9	1.59	53	20.96	16.62	42.82	-	
	<i>n</i>	44	44	44	44	21	21	-	
	P	3	3	3	3	2	2	-	
	C	2	2	2	2	2	2	-	
	Yrs	1991- 2010	1991- 2010	1991- 2010	1991- 2010	1991- 2010	1991- 2010	1991- 2010	-
	Methods	-	-	-	-	2	2	-	
Reg	$\bar{x}$	16.64	1.64	59.7	22.16	20.96	46.33	-	
	SD	0.15	1.52	1.59	-	1.51	-	-	
	Max	17.5	1.65	60	22.61	-	-	-	
	Min	16.4	1.61	58.61	22.04	-	-	-	
	<i>n</i>	32	32	32	32	7	7	-	
	P	2	2	2	2	1	1	-	
	C	1	1	1	1	1	1	-	
	Yrs	1991- 1997	1991- 1997	1991- 1997	1991- 1997	1991	1991	-	
	Methods	-	-	-	-	hydro	hydro	-	

Table A.6 Lower body power of female alpine ski racers

Level	Data	SJ (cm)	SJ (W/kg)	CMJ (cm)	CMJ (W/kg)	BroadJ (m)	5BroadJ (m)	BJ90 (hits)
Int	$\bar{x}$	-	41.95	-	42.8	2.19	11.5	75.87
	SD	-	5.31	-	4.4	0.12	0.63	8.01
	Max	-	-	-	-	-	-	79.44
	Min	-	-	-	-	-	-	73
	<i>n</i>	-	10	-	10	58	58	81
	Pub	-	1	-	1	1	1	2
	Countries	-	1	-	1	1	1	2
	Yrs	-	2014	-	2014	2014	2014	1997- 2014
	Methods	-	FP NH	-	FP NH	-	-	40-44 cm
Nat	$\bar{x}$	29.8	-	-	23.5	-	-	68.17
	SD	2.6	-	-	1.69	-	-	2.99
	Max	-	-	-	-	-	-	-
	Min	-	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	15	-	-	15	-	-	23
	P	1	-	-	1	-	-	1
	C	1	-	-	1	-	-	1
	Yrs	2010	-	-	2010	-	-	1997
	Methods	CM NH	-	-	CM NH	-	-	40 cm
Reg	$\bar{x}$	-	-	-	13.6	-	-	57.83
	SD	-	-	-	0.25	-	-	2.44
	Max	-	-	-	-	-	-	-
	Min	-	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	-	-	-	7	-	-	25
	P	-	-	-	1	-	-	1
	C	-	-	-	1	-	-	1
	Yrs	-	-	-	1991	-	-	1997
	Methods	-	-	-	Vertec	-	-	40 cm

Table A.7 Wingate results of female alpine ski racers

Level	Data	Win 30 Peak (W)	Win 30 Avg (W)	Win 60 Peak (W)	Win 60 Avg (W)	Win 90 Peak (W)	Win 90 Avg (W)
Int	$\bar{x}$	669	546	-	-	-	-
	SD	14	9	-	-	-	-
	Max	-	-	-	-	-	-
	Min	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	17	17	-	-	-	-
	Pub	1	1	-	-	-	-
	Countries	1	1	-	-	-	-
	Yrs	1991	1991	-	-	-	-
	Methods	-	-	-	-	-	-
Nat	$\bar{x}$	613.74	486.78	-	-	666.7	413.6
	SD	79.54	59.42	-	-	87.7	69.7
	Max	681.7	517.7	-	-	-	-
	Min	563	467	-	-	-	-
	<i>n</i>	29	29	-	-	8	8
	P	3	3	-	-	1	1
	C	2	2	-	-	1	1
	Yrs	1991- 2010	1991- 2010	-	-	1995	1995
	Methods	-	-	-	-	-	-
Reg	$\bar{x}$	572	434	-	-	-	-
	SD	30	25	-	-	-	-
	Max	-	-	-	-	-	-
	Min	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	7	7	-	-	-	-
	P	1	1	-	-	-	-
	C	1	1	-	-	-	-
	Yrs	1991	1991	-	-	-	-
	Methods	-	-	-	-	-	-

Table A.8 Aerobic capacity and Other tests results of female alpine ski racers

Level	Data	VO <sub>2</sub> Tread (l/min)	VO <sub>2</sub> R Tread (ml/kg/min)	VO <sub>2</sub> Ergo (l/min)	VO <sub>2</sub> R Ergo (ml/kg/min)	Hex Test (s)	Push- Ups (reps)	Sit n Reach (cm)
Int	$\bar{x}$	3.1	-	-	50.27	29.68	76.19	-
	SD	0.24	-	-	3.81	0.3	16.53	-
	Max	-	-	-	55.6	-	-	-
	Min	-	-	-	46.7	-	-	-
	<i>n</i>	13	-	-	44	23	58	-
	Pub	1	-	-	3	1	1	-
	Countries	1	-	-	3	1	1	-
	Yrs	1980	-	-	1991-2012	1997	2014	-
	Methods	-	-	-	-	-	-	-
Nat	$\bar{x}$	-	-	-	45.5	32.53	-	-
	SD	-	-	-	0.46	0.42	-	-
	Max	-	-	-	-	-	-	-
	Min	-	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	-	-	-	6	23	-	-
	P	-	-	-	1	1	-	-
	C	-	-	-	1	1	-	-
	Yrs	-	-	-	1991	1997	-	-
	Methods	-	-	-	-	-	-	-
Reg	$\bar{x}$	-	-	-	42.4	33.66	-	-
	SD	-	-	-	1.09	0.53	-	-
	Max	-	-	-	-	-	-	-
	Min	-	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>	-	-	-	7	25	-	-
	P	-	-	-	1	1	-	-
	C	-	-	-	1	1	-	-
	Yrs	-	-	-	1991	1997	-	-
	Methods	-	-	-	-	-	-	-

## RÉFÉRENCES

- Abe, T., Kawakami, Y., Ikegawa, S., Kanehisa, H. et Fukunaga, T. (1992). Isometric and isokinetic knee joint performance in Japanese alpine ski racers. *J Sports Med Phys Fitness*, 32(4), 353-357.
- Aerenhouts, D., Clijsen, R., Fässler, R., Clarys, P. et Taeymans, J. (2012). Event-specific sematotype and physical characteristics of male and female elite alpine skier. Dans Müeller, E., Lindinger, S. et Stöggl, T. (dir.), *Science and Skiing V* (p. 51-58). St. Christoph a. A, Tyrol, Austria : Meyer & Meyer Sport.
- Andersen, R.E., Montgomery, D. et Turcotte, R. (1990). An on-site test battery to evaluate giant slalom skiing performance. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 30(3), 276-282.
- Andersen, R.E. et Montgomery, D.L. (1988). Physiology of alpine skiing. *Sports Medicine*, 6(4), 210-221.
- Bacharach, D.W. et von Duvillard, S.P. (1995). Intermediate and long-term anaerobic performance of elite Alpine skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(3), 305-309.
- Berg, H.E., Eiken, O. et Tesch, P.A. (1995). Involvement of eccentric muscle actions in giant slalom racing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(12), 1666-1670.
- Bompard, J.-J. (2007). *Encyclopédie du ski*. Genève, Suisse : Éditions Aubanel.
- Borenstein, M., Hedges, L.V., Higgins, J.P.T. et Rothstein, H.R. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. United Kingdom : John Wiley & Sons, Ltd.

- Bosco, C., Cotelli, F., Bonomi, R., Mognoni, P. et Roi, G. (1994). Seasonal fluctuations of selected physiological characteristics of elite alpine skiers. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 69(1), 71-74.
- Brown, S.L. et Wilkinson, J.G. (1983). Characteristics of national, divisional, and club male alpine ski racers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 15(6), 491-495.
- Buckthorpe, M., Morris, J. et Folland, J.P. (2012). Validity of vertical jump measurement devices. *Journal of sports sciences*, 30(1), 63-69.
- Bui, H.T., Farinas, M.I., Fortin, A.M., Comtois, A.S. et Leone, M. (2015). Comparison and analysis of three different methods to evaluate vertical jump height. *Clinical physiology and functional imaging*, 35(3), 203-209.
- Emeterio, C. et González-Badillo, J. (2010). The physical and anthropometric profiles of adolescent alpine skiers and their relationship with sporting rank. *The journal of strength and conditioning research*, 24(4), 1007.
- Geissler, U., Waibel, K., Maier, W., Scherr, J. et Wolfarth, B. (2012). Influencing factors on alpine skiing performance. Dans Müeller, E., Lindinger, S. et Stöggl, T. (dir.), *Science and Skiing V* (p. 173-182). St. Christoph a. A, Tyrol, Austria : Meyer & Meyer Sport.
- George, K.P., Gates, P.E., Whyte, G., Fenoglio, R.A. et Lea, R. (1999). Echocardiographic examination of cardiac structure and function in elite cross trained male and female Alpine skiers. *British journal of sports medicine*, 33(2), 93-98.
- Gomez-Lopez, P.J., Ruperez, O.H., Ruiz de Almiron-Megias, P. et Calderon Soto, C. (2012). The anthropometric and physiological profiles in Spanish downhill skiing competitors. Dans Müeller, E., Lindinger, S. et Stöggl, T. (dir.), *Science*

*and Skiing V* (p. 192-201). St. Christoph a. Arlberg, Austria : Meyer & Meyer Sport.

- Gorski, T., Rosser, T., Hoppeler, H. et Vogt, M. (2014). An anthropometric and physical profile of young Swiss alpine skiers between 2004 and 2011. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1), 108-116. doi: 10.1123/ijsp.2013-0223
- Gross, M., Bieri, K., Hoppeler, H., Norman, B. et Vogt, M. (2014). Beta-Alanine Supplementation Improves Jumping Power and Affects Severe-Intensity Performance in Professional Alpine Skiers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 24, 665-673.
- Gross, M., Hemund, K. et Vogt, M. (2014). High intensity training and energy production during 90-second box jump in junior alpine skiers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(6), 1581-1587.
- Gross, M.A., Breil, F.A., Lehmann, A.D., Hoppeler, H. et Vogt, M. (2009). Seasonal variation of  $\dot{V}O_2\max$  and the  $\dot{V}O_2$ -work rate relationship in elite alpine skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(11), 2084-2089. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181a8c37a
- Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D. et Fukashiro, S. (2006). The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. *Journal of biomechanics*, 39(13), 2503-2511.
- Haymes, E.M. et Dickinson, A.L. (1980). Characteristics of elite male and female ski racers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 12(3), 153-158.
- Hébert-Losier, K. et Holmberg, H.-C. (2013). What are the Exercise-Based Injury Prevention Recommendations for Recreational Alpine Skiing and Snowboarding? *Sports Medicine*, 43(5), 355-366. doi: 10.1007/s40279-013-0032-2

- Hebert-Losier, K., Supej, M. et Holmberg, H.C. (2013). Biomechanical factors influencing the performance of elite Alpine ski racers. *Sports Med*, 44(4), 519-533. doi: 10.1007/s40279-013-0132-z
- Helsen, W.F., van Winckel, J. et Williams, A.M. (2005). The relative age effect in youth soccer across Europe. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 629-636. doi: 10.1080/02640410400021310
- Hopkins, W.G., Schabert, E.J. et Hawley, J.A. (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports medicine*, 31(3), 211-234.
- Huber, A., Goll, M., Stockler, F., Spitzenpfeil, P. et Waibel, H. (2015). Evaluation of the 75-second strength endurance test by comparing metabolic and biomechanical values in lab and field. Dans Muller, E., Kroll, J., Lindinger, S. J., Pfusterschmied, J. et Stoggl, T. (dir.), *Science and Skiing VI* (p. 177-186). St. Christoph, Arlberg, Austria : Meyer & Meyer Sport.
- Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., Freschi, M., Maffiuletti, N.A., Bizzini, M. et Moggi, P. (2009). Identification of the physical characteristics that discriminate between competitive levels and specialties of alpine skiers. Dans Müller, E., Lindinger, S. et Stöggl, T. (dir.), *Science and Skiing IV* (p. 272-280). St. Christoph a. A, Tyrol, Austria : Meyer & Meyer Sport.
- Jordan, M.J., Aagaard, P. et Herzog, W. (2015). Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(3), e301-e309. doi: 10.1111/sms.12314
- Koutedakis, Y., Boreham, C., Kabitsis, C. et Sharp, N. (1992). Seasonal deterioration of selected physiological variables in elite male skiers. *International journal of sports medicine*, 13(7), 548-551.
- Laurent, D., Reutenauer, H., Payen, J., Favre-Juvin, A., Eterradosi, J., Lebas, J. et Rossi, A. (1993). Discrimination between cross-country and downhill skiers by

pulmonary and local <sup>31</sup>P NMR evaluations. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(1), 29.

Liphardt, A.M., Schipilow, J.D., Macdonald, H.M., Kan, M., Zieger, A. et Boyd, S.K. (2015). Bone micro-architecture of elite alpine skiers is not reflected by bone mineral density. *Osteoporosis International*, 26(9), 2309-2317. doi: 10.1007/s00198-015-3133-y

Lombardi, G., Colombini, A., Freschi, M., Tavana, R. et Banfi, G. (2010). Seasonal variation of bone turnover markers in top-level female skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 111(3), 433-440. doi: 10.1007/s00421-010-1664-7

Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I. et Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 551-555.

McPherson, S.L. et Thomas, J.R. (1989). Relation of knowledge and performance in boys' tennis: Age and expertise. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48(2), 190-211.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G. et The, P.G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, 6(7), e1000097. doi: 10.1371/journal.pmed.1000097

Müller, E., Gimpl, M., Kirchner, S., Kröll, J., Jahnel, R., Niebauer, J., Niederseer, D. et Scheiber, P. (2011). Salzburg Skiing for the Elderly Study: influence of alpine skiing on aerobic capacity, strength, power, and balance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21(s1), 9-22.

Neumayr, G., Hoertnagl, H., Pfister, R., Koller, A., Eibl, G. et Raas, E. (2003). Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing. *International journal of sports medicine*, 24(8), 571-575.

- Reid, R.C., Johnson, S.C., Kipp, R.W., Albert, R.W. et White, A.T. (1997). Validity of sport-specific field tests for elite and developing alpine ski racers. Dans Müeller, E., Schwanmeder, H., Kornnagl, E. et Raschner, C. (dir.), *Science and Skiing* (p. 285-296). St. Christoph a. Arlberg, Austria : Meyer & Meyer Sport.
- Saibene, F., Cortili, G., Gavazzi, P. et Magistri, P. (1985). Energy sources in alpine skiing (giant slalom). *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 53(4), 312-316.
- Strojnik, V. et Dolenc, A. (2009). Relationship between vertical jumps and different slalom courses. Dans Mueller, E., Lindinger, S. J. et Stoggl, J. (dir.), *Science and Skiing IV* (p. 487-496). St. Christoph a. A., Tyrol, Austria : Meyer & Meyer Sport.
- Taeymans, J., Aerenhouts, D., Clijsen, R., Fassler, R., Clarys, P. et Baryens, J.-P. (2012). Somatotype and kinanthropometric characteristics of male and female junior and elite senior alpine skiers. Dans Müeller, E., Lindinger, S. et Stöggl, T. (dir.), *Sciences and skiing V* (p. 452-460). St. Christoph a. A, Tyrol, Austria : Meyer & Meyer Sport.
- Tesch, P., Larsson, L., Eriksson, A. et Karlsson, J. (1977). Muscle glycogen depletion and lactate concentration during downhill skiing. *Medicine and science in sports*, 10(2), 85-90.
- Turnbull, J.R., Kilding, A.E. et Keogh, J.W.L. (2009). Physiology of alpine skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(2), 146-155.
- Veicsteinas, A., Ferretti, G., Margonato, V., Rosa, G. et Tagliabue, D. (1984). Energy cost of and energy sources for alpine skiing in top athletes. *Journal of Applied Physiology*, 56(5), 1187-1190.

White, A.T. et Johnson, S.C. (1991). Physiological comparison of international, national and regional alpine skiers. *Int J Sports Med*, 12(4), 374-378. doi: 10.1055/s-2007-1024697

Young, W.B. (2006). Transfer of Strength and Power Training to Sports Performance. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 1(2).