

Université de Montréal

Impact des facteurs psycho-environnementaux sur l'apport énergétique lors
d'expédition en altitude et en autonomie complète

Par
Marco Vitullo
Département de Nutrition
Faculté de Médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
En vue de l'obtention du grade de
Maître ès Sciences (M.Sc.) en nutrition

Décembre 2006

© Marco Vitullo, 2006



QU

145

U58

2007

V-008

Direction des bibliothèques

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Impact des facteurs psycho-environnementaux sur l'apport énergétique lors
d'expédition en altitude et en autonomie complète

Présenté par :

Marco Vitullo

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Marielle Ledoux

.....
Directrice de recherche

Victor Gavino

.....
Membre du jury

Christina Blais

.....
Membre du jury

Résumé

Le but de ce projet de recherche était d'identifier les facteurs psychosociaux et environnementaux qui influencent les apports énergétiques et la composition relative en macronutriments de la diète d'un groupe d'alpinistes, lors d'une expédition sur le mont Logan, au Yukon et sur le mont McKinley, en Alaska, dans le but de minimiser la perte pondérale et de masse maigre.

Quatre hommes en santé et physiquement actifs ont été pesés et ont subi des mesures de composition corporelle avant, pendant et après l'expédition. Un journal alimentaire a été complété avant et pendant l'étude. Cette tâche a été facilitée pendant l'expédition par l'utilisation de rations de différentes densités énergétiques en fonction du niveau d'activité physique prévu. Les résultats obtenus montrent qu'il y a eu une perte pondérale et de masse maigre significative ($p < 0,05$) après les 35 jours d'expédition. Les apports énergétiques entre les périodes pré- et pendant l'expédition ont augmenté de façon non-significative ($p > 0,05$). Une augmentation significative des apports en glucides ainsi qu'une diminution significative des apports protéiques entre la période pré- et pendant l'expédition ont été observées ($p < 0,05$). On note une très faible corrélation entre la diminution des apports énergétiques et l'altitude ($R^2 = 0,0183$). Les apports alimentaires n'ont pas été influencés par les périodes de blizzard ($p > 0,05$). Le contenu des rations de différente densité énergétique n'a pas influencé les apports alimentaires ni la composition relative en macronutriments ($p > 0,05$).

Les apports alimentaires des sujets ne semblent pas avoir été influencés par les conditions environnementales ni par la préparation de rations de contenu énergétique variable. Cependant, la durée de l'expédition et la satiété sensorielle spécifique ont un effet possiblement synergique sur la diminution de l'appétit.

Mots-clés : Altitude, froid, anorexie, perte pondérale, apport énergétique, expédition.

Abstract

The goal of this research project was to identify the psychological, sociological, and environmental factors which influence energy intakes and relative composition of macronutrients in climber's diet during expeditions to Mount Logan in Yukon and Mount McKinley in Alaska, in order to minimize weight loss and lean muscle loss.

Four healthy and active men were weighed, and anthropometric measures were taken before, during, and after the expedition. They also kept a food record before and during the expedition. This task was facilitated by use of food rations of different energy content, which were dependent on the expected level of physical activity. Results show there is significant weight loss and fat mass loss ($p < 0.05$) after 35 days of expedition. Energy intakes increased during the expedition but in a non-significant way ($p > 0.05$). Furthermore, it was observed that carbohydrate intake increased, while protein intake tended to decrease significantly between the period previous to expedition and during the expedition ($p < 0.05$). Results suggest a very small correlation between altitude and reduction of energy intakes ($R^2 = 0.0183$). No significant difference between average energy intakes was noted during blizzards ($p < 0.05$). Energy content of food rations influenced neither energy intake, nor relative composition of macronutrients. Total energy intakes remained the same during the expedition, no matter, which bag of food rations, was chosen ($p > 0.05$).

Energy intakes of the subjects did not seem to be influenced by environmental conditions nor by the use of food rations of varying energy content. However, the length of the expedition and sensory specific satiety may have a potential synergic effect on the reduction of appetite.

Keywords: altitude, cold, anorexia, weight loss, energy intake, expedition

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
A REVUE DE LITTÉRATURE	3
1 Historique	3
2 Malaises rencontrés en altitude.....	5
3 Effets de l'altitude sur l'alimentation.....	14
3.1 Métabolisme en altitude et au froid	14
3.1.1 Dépense énergétique	14
3.1.2 Apports énergétiques	20
3.1.2.1 Anorexie de l'altitude.....	22
3.1.2.2 Digestion et absorption.....	26
3.1.3 Macronutriments.....	29
3.1.3.1 Lipides.....	30
3.1.3.2 Glucides.....	31
3.1.3.3 Protéines.....	32
3.1.4 Balance hydrique	34
3.1.5 Micronutriments	37
3.1.5.1 Vitamines	37
3.1.5.2 Minéraux	42
3.1.5.3 Autres	44
4 Composition corporelle.....	45
5 Exercice et performance	48
6 Cuisine et considérations pratiques.....	49
7 Facteurs influençant l'apport alimentaire	51
7.1 Palatabilité	51
7.2 Variété	52
7.3 Alliesthésie et satiété sensorielle spécifique.....	53
7.4 Facteurs situationnels	54
B HYPOTHÈSES ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	56
1 Hypothèses.....	56
2 Objectif général.....	56
3 Objectifs spécifiques	57
C MÉTHODOLOGIE	58
1 Présentation de l'équipe	58
2 Déroulement de l'étude.....	59

3	Protocole nutritionnel	59
3.1	Besoins énergétiques	59
3.2	Macronutriments.....	60
3.3	Hydratation.....	61
3.4	Logistique nutritionnelle.....	62
3.5	Préparation du menu.....	64
3.6	Préparation des sacs.....	65
4	Paramètres mesurés	67
4.1	Laboratoire	67
4.1.1	Anthropométrie.....	67
4.1.2	Métabolisme de repos	68
4.1.3	Forme physique	69
4.2	Terrain	70
4.2.1	Journal de bord	70
4.2.2	Apports alimentaires.....	70
4.2.3	Facteurs psycho-environnementaux.....	72
5	Analyses statistiques	73
D	RÉSULTATS	74
1	Caractéristiques initiales des sujets	74
2	Description des activités	75
3	Conditions environnementales	78
3.1	Conditions météorologiques	78
3.2	Altitude	81
4	Composition corporelle	82
5	Apports alimentaires	85
5.1	Pré-expédition.....	85
5.2	En cours d'expédition.....	86
5.2.1	Énergie	88
5.2.2	Glucides	90
5.2.3	Lipides	92
5.2.4	Protéines	94
5.2.5	Apport hydrique.....	97
6	Influence de l'environnement sur les apports	99
6.1	Altitude	99
6.1.1	Énergie et altitude	99
6.1.2	Macronutriments et altitude	100
6.2	Météorologie.....	102
7	Habitudes alimentaires	103
7.1	Effet des changement de sacs	103
7.2	Satisfaction	104
7.3	Description des aliments non consommés.....	105
7.4	Consommation des barres énergétiques.....	106
7.5	Groupe de discussion post-expédition / Rétroaction post-expédition.....	107

E	DISCUSSION	108
1	Objectifs de l'étude	108
2	Détermination des apports à l'aide du journal de bord.....	108
3	Composition corporelle.....	109
4	Apports alimentaires.....	111
4.1	Énergie.....	111
4.2	Macronutriments.....	113
5	Facteurs influençant les apports alimentaires	115
5.1	Anorexie de l'altitude	115
5.2	Satiété sensorielle spécifique	117
5.3	Effets de la météo	119
5.4	Effets des changements de sacs	120
6	Recommandations pour expéditions futures	122
7	Suggestions pour études futures.....	123
F	CONCLUSION	124
	BIBLIOGRAPHIE:	126
	ANNEXE 1	I
	Formulaire de consentement	i
	ANNEXE 2	VI
	Consensus du Lac Louise sur la définition du mal de l'altitude	vi
	ANNEXE-3	VIII
	Grille de suivi du mal de l'altitude.....	viii
	ANNEXE-4	XI
	Liste des aliments utilisés pendant l'expédition.....	xi
	ANNEXE-5	XV
	Groupe de discussion post-expédition	xv

Liste des tableaux

Tableau I:	Classification de l'altitude.....	5
Tableau II:	Pression barométrique et PO ₂ inspiré en fonction de l'altitude.....	6
Tableau III:	Dépense énergétique de 24 heure estimée par la technique de l'eau doublement marquée dans des conditions d'altitude et de froid.....	19
Tableau IV:	Besoin en vitamines du complexe B en fonction de l'énergie consommée.....	37
Tableau V:	Causes potentielles de la perte de poids en altitude	46
Tableau VI:	Apport énergétique prévu en fonction du niveau d'activité	60
Tableau VII:	Contraintes logistiques associées à la planification de l'alimentation lors d'une expédition en autonomie complète, sans ravitaillement	63
Tableau VIII:	Prévision du nombre de jours d'expédition et de leur intensité	64
Tableau IX:	Exemple de menu code 6000 (jour de sommet).....	66
Tableau X:	Caractéristiques initiales des sujets.....	74
Tableau XI:	Description des activités de l'expédition sur le mont Logan	76
Tableau XII:	Description des activités de l'expédition sur le mont Mckinley	77
Tableau XIII:	Description des conditions météorologiques et de l'environnement sur le mont Logan	79
Tableau XIV:	Description des conditions météorologiques et de l'environnement sur le mont Mckinley	80
Tableau XV:	Évolution du poids corporel au cours de l'étude	82
Tableau XVI:	Variation de la composition corporelle	84
Tableau XVII:	Apport alimentaire pré-expédition (5 jours).....	85
Tableau XVIII:	Apport alimentaire pendant l'expédition (35 jours).....	86
Tableau XIX:	Apport alimentaire en pré-expédition et sur les deux montagnes.....	87
Tableau XX:	Variation de l'hydratation à différents moments de la journée (litres).....	98
Tableau XXI:	Apport énergétique et météorologie.....	102
Tableau XXII:	Apport alimentaire en fonction des sacs préparés.....	103

Liste des figures

Figure 1:	Physiopathologie potentielle du M.A.M. et de l'O.C.H.A.....	11
Figure 2:	Physiopathologie potentielle de l'O.P.H.A.	13
Figure 3:	Effets de l'hypoxie et de la leptine sur l'homéostasie énergétique.	24
Figure 4:	Mécanisme de la perte de poids en altitude	47
Figure 5:	Déroulement du projet de recherche.....	59
Figure 6:	Journal de bord section alimentaire	71
Figure 7:	Journal de bord section santé, moral et activité.....	72
Figure 8:	Météorologie et environnement.....	73
Figure 9:	Altitudes atteintes lors de l'expédition	81
Figure 10:	Évolution du poids corporel.....	83
Figure 11:	Apport énergétique de chaque sujet par jour.....	88
Figure 12:	Apport énergétique moyen quotidien	89
Figure 13:	Apport glucidique de chaque sujet par jour.....	90
Figure 14:	Apport glucidique moyen par jour	91
Figure 15:	Apport lipidique de chaque sujet par jour.....	92
Figure 16:	Apport lipidique moyen de l'équipe	93
Figure 17:	Apport protéique de chaque sujet par jour.....	94
Figure 18:	Apport protéique moyen par jour.....	95
Figure 19:	Répartition moyenne des macronutriments en fonction de l'énergie.....	96
Figure 20:	Hydratation totale par jour par sujet.....	97
Figure 21:	Hydratation totale moyenne de l'équipe.....	98
Figure 22:	Apport glucidique en fonction de l'altitude	100
Figure 23:	Apport lipidique en fonction de l'altitude	101
Figure 24:	Apport protéique en fonction de l'altitude.....	101
Figure 25:	Satisfaction et appétit.....	104
Figure 26:	Figure Consommation quotidienne de barres.....	106

Liste des abréviations

AGCC	Acides gras à chaînes courtes
ANREF	Apport nutritionnel de référence
ANR	Apport nutritionnel recommandé
BME	Besoin moyen estimé
° C	Degré Celsius
CRP	Protéine C réactive
DXA	Dual energy X-ray absorptiometry
EPO	Érythropoïétine
IL-6	Interleukine 6
j	Jour
kcal	Kilocalorie
keV	Kilo électron-Volts
kg	Kilogramme
L	Litre
m	Mètre
MAM	Mal aigu des montagnes
MB	Métabolisme de base
MR	Métabolisme de repos
µg ou ng	Microgramme
mL	Millilitre
OCHA	Œdème cérébral de haute altitude
OPHA	Œdème pulmonaire de haute altitude
RPM	Rations prêtes à manger
UdeC	Université de Calgary
UdeM	Université de Montréal
VO _{2max}	Consommation d'oxygène maximale
W	Watts

Remerciements

Merci à Marielle Ledoux, pour m'avoir accordé de son précieux temps.

Merci à Joëlle Gauthier pour m'avoir accompagné dans cette aventure.

Merci à Lise Séguin, pour m'avoir donné du temps quand j'en avais le plus besoin.

Merci à Maura Hooper et Nancy Scholz du département de kinésiologie de l'université de Calgary pour la prise des mesures anthropométriques suite à l'ascension du mont McKinley.

Merci et félicitation aux quatre membres de l'équipe, pour avoir réussi l'ascension du mont Logan et du mont McKinley lors de la même expédition, tout en répondant aux nombreuses contraintes de ce projet de recherche.

Merci à mon grand ami Robert Boucher pour son soutien moral et technique.

Merci tout particulier à mon épouse Renée Monette, pour m'avoir soutenu et épaulé tout au long de ce projet de recherche.

INTRODUCTION

Un nombre croissant de personnes s'aventurent en altitude à chaque année. Les athlètes exposés à une altitude supérieure à 2500 m sont susceptibles de développer les symptômes du mal aigu des montagnes (M.A.M), notamment des céphalées, de l'œdème périphérique, de l'anorexie, des nausées, des vomissements, de la fatigue, des étourdissements et des troubles du sommeil (Barry et Pollard, 2003). Ces symptômes, généralement bénins et réversibles, peuvent précéder l'apparition de l'œdème cérébral de haute altitude ainsi que l'œdème pulmonaire de haute altitude, deux conditions médicales sévères (Rodway, 2003). En plus de l'inappétence et de la diminution des apports alimentaires qu'elle engendre, l'hypoxie hypobare rencontrée en altitude entraîne d'autres manifestations telles l'hyperventilation, laquelle est accompagnée d'une alcalose respiratoire transitoire et d'une augmentation de la diurèse secondaire (West, 2004). Jumelée à l'augmentation des pertes insensibles et à la diminution de la sensation de soif, la diurèse accrue contribue au développement de la déshydratation observée en altitude en début de séjour (International Society for Mountain Medicine ISMM, 2006).

Une perte pondérale est prévisible chez les athlètes exposés à l'hypoxie associée à l'altitude (Butterfield, 1999). Outre la diminution des apports alimentaires, plusieurs facteurs peuvent contribuer aux changements de la composition corporelle observés, dont l'étiologie n'est pas clairement définie. À cet effet, notons la contribution probable de la dépense énergétique accrue par l'activité physique intense, de la déshydratation, de la malabsorption intestinale, du froid et de la disponibilité moindre d'aliments agréables (Gulledge et coll., 2003). Alors que l'hypoxie prise isolément peut diminuer la dépense énergétique totale et qu'une diminution de la thermogénèse alimentaire est prévisible due à une réduction des apports, il semble que l'activité physique soit le facteur principal pouvant expliquer la hausse des besoins énergétiques dans des conditions d'expéditions en altitude (Westerterp et Kayser, 2006).

Par ailleurs, on observe avec la montée en l'altitude une augmentation dans les actes alimentaires, ce qui se traduit par une fréquence de repas et de collations accrue, mais dont l'apport énergétique total est diminué par rapport au niveau de la mer (Westerterp et coll., 1999). De plus, lorsque les symptômes du M.A.M. se manifestent, les athlètes exposés à l'altitude perdent intérêt à s'alimenter, cette diminution de l'appétit persiste même après que le M.A.M. soit résolu (Westerterp et coll., 1999). En plus de la perte du désir de manger, la disponibilité réduite d'aliments variés ayant des propriétés sensorielles distinctes entraînent une augmentation de la satiété sensorielle spécifique, et possiblement de l'alliesthésie, ce qui nuit aux apports énergétiques (Sorensen et coll., 2003 et Rolls et coll., 1981). L'absence d'un environnement familier au moment des repas peut aussi influencer négativement les apports (Hirsh et coll., 2005). Enfin, de par la nature des aliments privilégiés lors d'expéditions en altitude, la phase céphalique anticipatoire, qui est généralement stimulée par les propriétés sensorielles des aliments, est négligée. Cette étape est reconnue pour stimuler la salivation, la production de gastrine et pour favoriser la synthèse de facteurs orexigènes facilitant l'utilisation métabolique des nutriments ingérés (Kramer, 1995).

Le but de cette étude est d'identifier les facteurs psychosociaux et environnementaux qui influencent les apports énergétiques et la composition relative en macronutriments des aliments choisis par les membres d'expéditions en altitude et au froid.

A REVUE DE LITTÉRATURE

1 Historique

Les premières informations recueillies sur l'alimentation lors d'expéditions représentaient souvent l'inventaire de tous les aliments emportés pour l'expédition et la consommation quotidienne de l'ensemble des membres sans préciser la consommation individuelle de chacun des participants. En 1938, Shipton rapporte qu'à 8000 m d'altitude (mont Everest, 8848 m), l'appétit est inhibé et les aliments solides entraînent la nausée. De même, il mentionne qu'à partir de 3600 m, le désir pour les lipides diminue ce qui en limite la consommation (Reynolds et coll., 1998)

Au début des années 1950 se tiennent les premières véritables études scientifiques portant sur l'impact physiologique des conditions extrêmes retrouvées lors d'expéditions en montagne. Lewis Griffith Cresswell Evans Pugh (1909-1986), médecin physiologiste, fut l'un des premiers à étudier et à démontrer l'importance de l'hydratation, de la nutrition et de l'apport en oxygène, lors de l'expédition britannique de 1952 au mont Cho-Oyu (8201 m), mentionnant qu'un apport énergétique et hydrique adéquat est aussi important que l'apport en oxygène (Askew, 2004). Les informations recueillies lors de cette expédition seront déterminantes au succès de l'expédition britannique au mont Everest d'Edmund Hillary qui aura lieu l'année suivante (Milledge, 2002).

Les observations de Pugh, lors de son séjour sur l'Himalaya, ont porté sur l'importance de la nutrition et de l'anorexie reliées à une mauvaise acclimatation à l'altitude ainsi qu'à la préférence pour les glucides en altitude. Ces travaux ont inspiré Consolazio, pionnier dans la recherche sur l'alimentation en montagne, du Laboratoire militaire en recherche médicale et nutrition des États-Unis. Consolazio, a débuté en 1969 une série d'études traitant des effets d'une diète riche en glucides sur la performance en altitude (Askew, 2004). Actuellement, la composition de la diète idéale pour les expéditions dans des conditions extrêmes

n'est pas encore clairement établie. Dans une série d'études nommées Opération Everest I, II et III, les effets de l'altitude sur la physiologie humaine, tels que ceux rencontrés lors des expéditions de hautes montagnes, ont été simulés et analysés en chambre hypobare. L'utilisation de la chambre hypobare permet de simuler plusieurs paliers allant jusqu'à 8848 m (sommet de l'Everest) et d'isoler les effets de l'altitude sur l'alimentation en contrôlant les facteurs confondants potentiellement présents lors d'expéditions en haute montagne, tels que le froid, l'épuisement mental et physique, le stress et la disponibilité moindre d'aliments de qualité.

2 Malaises rencontrés en altitude

Les effets négatifs de l'hypoxie hypobare sur les habitants des basses altitudes se rendant en haute altitude sont connus depuis longtemps. Déjà en 1500, les *conquistadores* espagnols comparaient leurs malaises et leur piètre performance physique à la vigueur des indigènes habitant en haute altitude (Beall, 2003). Les effets de l'altitude sur la physiologie humaine sont dépendants du rythme d'ascension, de l'altitude atteinte et de la durée de l'exposition. Le tableau I donne une classification de l'altitude, qui sera utilisée par la suite dans ce mémoire.

Tableau I: Classification de l'altitude

Altitude intermédiaire	1500-2500 m
Haute altitude	2500-3500 m
Très haute altitude	3500-5800 m
Altitude extrême	>5800 m

Adapté de Hamad et Travis, 2006

Ravenhill, chirurgien anglais, a développé l'une des premières descriptions du mal de l'altitude dans un article publié en 1913 « Some experience of mountain sickness in the Andes » (West, 1998), rédigé suite à un séjour dans les mines des Andes chiliennes situées en haute altitude. Le mal de l'altitude est demeuré méconnu jusqu'à ce qu'un incident survienne sur le mont McKinley (6194 m) au début des années 1960 et déclenche une spectaculaire expédition de sauvetage à 5500 m d'altitude. Suite à l'ascension rapide, certains secouristes non acclimatés à l'altitude ont développé différentes formes du mal de l'altitude, allant des troubles neurologiques aux malaises pulmonaires. Ces événements ont mené à la description actuelle du mal de l'altitude ainsi qu'à trois de ses principales composantes : le mal aigu des montagnes (M.A.M.), l'œdème cérébral de haute altitude (O.C.H.A.) et l'œdème pulmonaire de haute altitude (O.P.H.A.) (Rodway, 2003). Malgré le fait que le M.A.M soit bien défini dans la littérature, les athlètes se rendant en altitude ne semblent pas bénéficier des connaissances scientifiques sur le sujet. En fait, le M.A.M est souvent sous-

estimé par les athlètes, qui minimisent de 50% le risque d'en développer les manifestations physiques. À cet effet, dans 75% des cas, il semble que les athlètes n'associent pas les malaises et symptômes qu'ils ont ressenti lors de leur séjour en altitude au M.A.M (Glazer et coll., 2005).

La pression atmosphérique diminue de façon linéaire en fonction de l'augmentation de l'altitude. Même si le pourcentage d'oxygène inspiré est constant quelque soit l'altitude (21% de la composition de l'atmosphère), la diminution de la pression atmosphérique en haute altitude réduit la pression partielle de l'oxygène inspiré (PO_2), et conséquemment, perturbe les échanges gazeux au niveau pulmonaire (Peacock, 1998). Ainsi, à 3000 m, la PO_2 est diminuée de 30% comparativement à celle du niveau de la mer (tableau II). La PO_2 est reliée à la pression atmosphérique et varie en fonction des conditions météorologiques environnantes, telles que la présence de vents violents et de dépressions. Lorsqu'il est soumis à l'hypoxie de façon prolongée, le corps s'acclimata par une série d'adaptations physiologiques (Peacock, 1998; West, 2004).

Tableau II: Pression barométrique et PO_2 en fonction de l'altitude

Altitude (m)	Pression atmosphérique (mm Hg)	PO_2 au niveau de la mer (%)
0	760	100 %
1000	679	89 %
2000	604	79 %
3000	537	69 %
4000	475	60 %
5000	420	52 %
8848	253	29 %

(sommet de l'Everest)

Adapté de West, 2004

L'hyperventilation, le plus important de ces changements adaptatifs, est une augmentation du rythme respiratoire et de la profondeur de chaque inspiration, qui sont déclenchées par la stimulation hypoxique des chémorécepteurs périphériques détectant une baisse de la PO_2 artérielle (West, 2004). Malgré une hyperventilation continue, la PO_2 alvéolaire demeure plus basse en altitude qu'au niveau de la mer (West, 2004). Par ailleurs, l'augmentation du rythme respiratoire entraîne une chute du dioxyde de carbone (CO_2) dans le sang. Dans des conditions normales, c'est l'accumulation de CO_2 dans le sang qui envoie au cerveau le signal d'initier la respiration. Puisque ce signal est diminué en altitude, c'est plutôt la chute de la concentration sérique d'oxygène qui vient stimuler les centres respiratoires. La stimulation par manque d'oxygène est moins spécifique et plus lente que celle induite par l'accumulation de CO_2 , et agit comme valve de sécurité (International Society for Mountain Medicine ISMM, 2006). Pendant le sommeil en altitude, le déclenchement de la respiration alterne entre ces deux mécanismes, soit la diminution de l'oxygène et l'accumulation de CO_2 , ce qui entraîne la respiration périodique (*cheyne stroke respiration*). En effet, la respiration périodique est un ralentissement de la respiration, suivi d'un arrêt de 10 à 15 secondes et finalement, de la reprise, caractérisée par une période de respiration rapide. La respiration périodique nuit à la qualité du sommeil, entraînant des réveils fréquents et une impression d'étouffement ainsi que des épisodes d'anxiété provoqués par le réveil pendant la période d'apnée (ISMM, 2006).

Par ailleurs, une autre conséquence de l'hyperventilation et de l'élimination accrue de CO_2 est le développement d'une alcalose respiratoire transitoire, durant un à deux jours, compensée par une excrétion rénale accrue de bicarbonate dans l'urine (West, 2004). Cette augmentation de la production d'urine est connue sous le nom de diurèse de l'altitude et tend à diminuer la formation d'œdème. De même, elle contribue conjointement avec l'augmentation des pertes insensibles et la diminution de la sensation de soif, à la déshydratation retrouvée en altitude en début de séjour (ISMM, 2006).

Dans un autre ordre d'idée, l'augmentation initiale de la concentration d'hémoglobine rencontrée chez les sujets en altitude est en partie expliquée par une chute du volume plasmatique due à la déshydratation (Peacock, 1998). De plus, la production d'érythropoïétine par le rein dans le but de stimuler la production d'hémoglobine est accrue, ce qui s'ajoute au phénomène décrit précédemment. Ce mécanisme requiert plusieurs jours et se poursuit sur plusieurs semaines (West, 2004). Ainsi, la capacité du sang à transporter l'oxygène est améliorée, mais cela se traduit aussi par un sang plus visqueux, entraînant ainsi des risques plus élevés de thromboses et d'accidents vasculaires-cérébraux (Peacock, 1998).

Il est important de noter que le processus d'acclimatation ne permet pas à l'organisme de retourner à un état similaire à celui du niveau de la mer. Ainsi, l'acclimatation n'annule pas les effets de l'hypoxie reliée à l'altitude (West, 2004). La meilleure façon de faciliter l'acclimatation est de surveiller le rythme d'ascension. Une des règles d'or stipule qu'à partir de 3000 m d'altitude, le campement de nuit ne devrait pas dépasser celui de la nuit précédente de plus de 300 m. De même, une journée de repos à chaque 1000 m est nécessaire (Basnyat et Murdoch, 2003), d'où l'adage « *Climb high and sleep low* » utilisé par les habitués des hautes altitudes.

Ainsi, certains malaises bénins comme l'hyperventilation, le sommeil périodique et l'augmentation de la diurèse sont normaux et inévitables. Cependant, d'autres manifestations plus graves reliées à une mauvaise acclimatation à l'altitude pourraient être évitées, mais elles sont souvent considérées comme normales par les participants d'expédition en altitude. Le mal de l'altitude est le terme collectif du syndrome qui peut affecter les voyageurs non acclimatés peu après leur arrivée en altitude (Basnyat et Murdoch, 2003). Les symptômes peuvent être quantifiés sur le terrain en utilisant la grille de dépistage du lac Louise (ISMM, 2001) (Annexe 2 et Annexe 3).

Le M.A.M. est associé à plusieurs symptômes d'intensité variable, tels que les céphalées, l'œdème périphérique, l'anorexie, les nausées, les vomissements, la fatigue, la faiblesse, les étourdissements et les troubles du sommeil (Barry et Pollard, 2003). Les symptômes apparaissent typiquement de six à 12 heures suivant l'arrivée à une nouvelle altitude et se résolvent normalement en un à trois jours, s'il n'y a pas de nouvelle ascension. Dans la région du mont Everest au Népal, 50 % des randonneurs se rendant à une altitude de 4000 m pour une période de cinq jours ou plus ont développé un M.A.M., alors que 84% de ceux qui arrivent directement en avion à 3860 m en sont affectés (Basnyat et Murdoch, 2003). Le M.A.M est inhabituel à une altitude de 2500 m et moins (Barry et Pollard, 2003).

La pathophysiologie du M.A.M. est encore méconnue. Les symptômes associés au M.A.M. pourraient résulter d'une enflure cérébrale secondaire à une augmentation du flux sanguin en réaction au stress hypoxique et/ou d'un œdème cérébral léger dû à une altération de la barrière hémato-encéphalique, se traduisant par une augmentation de la pression intracrânienne (West, 2004). La grande variation inter-individuelle pourrait être expliquée par une différence dans le ratio du liquide céphalo-rachidien et du volume du cerveau (Basnyat et Murdoch, 2003). Les individus ayant un ratio plus élevé seraient plus aptes à compenser l'enflure cérébrale par le déplacement du liquide céphalo-rachidien (Basnyat et Murdoch, 2003).

L'œdème cérébral de haute altitude (O.C.H.A.) est habituellement précédé du M.A.M. Plusieurs chercheurs avancent que ces deux phénomènes sont étroitement liés et que l'O.C.H.A. représenterait la fin du continuum et pourrait mener au coma et à la mort (Barry et Pollard, 2003). Les symptômes de l'O.C.H.A. sont entre autres des maux de tête, des nausées et vomissements, la présence d'ataxie, des hallucinations, de la désorientation et de la confusion ainsi que l'altération du niveau de conscience (Barry et Pollard, 2003). Le M.A.M. peut évoluer en O.C.H.A. en quelques heures. L'incidence de l'O.C.H.A.

est de 1% à 2% chez les sujets qui montent à plus de 4500 m d'altitude (West, 2004). La physiopathologie de l'O.C.H.A. (figure 1) serait la même que celle du M.A.M. (Basnyat et Murdoch, 2003). Ainsi, des images obtenues par résonance magnétique chez des sujets avec O.C.H.A. montrent un transfert de liquide plasmatique à travers la barrière hémato-encéphalique (Hackett et coll., 1998). Ces images suggèrent que le mécanisme principal est lié au mouvement des fluides et des protéines hors du compartiment vasculaire et à cet effet, la barrière hémato-encéphalique pourrait jouer un rôle important dans le développement de l'O.C.H.A. (Hackett et coll., 1998).

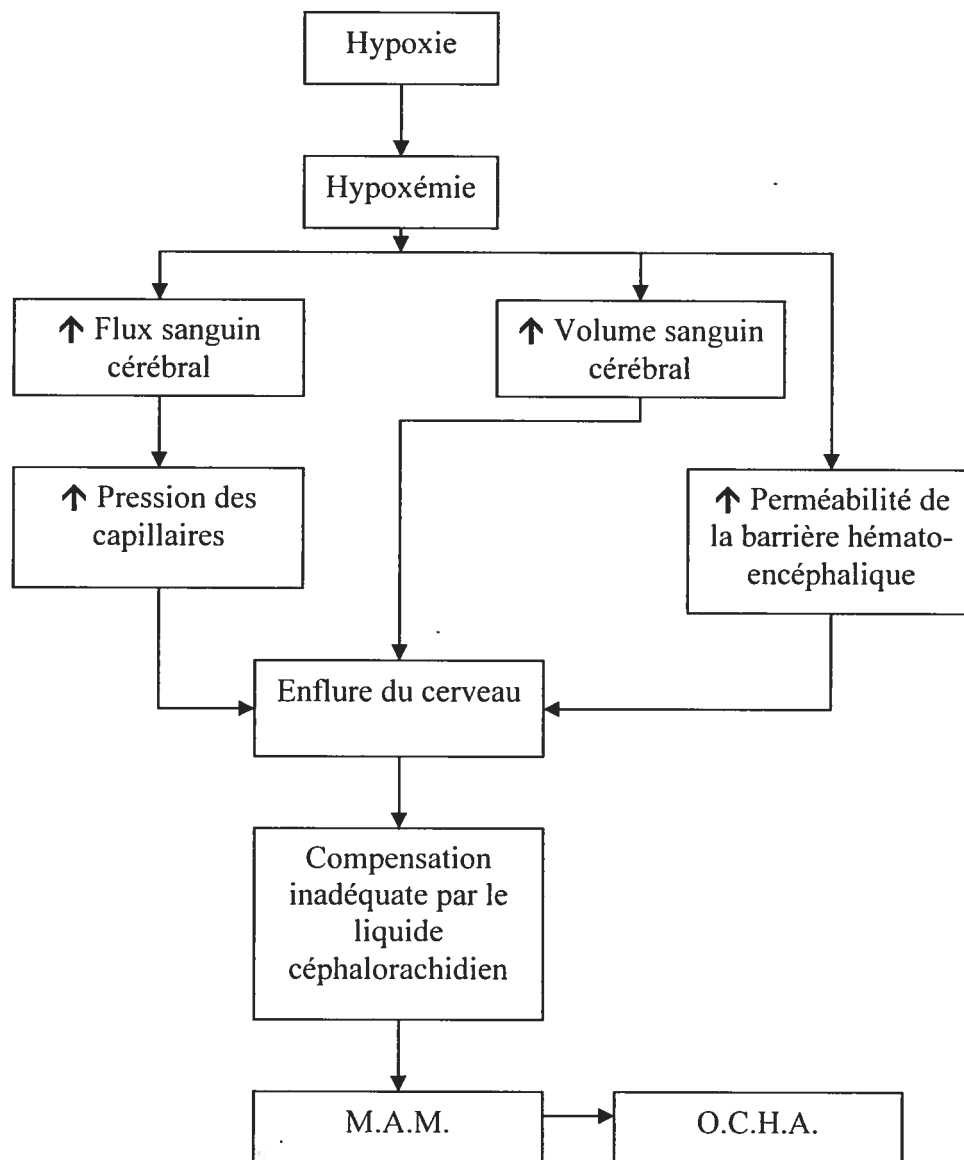


Figure 1: Physiopathologie potentielle du M.A.M. et de l'O.C.H.A.
Adapté de Basnyat et Murdoch, 2003

Par ailleurs, l'œdème pulmonaire de haute altitude (O.P.H.A.) est caractérisé par une dyspnée à l'effort qui progresse vers une dyspnée au repos, de la faiblesse, une toux sèche qui se transforme en une toux qui produit un crachat mousseux teinté de sang, d'une légère fièvre (38,5°C) et des crépitements à l'auscultation (Barry et Pollard, 2003). L'O.P.H.A. est potentiellement mortel et se développe typiquement de deux à quatre jours après une ascension à plus de 2500 m d'altitude (Basnyat et Murdoch, 2003). L'incidence, à une vitesse d'ascension normale, est de 1% à 2%, mais elle peut augmenter jusqu'à 10% lors d'une ascension rapide à 4500 m, tel que lors d'une arrivée en avion à La Paz, en Bolivie (4200 m) (West, 2004). Le froid intense et l'épuisement contribuerait aussi à augmenter les chances de développer un O.P.H.A.

La physiopathologie exacte de l'O.P.H.A. est toujours à l'étude, mais il y a de fortes évidences à l'effet qu'il serait déclenché par une hypertension pulmonaire secondaire à une vasoconstriction en réaction à l'hypoxie (figure 2) (West, 2004). En effet, en réponse à une vasoconstriction pulmonaire inégale, certains capillaires sont exposés à cette hypertension, entraînant des dommages de stress à l'endothélium, provoquant une fuite de liquide riche en protéines et en érythrocytes dans les alvéoles pulmonaires (West, 2004). L'inflammation associée à l'O.P.H.A. serait secondaire à l'envahissement des alvéoles par l'œdème (Basnyat et Murdoch, 2003). Malgré le fait que l'inflammation ne soit pas le facteur déclenchant de l'O.P.H.A., les personnes normalement résistantes à l'O.P.H.A. pourraient le développer en réaction à des facteurs susceptibles d'affecter la perméabilité des capillaires, tels que l'inflammation (Basnyat et Murdoch, 2003).

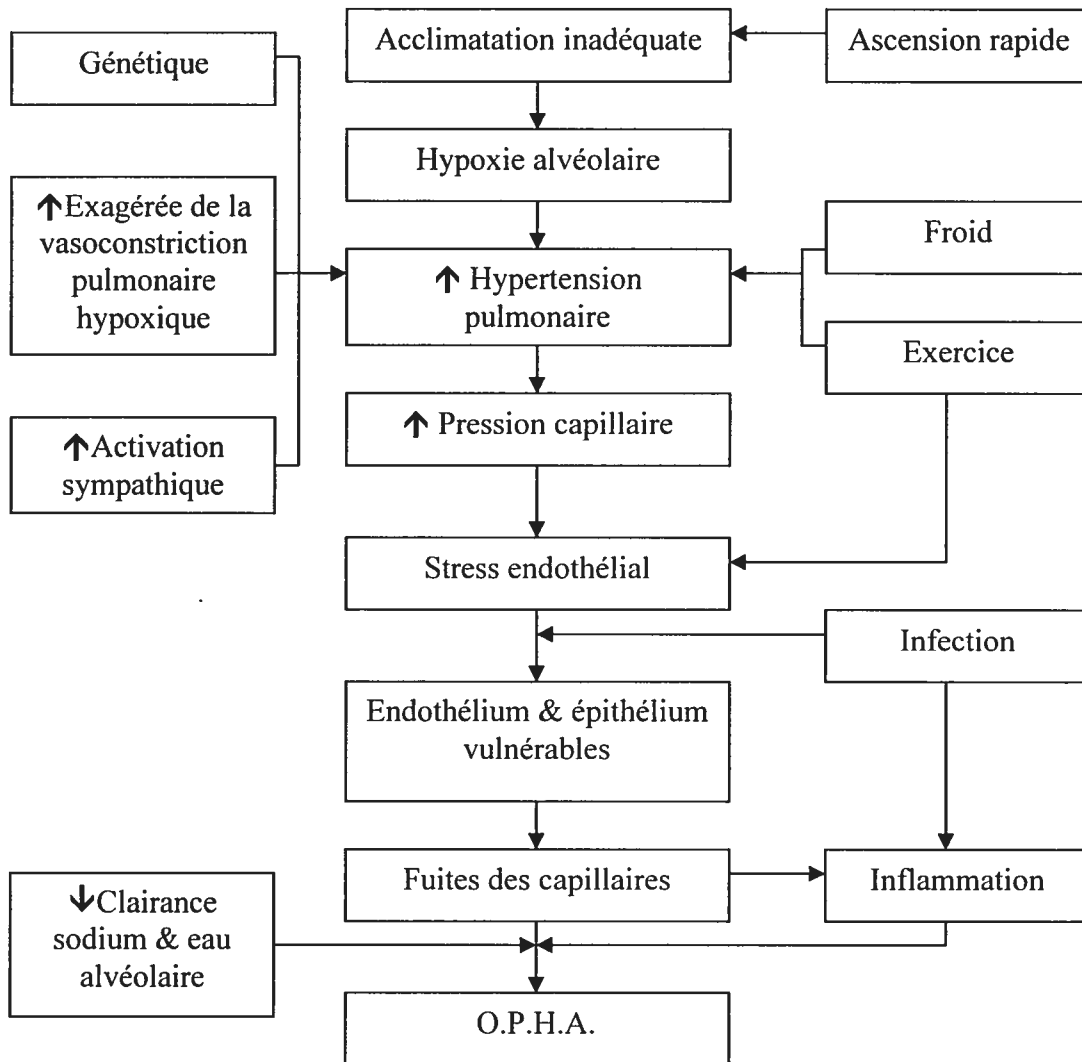


Figure 2: Physiopathologie potentielle de l'O.P.H.A.

Adapté de Basnyat et Murdoch, 2003 et de Barry et Pollard, 2003

Le traitement le plus simple pour le M.A.M., l'O.C.H.A. et l'O.P.H.A. est d'arrêter toute nouvelle ascension et de descendre si la situation se détériore (Barry et Pollard, 2003), habituellement à l'altitude de la dernière nuit. Une diminution de 400 m à 500 m est habituellement suffisante pour corriger les symptômes (Basnyat et Murdoch, 2003).

3 Effets de l'altitude sur l'alimentation

3.1 Métabolisme en altitude et au froid

3.1.1 Dépense énergétique

L'observation la plus constante en ce qui concerne les études sur l'exposition de visiteurs en haute altitude est la perte de poids (Butterfield, 1999). Cependant, l'étiologie de cette perte pondérale n'est pas clairement définie, mais pourrait comprendre l'augmentation de la dépense énergétique en réponse à un effort physique intense, l'accès limité à des aliments agréables, la déshydratation, la malabsorption intestinale, le M.A.M., l'exposition au froid ou une combinaison de tous ces facteurs (Gulledge et coll., 2003).

La dépense énergétique quotidienne peut être divisée en trois composantes, soit le métabolisme de base (M.B.), la thermogénèse due à la digestion des aliments et la dépense énergétique liée à l'activité physique. Dans des conditions normales, le M.B. est le facteur ayant le plus d'impact sur la détermination de la dépense énergétique totale, son principal déterminant étant le poids, plus spécifiquement la masse maigre (Westerterp, 2001). La dépense énergétique liée à la thermogénèse alimentaire est une composante fixe du métabolisme énergétique quotidien pour une alimentation mixte composée de 10 à 15% de protéines, 20 à 40% de lipides et la balance en glucides. Elle représente environ 10% de la dépense énergétique quotidienne quand les apports couvrent les dépenses (Westerterp, 2001). La dépense énergétique induite par l'activité physique est la composante la plus variable de la dépense énergétique quotidienne totale et elle est exprimée en multiple du M.B. (Westerterp, 2001). Suite à l'arrivée en altitude, on observe une augmentation du M.B. pendant les trois premiers jours, puis une diminution graduelle pour revenir à la normale, approximativement en trois semaines (Butterfield, 1999). Cette augmentation transitoire du M.B. pourrait être liée partiellement au stress dû à l'altitude et à

l'acclimatation. Ainsi, le stress engendré par l'acclimatation diminue avec le temps, comme l'indique la diminution du taux d'adrénaline urinaire (Butterfield, 1999). À cet effet, la dépense énergétique moyenne estimée d'un homme adulte, lors d'une expédition en montagne, par temps froid et en haute altitude, se situe entre 4500 et 5000 kcal par jour (Edwards et coll., 1995; Tharion et coll., 2005), mais peut parfois atteindre jusqu'à 7000 kcal par jour (Tharion et coll., 2005). Ces recommandations, bien qu'émanant de source militaire, sont confirmées par de nombreuses expéditions de civils en hautes altitudes et au froid, où l'apport énergétique varie autour de 4500 kcal par jour (Pulfrey et Jones, 1996; Reynolds et coll., 1998; Reynolds et coll., 1999). Une étude conduite à 4300 m d'altitude montre une augmentation du M.B. de 27% au jour deux de l'expédition avec un plateau à 17% du jour dix à la fin du séjour (21 jours) en altitude (Butterfield et coll., 1992). Par ailleurs, Mawson et coll. (2000) ont aussi observé une augmentation transitoire du M.B. lors d'une expédition en altitude. Cette augmentation initiale peut être attribuée à un niveau élevé d'adrénaline résultant d'une stimulation du système sympathique due au stress des premiers jours en altitude.

L'opération Everest III, une étude de 31 jours faite en chambre hypobare avec un échantillon de six sujets, a simulé une ascension du mont Everest avec des paliers à 0, 5000, 6000, 7000, 8000 et 8848 m (sommet de l'Everest) d'altitude, afin d'étudier les effets de l'hypoxie sur la composition corporelle, la balance énergétique et l'appétit sans les effets de l'épuisement, du froid, du stress et d'une alimentation limitée de façon qualitative et quantitative (Westerterp et coll., 1999). Ainsi, cette étude a révélé une diminution de la dépense énergétique induite par l'hypoxie de 285 kcal par jour, entre la dépense énergétique à 6500 m et celle à 8848 m d'altitude. Il semble donc que, dans des conditions à température contrôlée comme celles de la chambre hypobare, les besoins énergétiques totaux sont diminués (Westerterp et Kayser, 2006). Dans une étude terrain à 3300 m d'altitude, l'exposition à l'hypoxie seule provoque une diminution du métabolisme de base alors qu'à la même altitude, mais dans des

conditions de froid, le métabolisme de base est augmenté (Nair et coll., 1971). Cette diminution de la dépense énergétique peut être expliquée en partie par une diminution de la masse active secondaire à la perte pondérale et à une diminution de la thermogénèse alimentaire suite à une diminution des apports (Butterfield, 1999; Kayser et coll., 1992). L'impact de la perte de masse active sur le métabolisme de base serait de l'ordre de 20 à 25 kcal/jour/kg (Butterfield, 1999).

Alors que l'hypoxie prise isolément semble diminuer la dépense énergétique totale par une baisse du M.B. et qu'une diminution de la thermogénèse alimentaire est prévisible suite à une diminution des apports, il ne reste que l'activité physique comme facteur principal pouvant expliquer la hausse des besoins énergétiques, dans les conditions réelles d'une expédition en altitude et au froid (Westerterp et Kayser, 2006). L'énergie dépensée pour effectuer des tâches similaires peut ne pas être très différente dans des conditions de chaleur, de froid ou de très haute altitude, mais la quantité et l'intensité du travail à effectuer sont habituellement plus grandes dues aux aspects contextuels de l'environnement comme le terrain, le poids de l'habillement et de l'équipement à transporter, ce qui contribue à augmenter la dépense énergétique (Askew, 1995; Edwards et coll., 1998; Tharion et coll., 2005; Westerterp, 1999). Des estimés fiables de la dépense énergétique en altitude et au froid ont été effectués avec la technique de l'eau doublement marquée (Hamad et Travis, 2006).

Par ailleurs, la capacité du corps à produire et à se protéger de la perte de chaleur est dépendante de la forme physique et de la surface corporelle en fonction de la masse et de la présence de tissu adipeux sous-cutané (Van Ooijen et coll., 2005; Westerterp et coll., 1999). L'augmentation des besoins énergétiques n'est habituellement pas reliée au froid *per se*. Dans le cas où une personne est inadéquatement vêtue, il peut y avoir une légère augmentation des besoins énergétiques causée par une hausse du métabolisme de base dans le but de remplacer la perte de chaleur par le frissonnement (Edwards et coll.,

1995; Edwards et coll., 1998; Tharion et coll., 2005). Dans des conditions normales, les réponses initiales pour le maintien de la température corporelle lors de l'exposition au froid sont la vasoconstriction périphérique, qui diminue le transfert de chaleur du centre du corps vers la peau (Van Ooijen et coll., 2005), ainsi que le frissonnement, qui agit comme mécanisme générateur de chaleur (Ainslie et coll., 2002). Le plus important de ces facteurs est probablement le frissonnement, qui peut se poursuivre de façon intermittente pendant plusieurs jours (Rodahl, 1991). L'intensité du frissonnement est variable et peut engendrer une dépense énergétique allant jusqu'à 425 kcal/h. Avec le glycogène comme source d'énergie principale, le frissonnement peut rapidement entraîner une déplétion des réserves, surtout lorsqu'il est associé à une diminution des apports nutritionnels (Edwards et coll., 1995). La déplétion des réserves de glycogène affecte directement la force musculaire et la performance (Edwards et coll., 1995).

Il semble subsister une augmentation des besoins en énergie lors d'un séjour dans un environnement froid, relativement au poids de l'habillement et du matériel nécessaire pour des expéditions dans de telles conditions (Askew, 1995; Edwards et coll., 1998; Leblanc, 1975). Heureusement, le corps humain est rarement totalement exposé au froid, étant donné le port de vêtements protecteurs, et par conséquent, il doit être considéré comme vivant dans un micro-climat (Edwards et coll., 1995 et Leblanc, 1975). Ainsi, dans des conditions de froid où l'habillement est adéquat, il est possible de considérer que les besoins énergétiques demeurent inchangés (Tableau III). On estime que la dépense énergétique associée au poids de l'habillement chez les soldats augmente de 5% entre le port de vêtements destinés à un climat chaud et ceux destinés à un climat tempéré et d'un autre 5% pour l'habillement destiné à un climat polaire (Edwards et coll., 1995). Le frottement des vêtements d'hiver multicouches et la restriction des mouvements associée au port de tels vêtements peuvent aussi augmenter la dépense énergétique, et ce jusqu'à 16% (Tharion et coll., 2005). De plus, les besoins énergétiques sont modulés en

fonction du type de sol, du moyen de locomotion utilisé dans un environnement froid et montagneux, de l'inclinaison, de la pente, de la présence de glace, de l'accumulation de neige et des vents violents. Par conséquent, tous ces facteurs, pris isolément ou combinés, influencent la dépense énergétique lors de la marche et des autres activités faites au froid (Askew, 1995; Edwards et coll., 1998; Rodahl, 1991; Tharion et coll., 2005). Par exemple, le coût énergétique associé au déplacement en raquette passe du simple au double entre une surface de neige compactée (6,0 kcal/min) et une surface où la neige est poudreuse (12,5 kcal/min). Par ailleurs, le même effet est observé pour la marche dans la neige, à une vitesse de 2,4 km/h, où la dépense énergétique passe de 6,2 kcal/min dans 10 cm de neige à 12,4 kcal/min dans 30 cm de neige (Edwards et coll., 1995).

Tableau III: Dépense énergétique de 24 heures estimée par la technique de l'eau doublement marquée dans des conditions d'altitude et de froid

Références	Conditions	Temps Jours	Dépense énergétique moyenne Kcal/24 h
Hoy 1991	Froid modéré, altitude modérée, activité intense	11	4919 ± 190
Westerterp 1992	Froid extrême, altitude extrême, activité modérée	14	3500 ± 262
Jones 1993	Froid extrême, activité modérée	10	4317 ± 293
King 1993	Froid extrême, activité modérée	10	4253 ± 151
Hoyt 1994	Froid modéré, altitude modérée, activité intense	5	4639 ± 231
Edwards 1994	Tempéré, haute altitude, activité modérée	15	3549 ± 184
Pulfrey 1996	Froid modéré, altitude extrême, activité intense	7	3286 ± 476
Reynolds 1999	Froid extrême, altitude extrême, activité intense	63	5394 ± 1565
Westerterp 1999	Tempéré, altitude extrême, sédentaire	31	2880 ± 428

Comme point de référence : un homme de 70 kg dépense en moyenne de 3100 à 3300 kcal/jour lors d'une activité modérée au niveau de la mer.

Adapté de Askew, 1995

3.1.2 Apports énergétiques

On observe une tendance à la baisse pour les apports énergétiques en fonction de la montée en altitude (Westerterp et coll., 1999). Ainsi, un déficit énergétique, mesuré par la différence entre les apports et la dépense énergétique, est souvent associé aux expéditions en haute altitude. Ce déficit est estimé par la méthode de l'eau doublement marquée et/ou par la méthode de la différence des réserves énergétiques, dans laquelle on mesure les différences au niveau de la masse maigre et de la masse adipeuse en pré- et en post-expédition. Il est intéressant de noter que les changements au niveau de la masse adipeuse sont considérés comme étant composés de 100% de tissus adipeux, soit 9321 kcal/kg (Brouwer 1965) et les changements dans la masse maigre comme étant composés de 27% de protéines et de 73% d'eau, soit 1195 kcal/kg (Brouwer 1965; Pulfrey et Jones, 1996).

Friedl et Hoyt (1997), dans une revue de 19 études portant sur le développement des rations alimentaires de soldats en autonomie complète, rapportent un déficit énergétique moyen de 1160 kcal/jour \pm 390 kcal. Ces résultats concordent avec ceux de Pulfrey et Jones (1996) et Reynolds et coll. (1998), qui rapportent un déficit moyen de 1250 kcal/jour, obtenu lors d'une expédition à plus de 6100 m d'altitude. De même, l'opération Everest III, étude effectuée en chambre hypobare sur des sujets sédentaires, a pu montrer un déficit énergétique atteignant 717 \pm 287 kcal/jour entre 5000 et 7000 m et 932 \pm 335 kcal/jour entre 7000 et 8848 m d'altitude simulée en chambre hypobare (Westerterp, 2001). Ainsi, on peut apprécier la différence marquée entre l'effet de l'hypoxie isolée, telle qu'observée en chambre hypobare et l'hypoxie ajoutée aux autres conditions terrains, en observant le déficit énergétique de 2464 \pm 1771 kcal/jour à la même altitude de 6000 à 8800 m, mais dans des conditions d'expédition (Reynolds et coll., 1998).

En ce qui concerne les apports énergétiques dans un environnement froid, de petits repas fréquents auraient l'avantage de maintenir la température corporelle via l'augmentation de la thermogenèse associée à l'alimentation, alors qu'un délai plus long entre les repas diminuerait la performance et la concentration et augmenterait l'irritabilité et l'agitation. Cependant, le fait de changer la fréquence des repas n'augmenterait pas la quantité totale d'aliments consommés par jour (Edwards et coll., 1995).

3.1.2.1 Anorexie de l'altitude

Un des facteurs pouvant expliquer la diminution des apports énergétiques en altitude serait une diminution de l'appétit. À cet effet, l'Opération Everest III a effectué des observations en chambre hypobare afin d'isoler l'influence de l'altitude sur l'appétit en rapport à d'autres facteurs confondants tels que l'épuisement, le froid, une alimentation limitée du point de vue quantitatif et qualitatif, l'appétit et les habitudes alimentaires (Westerterp et coll., 1999). Avec l'augmentation de l'altitude, on observe un changement au niveau de la fréquence des repas et des collations, les actes alimentaires passant de 4 ± 1 à 7 ± 1 par jour, augmentant ainsi l'apport énergétique provenant des collations de 8,2% à 23% (Westerterp et coll., 1999). Quand les symptômes du M.A.M. sont présents, l'augmentation de la fréquence des repas est la même, mais les sujets perdent davantage intérêt à s'alimenter (Westerterp et coll., 1999). Il est intéressant de noter que la baisse de l'appétit et la perte d'intérêt pour l'alimentation persistent même après que les symptômes du M.A.M. soient disparus (Westerterp et coll., 1999).

Le profil de l'appétit change aussi au cours des repas en fonction de l'altitude. La taille des repas ainsi que le temps accordé aux repas diminuent de façon significative à chaque nouveau palier d'altitude (Westerterp et coll., 1999). Au moment des repas, les sujets rapportent une diminution de la faim et une augmentation de la satiété et ils surestiment les portions consommées. De plus, la rapidité à laquelle la satiété s'installe augmente de façon significative avec l'altitude (Westerterp et coll., 1999). Par ailleurs, lors d'une étude sur l'acceptabilité des aliments, l'intensité des saveurs et la dysgueusie notées en altitude et au froid, Edwards et coll. (1998) rapportent une diminution de l'appétit, une baisse significative de l'intensité du désir de s'alimenter et une augmentation de la satiété précoce. De plus, ils notent que ces changements sont associés à un sentiment d'avoir apporté trop de nourriture alors que les quantités étaient identiques à celles apportées au niveau de la mer (Edwards et coll., 1998). Il y a

un nombre considérable d'opinions et d'anecdotes rapportant des changements dans le goût et la perception des saveurs en haute altitude, mais très peu de données objectives supportent ces allégations (Edwards et coll., 1998). À cet effet, dans une étude faite en chambre hypobare sur la perception des quatre saveurs de base, une différence significative de la perception des saveurs sucrées et salées a été rapportée entre 0 et 1535 m d'altitude simulée, mais il ne semble pas y avoir de différence entre 1535 et 3050 m (Maga et Lorenz, 1972). Cependant, ces résultats n'ont pas été confirmés par l'étude d'Edwards et coll. (1998) conduite sur le terrain, à 5600 m, où pour une période de 18 jours, aucune différence significative au niveau de la perception de l'intensité des saveurs sucrées, salées, acide, amer et du goût n'a été rapportée. Bien que Westerterp et coll. (1999) ne rapportent aucun changement lié à la perception du goût et de la saveur, ils notent tout de même une baisse constante du plaisir associé aux saveurs d'un même aliment en fonction de l'altitude. Il est intéressant de noter qu'à ce jour il n'existe aucune étude portant sur l'olfaction en altitude et conséquemment, sur la perception des saveurs

Le changement observé au niveau de l'augmentation de la fréquence des repas pourrait avoir une finalité fonctionnelle, soit de minimiser le déficit énergétique. De façon intéressante, la soif ne semble pas affectée par l'altitude (Askew et coll., 1987; Edwards et coll., 1995; Westerterp et coll., 1999), ce qui peut être mis à contribution afin de minimiser le déficit énergétique rencontré en altitude. Le désir et la capacité de boire dépassent souvent l'appétit et le désir de préparer des aliments. Ainsi, pour de courtes périodes en très haute altitude, des breuvages riches en glucides sont recommandés afin de conserver un apport énergétique adéquat (Askew et coll., 1987; Askew, 2004; Friedl et Hoyt, 1997; Reynolds et coll., 1998).

Un des mécanismes proposés pour expliquer la réduction de l'appétit en altitude serait une augmentation d'un régulateur de la satiété, la leptine. La leptine est une hormone clé impliquée dans la régulation neuroendocrine de l'homéostasie

énergétique. En servant de signal pour informer le cerveau des réserves de tissus adipeux par une rétroaction négative au niveau de l'hypothalamus, où l'on note une forte concentration de récepteurs de la leptine, celle-ci contribue à réguler l'apport alimentaire et la dépense énergétique (Yingzhong et coll., 2006). La transcription du gène de la leptine est activée en réponse à l'hypoxie, par le HIF-1 α (*hypoxia-inductible-factor-1alpha*) (Barnholt et coll., 2005; Yingzhong et coll., 2006), ce qui augmente les niveaux plasmatiques de leptine. Il est intéressant de noter que le HIF-1 α est aussi impliqué dans l'activation de la transcription de l'érythropoïétine (EPO) (Figure 3) (Barnholt et coll., 2005).

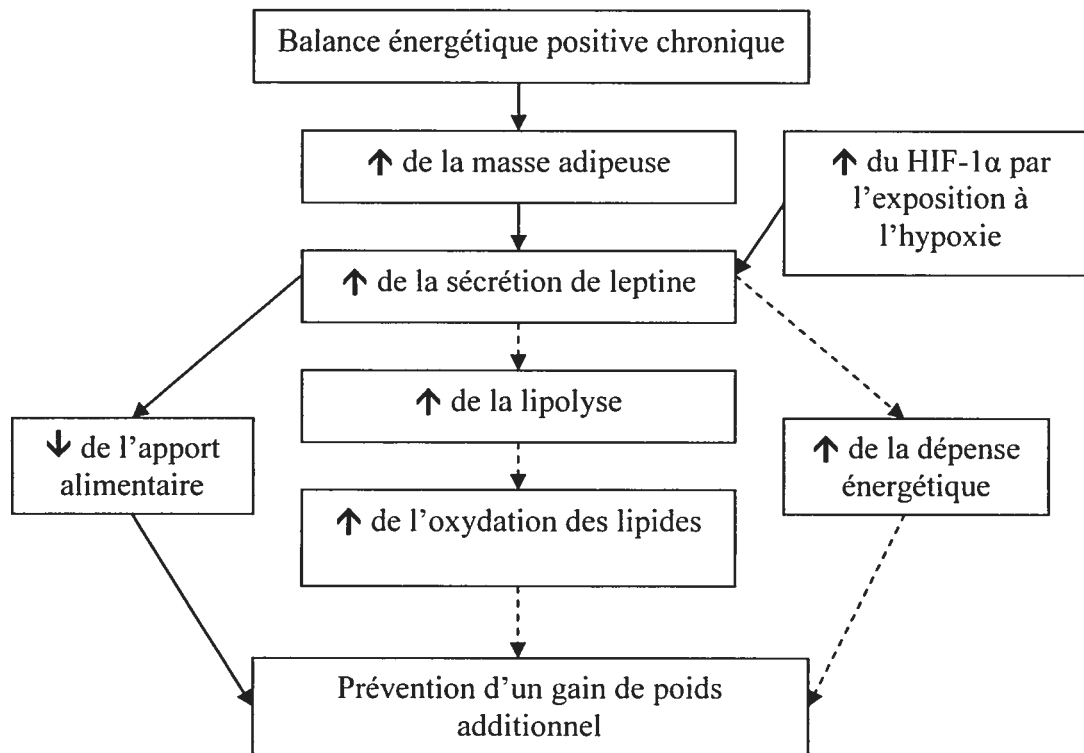


Figure 3: Effets de l'hypoxie et de la leptine sur l'homéostasie énergétique.

Les flèches pleines représentent le mécanisme principal, alors que les flèches pointillées, un mécanisme secondaire. Adapté de Yingzhong et coll., 2006

Une étude de Tschop et coll. (1998) sur les taux de leptine de 20 sujets à 4559 m d'altitude montre une augmentation significative de la concentration plasmatique de la leptine de 1,22 à 2,06 ng/ml, l'effet étant plus marqué chez les sujets avec une perte d'appétit importante. Cependant, lors de cette étude, l'épuisement des sujets et une mesure unique de la leptine peuvent être des facteurs confondants. En fait, puisque la leptine est sécrétée de façon pulsatile par les adipocytes, plusieurs mesures sur une période prolongée auraient permis d'obtenir un profil plus juste de la sécrétion de leptine (Tschop et coll., 1998). De plus, l'épuisement des sujets peut aussi affecter la sécrétion de la leptine dû à un déséquilibre hormonal, provoquant des variations du rythme de sécrétion diurne de la leptine (Bouassida et coll., 2006). De nouvelles mesures ont été prises par Tschop et coll. (1998), mais cette fois les sujets ont été transportés en hélicoptère afin d'éliminer l'épuisement physique. Ainsi, les sujets avec une diminution de l'appétit et la présence de symptômes du M.A.M. avaient un taux de leptine supérieur à ceux ne présentant pas de changement au niveau de l'appétit (Tschop et coll., 1998). Cependant, les sujets avec une baisse de l'appétit en altitude avaient aussi un taux de leptine de base supérieur à ceux ne présentant pas de perte d'appétit en altitude, et ce malgré une masse corporelle similaire (Tschop et coll., 1998).

De même, les cytokines, telles l'interleukine-6 (IL-6), peuvent induire de l'anorexie, cette augmentation étant plus marquée chez les sujets présentant une diminution de l'appétit et des symptômes du M.A.M. L'augmentation de l'interleukine-6 pourrait avoir une finalité fonctionnelle en stimulant l'angiogénèse, mécanisme avantageux pour l'acclimatation à l'altitude. Le mécanisme anorexigène de l'interleukine-6 reste à déterminer (Hamad et Travis, 2006; Mazzeo et coll., 2001).

3.1.2.2 Digestion et absorption

Les symptômes gastro-intestinaux associés au M.A.M. tels que la nausée, les vomissements et l'anorexie sont bien connus et fréquemment rencontrés en altitude. Cependant, peu d'études se sont intéressées aux autres malaises gastro-intestinaux rapportés par les aventuriers lors d'expéditions en altitude dans des régions éloignées, tels que la dyspepsie, la diarrhée et les ballonnements. À cet effet, Jutley et coll., (2002) ont soulevé une nouvelle hypothèse selon laquelle l'effet de l'hypoxie et de l'activité physique intense pourraient induire une ischémie gastrique aiguë susceptible d'entraîner une érosion et une ulcération des muqueuses, et ainsi entraîner l'inconfort gastrique et la dyspepsie observés en altitude. Cet effet pourrait aussi être amplifié par l'automédication, telle que la consommation d'anti-inflammatoires non-stéroïdiens (AINS), pratique fréquente chez les grimpeurs en altitude, notamment lorsqu'il y a présence de douleurs musculaires ou de symptômes du M.A.M. Par ailleurs, on note en altitude une augmentation réduite du flot sanguin en période post-prandiale au niveau de l'artère mésentérique supérieure, comparativement à celui observé au niveau de la mer (Loshbaugh et coll., 2006). Par conséquent, la quantité de sang disponible pour le système digestif est amoindrie et le sang disponible possède une saturation réduite en oxygène (Loshbaugh et coll., 2006).

De nouvelles études portant sur la flore intestinale et les infections lors d'expéditions en régions éloignées et en altitude ont amené de nouvelles pistes de réflexion. Ainsi, un changement de la flore intestinale ainsi que des signes de stress inflammatoire, tels que notés par une concentration accrue de la protéine C réactive (CRP), ont été rapportés lors d'une expédition de 47 jours dans l'Himalaya où cinq des sept membres ont présenté des épisodes de désordres gastro-intestinaux (Kleessen et coll., 2005). En effet, un des changements observés est une augmentation des organismes gram négatifs de la famille des protéobactéries et des entérobactéries, dont le *E. Coli*, dans la composition de la flore intestinale (Kleessen et coll., 2005). En contrepartie de l'augmentation de

cette flore intestinale potentiellement pathogène, on note une diminution des bifidobactéries. Ces bactéries sont considérées comme bénéfiques pour l'hôte par leurs rôles dans l'inhibition de la croissance des bactéries pathogènes, par la production d'agents anti-microbiens, par la formation d'acides gras à chaînes courtes (AGCC), par la compétition pour les substrats et les sites d'adhésion à l'épithélium intestinal et par la stimulation du système immunitaire (Kleessen et coll., 2005). Les auteurs avancent l'hypothèse que l'hypoxie en elle-même pourrait être responsable de certains changements au niveau de la flore intestinale. Cependant, il est difficile de faire la distinction entre l'altitude, l'épuisement, les changements alimentaires et l'exposition à différentes souches bactériennes (Kleessen et coll., 2005).

De même, l'inconfort et les infections gastro-intestinales pourraient aussi s'expliquer par les conditions d'hygiène qui prévalent lors des expéditions en altitude et en régions éloignées. Dans une étude de cohorte rétrospective conduite sur le Denali (6194 m), 29% des grimpeurs présents sur la montagne ont rapporté avoir eu la diarrhée et 39% des répondants affirment avoir vu de la neige contaminée par des excréments dans ou près de l'un des camps où ils ont séjourné (Mclaughlin et coll., 2005). Il faut rappeler qu'en expédition, la neige fondue est l'une des principales sources d'eau disponible. Pendant leur présence sur la montagne, 24% des grimpeurs rapportent s'être procuré de la neige directement à l'emplacement de leur camp, alors que 78% l'ont fait à 10 m du camp. De plus, seulement 16% des grimpeurs rapportent bouillir et/ou traiter leur eau systématiquement, alors que 40% le font rarement et 27% ne le font jamais (Mclaughlin et coll., 2005). Les facteurs de risque associés avec la diarrhée sont la présence d'un membre de l'expédition avec la diarrhée, les tentes où dorment trois grimpeurs et plus et le temps passé au camp. L'enseignement de techniques hygiéniques dans les groupes avec guide serait un facteur de protection (Mclaughlin et coll., 2005).

En ce qui concerne la malabsorption que l'on pourrait suspecter, due à la diminution du sang disponible pour la digestion et à la plus faible saturation sérique en oxygène (Kleessen et coll., 2005), il semble que l'excellente digestibilité des macronutriments (approximativement 95%) que l'on retrouve au niveau de la mer est maintenue jusqu'à une altitude de 6500 m et plus (Westerterp et Kayser, 2006). Suite à une exposition de trois semaines à une altitude de 4300 m, la digestibilité des protéines est de 88% alors qu'elle était de 85% au niveau de la mer. De même, la digestibilité des macronutriments était de 95% en altitude comparativement à 94% au niveau de la mer, suggérant que l'absorption n'est pas un facteur qui affecte la balance énergétique (Butterfield et coll., 1992). Une étude effectuée dans un laboratoire à 5000 m d'altitude au Népal visait essentiellement à mesurer la digestibilité des protéines et des macronutriments globalement chez six sujets sans problèmes gastro-intestinaux préalables. Ainsi, l'absorption des protéines a été établie à 96% alors que celle des macronutriments dans leur globalité, à 96,2%. Selon ces résultats, il semble évident que l'absorption des macronutriments ne joue pas un rôle dans la perte de poids observée en altitude (Kayser, 1992). Ces résultats concordent avec les données recueillies en chambre hypobare, lors de l'opération Everest III, qui ne démontrent pas de différence entre l'absorption des macronutriments au niveau de la mer et celle à une altitude simulée de 7000 m, (Westerterp et coll., 1999). Cependant, il faut noter que l'apport énergétique diminue jusqu'à 40% en altitude, diminuant d'autant la demande au niveau de la capacité d'absorption intestinale (Westerterp et Kayser, 2006).

Bien que l'absorption des macronutriments soit préservée lors d'études encadrées et en laboratoire, il semble plausible que, dans les conditions réelles telles que celles observées lors d'expéditions en régions éloignées et en altitude, un changement au niveau de la flore intestinale pouvant conduire à une infection, puisse induire une malabsorption secondaire (Westerterp et Kayser, 2006).

3.1.3 Macronutriments

Même si l'apport énergétique total diminue graduellement en fonction du temps passé en altitude, la composition relative en macronutriments demeure stable (Gulledge et coll., 2003). Selon une étude conduite lors d'une expédition de deux semaines visant le sommet du mont McKinley (6194 m), les 15 sujets participant à l'étude ont réduit leur apport énergétique total, sans que cette diminution n'affecte la composition relative en macronutriments, ce qui suggère que les sujets n'ont pas fait de changements draconiens dans leurs choix alimentaires. La même constatation a été faite par Westerterp et coll. (1999) durant l'opération Everest III conduite en chambre hypobare, qui rapportent que malgré une balance énergétique négative, la répartition en macronutriments de la diète est demeurée stable jusqu'à une élévation simulée de 7000 et 8000 m en comparaison avec la normoxémie.

Dans une étude visant à comparer les effets d'une diète lacto-ovo-végétarienne et d'une diète omnivore sur la composition corporelle et sur les apports énergétiques en altitude, dans des conditions où les aliments étaient disponibles *ad libitum*, l'adhésion aux diètes suggérées lors de l'expédition en haute altitude a été faible. Ainsi, malgré des directives nutritionnelles simples et claires et en l'absence de restrictions alimentaires, les sujets des deux groupes (diète lacto-ovo-végétarienne et diète omnivore) ont spontanément opté pour une diète de composition en macronutriments similaire, avec une répartition de 55 à 60 % de l'énergie provenant des glucides, 25 à 30% des lipides et 12 à 15% des protéines (Zamboni et coll., 1996).

À la lumière d'un manque de données probantes suggérant un quelconque avantage d'une modification de la composition de l'alimentation en haute altitude, il est recommandé de maintenir la composition de l'alimentation dans les limites des lignes directrices proposées par le *Food and nutrition board for minimizing health risks* (Butterfield, 1999), soit 25 à 30% de l'énergie provenant des lipides,

12 à 20% des protéines et 50 à 60% des glucides. Il est aussi recommandé d'ajuster les apports en protéines et en glucides en fonction de l'intensité de l'exercice (Butterfield, 1999). Malgré les résultats et les prises de position exposés ci-haut, la composition en macronutriments de la diète idéale est toujours à l'étude.

3.1.3.1 Lipides

En 1938, Shipton rapporte qu'à partir de 3600 m d'altitude, lors d'une expédition sur le mont Everest, le désir pour les lipides et leur consommation diminuent au profit d'une consommation supérieure de glucides (Reynolds et coll., 1998). Cette affirmation est demeurée incontestée pendant les 60 années qui ont suivi et est toujours considérée comme une ligne directrice dans la planification de l'alimentation lors de séjours en altitude (Reynolds et coll., 1998). Cette affirmation est supportée par le fait que l'oxydation des lipides produit 4,6 kcal/L d'oxygène consommé alors que celle des glucides en produit 5,02 kcal/L. Ainsi, une diète plus riche en glucides nécessiterait donc une quantité moindre d'oxygène (Westerterp et Kayser, 2006). Cependant, les lipides sont meilleurs au goût, ont une plus faible thermogénèse et ont une densité énergétique plus élevée par gramme que les glucides (Westerterp et Kayser, 2006).

De plus, lors d'une étude de neuf semaines à une altitude moyenne de 6000 m visant à comparer une diète à 20% de lipides versus à 35%, les deux groupes de sujets enrôlés dans l'étude ont spontanément opté pour une diète à 28% de lipides. Il semble y avoir eu une régression vers la moyenne en ce qui concerne l'énergie dérivée des glucides et des lipides. (Reynolds et coll., 1998). De plus, dans cette même étude, les sujets ont eu tendance à augmenter leur consommation d'aliments plus riches en glucides et en lipides en fonction de l'augmentation de l'altitude, et ce malgré une sous-estimation chronique des apports (Reynolds et coll., 1998). À la lumière de ces résultats, il semble donc

préférable de ne pas exclure les aliments agréables au goût et riches en lipides lors de la planification des menus, mais plutôt de laisser libre choix aux grimpeurs de sélectionner ces aliments denses en énergie (Reynolds et coll., 1998; Westerterp et Kayser, 2006).

3.1.3.2 Glucides

En haute altitude, où l'oxygène est limité, une alimentation riche en glucides pourrait être avantageuse, car elle augmente le quotient respiratoire de 0,7 à 1,0. De plus, pour une production de dioxyde de carbone donnée, elle est accompagnée par une plus grande pression alvéolaire d'oxygène, facilitant la diffusion de l'oxygène provenant de l'air vers le sang (Westerterp et Kayser, 2006). Ainsi, en altitude, une diète plus riche en glucides serait accompagnée d'un accroissement de la saturation du sang en oxygène, comparativement à une diète plus riche en lipides (Hamad et Travis, 2006). À cela s'ajoute le fait que le métabolisme des glucides nécessite de 8-10% moins d'oxygène que celui des lipides et protéines (Edwards et coll., 1998). Cependant, l'hypothèse selon laquelle le désir pour les glucides serait augmenté en altitude n'a pas été confirmée par de récentes études sur la balance énergétique en altitude (Butterfield et coll., 1992; Chao et coll., 1999; Gullledge et coll., 2003; Edwards et coll., 1994; Reynolds et coll., 1998; Rose et coll., 1988; Westerterp et coll., 1999; Westerterp, 2001; Zamboni et coll., 1996). De même, dans une lettre à l'éditeur, Reynolds (2005) rapporte des résultats non publiés jusqu'à ce jour sur les désirs alimentaires lors d'une expédition de neuf semaines sur l'Everest, où les sujets pouvaient identifier les aliments qu'ils auraient voulu manger à un moment précis. Les désirs des sujets portaient plutôt vers le *fast food* et les fruits et légumes frais que sur les desserts et autres aliments riches en glucides (Reynolds, 2005). Ainsi, ce désir pour les glucides pourrait s'expliquer par le fait que les aliments glucidiques sont plus pratiques à transporter et à préparer que ceux qui sont riches en lipides et protéines (Edwards et coll., 1998)

Cependant, les glucides demeurent le carburant de prédilection pour les muscles à l'effort dans des conditions anaérobiques (Edwards et coll., 1994; Edwards et coll., 1995; Worme et coll., 1991). Une étude faite à 4100 m d'altitude, dans laquelle un groupe de soldats a reçu un supplément de 200 g de glucides sous forme de polymères de glucose liquide alors que l'autre groupe n'a pas été supplémenté, a démontré un accroissement de 12% dans la distance de course volontaire du groupe supplémenté comparativement au groupe contrôle (Askew et coll., 1987). La prise d'un supplément de glucides serait particulièrement efficace dans les circonstances où l'apport énergétique est insuffisant et/ou lorsque le supplément glucidique augmente l'apport total en énergie (Butterfield, 1999). En effet, il est recommandé de viser un apport de 7,0 g de glucides par kilogramme de poids corporel afin de maximiser le renouvellement et le maintien des réserves de glycogène (Worme et coll., 1991). Par ailleurs, il est intéressant de noter qu'un supplément contenant dix grammes de glucides, lorsque pris 10 minutes avant le coucher dans un sac de couchage, à une température extérieure de -37°C , diminue le nombre de périodes d'éveil et augmente la température corporelle (Edwards et coll., 1995).

3.1.3.3 Protéines

Le déficit énergétique décrit précédemment se traduit par une augmentation de l'utilisation des protéines comme substrat énergétique, résultant ainsi en une balance protéique négative (Butterfield, 1999). Lors d'une étude mesurant l'absorption et la digestion des protéines en haute altitude, Kayser et coll. (1992) rapportent une augmentation du *turnover* et de l'oxydation protéique, se traduisant par une augmentation de la concentration de l'azote marquée excrétée dans l'urée. Ces manifestations surviennent chez des sujets perdant du poids, sans qu'il n'y ait de changement dans les taux d'absorption des protéines (Kayser et coll., 1992), suggérant ainsi une perte de masse maigre dans un contexte d'apport énergétique inadéquat. La balance azotée peut

toutefois être maintenue (Butterfield et coll., 1992; Mawson et coll., 2000) ou améliorée (Askew et coll., 1987) par un apport énergétique permettant un maintien de la masse corporelle. En fait, l'hypoxie en elle-même serait un facteur favorisant le catabolisme protéique par les changements hormonaux qu'elle induit, tels que l'augmentation des taux de cortisol, d'épinéphrine et de norépinéphrine ainsi que la réduction du taux d'insuline (Edwards et coll., 1995; Mazzeo et coll., 2001). Il est bien connu que les hormones précédemment citées, notamment l'adrénaline, la noradrénaline et le cortisol, ont un effet catabolisant lorsque leur concentration dépasse les niveaux physiologiques (Shils et coll., 2006). De même, l'insuline, qui est un facteur anabolisant important peut affecter le métabolisme protéique lorsqu'elle est présente en quantité moindre (Shils et coll., 2006). Les changements hormonaux cités ci-haut pourraient entraîner une diminution de la synthèse protéique de l'ordre de 50% (Narici et Kayser, 1995). Par conséquent, les besoins protéiques en haute altitude sont accrus par une balance énergétique inadéquate, l'hypoxie et l'exercice intense prolongé (Butterfield, 1999).

3.1.4 Balance hydrique

En altitude, la disponibilité de l'eau est faible, surtout quand la source d'approvisionnement provient de la neige et de la glace fondues (Westerterp et coll., 1996). Dans une étude portant sur la balance hydrique et le M.A.M. faite à 4350 m d'altitude, Westerterp et coll. (1996) rapportent une diminution de l'apport hydrique pouvant aller jusqu'à 40% comparativement aux apports du niveau de la mer. Cette diminution pourrait être attribuable à la perte d'appétit et aux nausées associées au M.A.M. De même, il est intéressant de constater qu'il existe une très forte corrélation entre les apports liquidiens et l'apport énergétique total, et que cette tendance n'est pas affectée par les changements d'altitude chez des sujets présentant ou non les symptômes du M.A.M. (Westerterp et coll., 1996). Worme et coll. (1991), dans une étude sur le terrain conduite à une altitude modérée pendant 31 jours, rapportent que la prise liquidienne est doublée comparativement aux apports du niveau de la mer alors que les pertes de liquides par l'urine sont demeurées stables tout au long de l'étude. Ainsi, ces résultats suggèrent que les besoins hydriques sont augmentés dans des conditions telles que celles retrouvées lors d'expéditions en altitude (Worme et coll., 1991).

Les besoins hydriques en altitude sont théoriquement augmentés par deux processus physiologiques, soit l'augmentation initiale de la diurèse secondaire à une exposition aiguë à l'altitude et les pertes insensibles durant le séjour en altitude (Butterfield, 1999). La diurèse initiale observée suite à l'arrivée en altitude est considérée comme une adaptation physiologique ayant cours lors du processus d'acclimatation à l'altitude et est liée à une diminution de la prévalence du M.A.M., ou à tout le moins, à une diminution des malaises qui y sont associés (Westerterp et coll., 1996; Westerterp, 2001). Cette diurèse initiale peut atteindre de 0,5 L à 1,5 L quand la balance énergétique est négative (Butterfield, 1999). Cette augmentation de la diurèse est transitoire et on observe un retour à la normale après les sept premiers jours d'exposition à

l'altitude (Butterfield, 1999). Tel que mentionné précédemment, l'augmentation des pertes insensibles contribuent également à l'accroissement des besoins hydriques observés en altitude. Ainsi, étant donné que l'air est froid et sec en altitude, chaque inspiration doit être réchauffée et humidifiée avant d'atteindre les poumons et par conséquent, l'air expiré contient de l'eau et de la chaleur qui sont perdus dans l'environnement. Cette perte d'eau, appelée perte insensible, peut représenter de 1,0 à 2,0 L par jour en période d'exercice intense (Butterfield, 1999; Edwards et coll., 1995; Pulfrey et Jones, 1996).

Afin d'estimer les besoins hydriques en haute altitude, les pertes insensibles mentionnées précédemment, doivent être ajoutées aux pertes obligatoires, nécessaires au maintien de la fonction rénale, qui représentent approximativement 1,5 L. De même, les pertes engendrées par l'exercice physique dans le but d'évacuer la chaleur du corps, soit d'environ 1 L par 560 kcal de chaleur évacuée, doit également être considérée dans l'estimation des besoins hydriques. Les besoins hydriques en altitude peuvent donc atteindre de 3 à 5 L par jour (1,5 L pour les pertes insensibles + 1,5 L de perte obligatoire + 1 L et plus pour l'évacuation de la chaleur) (Butterfield, 1999; Pulfrey et Jones, 1996; Worme et coll., 1991). Cependant, cette augmentation théorique des besoins hydriques en altitude ne fait pas l'unanimité dans la communauté scientifique, certaines études n'ayant pas réussi à démontrer que les besoins hydriques en altitude sont supérieurs à ceux du niveau de la mer (Hoyt et coll., 1994; Westerterp et coll., 1992; Westerterp et coll., 1994; Westerterp et coll., 1996). Par ailleurs, les vêtements supplémentaires portés en altitude et au froid diminueraient l'évaporation de l'eau au niveau de la peau et cette pratique pourrait contrebalancer l'augmentation des pertes respiratoires en réponse à la baisse de la pression atmosphérique et de l'humidité retrouvées en haute altitude (Westerterp et coll., 1996). Par contre, les pertes cutanées par évaporation pourraient être plus élevées que ce que l'on croyait, puisque les grimpeurs utilisent des vêtements 'respirants' tels que le capilène, la laine polaire et le gore-tex, qui permettent une évaporation plus facile de la sueur (Pulfrey et Jones,

1996). De plus, le froid tend à avoir un effet diurétique, de par la vasoconstriction périphérique qu'il entraîne, ce qui peut mener à la déshydratation volontaire afin d'éviter l'exposition aux éléments (Edwards et coll., 1995).

À la lumière de ces informations, il est recommandé d'établir un protocole pour la consommation de l'eau lors de séjours en altitude. En effet, les membres d'une même expédition devraient s'encourager afin d'atteindre les objectifs d'hydratation préalablement déterminés et tenir un journal de bord afin de suivre les apports journaliers de chacun (Butterfield, 1999).

3.1.5 Micronutriments

L'état actuel des connaissances ne permet pas de recommander une consommation en micronutriments supérieure aux apports nutritionnels de référence (ANREF). Cependant, en regard de la réponse physiologique à l'altitude, certains micronutriments sont à surveiller. Parmi ceux-ci, notons ceux qui sont impliqués dans l'hématopoïèse ainsi que dans la production et la transformation de l'énergie et ceux qui jouent un rôle protecteur contre le stress oxydatif accru observé en altitude (Butterfield, 1999). En général, les besoins en vitamines et en minéraux sont adéquatement couverts par une alimentation équilibrée rencontrant les besoins énergétiques (Askew, 1995).

3.1.5.1 Vitamines

Il est bien connu que les besoins énergétiques sont augmentés en altitude (Westerterp et Kayser, 2006). En conséquence, les besoins en vitamines du complexe B sont modifiés, ces vitamines étant impliquées dans la transformation de l'énergie (Tableau IV) (Askew, 1995; Butterfield, 1999).

Tableau IV: Besoin en vitamines du complexe B en fonction de l'énergie consommée

Vitamine	ANREF	Besoins par 1000 kcal	Exemple pour 3000 à 5000 kcal
Thiamine	1,2 mg	0,5 mg	1,5 à 2,5 mg
Riboflavine	1,3 mg	0,6 mg	1,8 à 3 mg
Niacine	16 mg	6,6 mg	19,8 à 33 mg

ANREF pour un homme de 70 kg ayant des besoins énergétiques moyen

Adapté de Butterfield, 1999.

À cet effet, certains nutritionnistes suggèrent que l'augmentation des apports alimentaires couvrant la demande énergétique accrue en altitude permet automatiquement de couvrir l'augmentation des besoins en vitamines du complexe B (Butterfield, 1999). Cette affirmation est soutenue dans une prise de position de l'*American Dietetic Association* (ADA) et des Diététistes du Canada (D.C. et coll., 2000) sur l'enrichissement des aliments et la prise de suppléments nutritionnels. Cependant, dans une étude visant à évaluer les apports en micronutriments provenant de l'alimentation d'athlètes d'endurance, l'auteur rapporte des déficiences allant de trois à 15 micronutriments, lorsque les apports réels sont comparés aux apports nutritionnels recommandés (ANR) (Misner, 2006).

Par ailleurs, les athlètes présentant une balance énergétique négative tendent à avoir une déficience en un plus grand nombre de micronutriments que les athlètes couvrant leurs besoins énergétiques (Misner, 2006). Par contre, ces résultats ne sont pas nécessairement transposables aux expéditions en haute altitude, où les aliments apportés sont sélectionnés pour leur haute densité énergétique et nutritionnelle. Par exemple, lors de deux études de trois et quatre semaines effectuées à 4300 m sur le statut vitaminique de soldats consommant des mets déshydratés, les apports en vitamines du complexe B provenant de la nourriture déshydratée ont été suffisants pour permettre le maintien des taux plasmatiques de ces vitamines, comme le démontrent la mesure des marqueurs enzymatiques tels que la transcétolase, la glutathion réductase et l'aspartate aminotransférase (Deuster et coll., 1992; Sridharan et coll., 2004). En effet, les ANREF pour la pyridoxine (vitamine B6) sont de 1,3 mg par jour, alors que les apports estimés dans les deux études se situaient entre 4 et 5 mg/jour, suggérant que l'augmentation de la consommation en énergie s'accompagne effectivement d'une augmentation de la consommation de ces vitamines (Deuster et coll., 1992; Sridharan et coll., 2004).

Les besoins en antioxydants lors de séjours en haute altitude sont plus controversés. En effet, l'exposition à l'altitude serait associée à une augmentation de la production de radicaux libres secondaire au stress oxydatif, causée entre autres par l'augmentation des rayons ultra-violets, l'effet réducteur d'une faible pression partielle d'oxygène, l'augmentation du métabolisme, le froid extrême et l'exercice intense (Ainslie et coll., 2002; Askew, 1995; Butterfield, 1999; Chao et coll., 1999; Schmidt et coll., 2002; Vij et coll., 2005). Vij et coll (2005) suggèrent que dans les moments où l'oxygène est limité, tel qu'en haute altitude, l'oxygène disponible pour accepter les électrons de la phosphorylation oxydative est diminué. Par conséquent, il y a accumulation d'équivalents réducteurs dans les mitochondries. Cet environnement réducteur favorise une réduction incomplète de l'oxygène et la formation de composés hautement réactifs tels que le superoxyde, le peroxyde et le radical hydroxyle.

Cette hypothèse d'une augmentation du stress oxydatif en altitude semble supportée par plusieurs études qui rapportent une augmentation des produits circulants de la peroxydation des lipides. De plus, le stress oxydatif peut endommager les membranes cellulaires, causer de l'inflammation et de l'enflure, diminuer la fluidité et l'élasticité au niveau des membranes et provoquer des altérations de l'ADN (Chao et coll., 1999). Cependant, l'effet de cette augmentation du stress oxydatif sur les fonctions physiologiques est moins bien documenté (Butterfield, 1999), mais pourrait également jouer un rôle dans le M.A.M (Bailey et Davies, 2001; West, 2004). Des nutriments antioxydants tels que la vitamine C, la vitamine E, le bêta-carotène ainsi que le sélénium, le cuivre, le zinc et le manganèse pourraient être requis en quantités supérieures dans un environnement froid et en haute altitude afin de réduire la peroxydation des lipides (Askew, 1995; Schmidt et coll., 2002). Il n'est actuellement pas déterminé lequel de ces nutriments ou combinaison d'antioxydants serait le plus approprié lors de ce type d'expédition (Askew, 1995; Schmidt et coll., 2002).

Dans une étude effectuée lors d'un séjour de quatre semaines à 5100 m d'altitude, Simon-Schnass et Pabst, (1988) ont noté une augmentation de 100% de l'expiration des pentanes, produit de la peroxydation des lipides. Cette augmentation a été prévenue par la prise de 400 mg de vitamine E, les ANR étant établi à 15 mg. Cette étude conclut que la production de radicaux libres en haute altitude pourrait être réduite par la prise de supplément de vitamine E, grâce à ses effets stabilisants sur les composantes de la chaîne respiratoire, sur l'élasticité des parois vasculaires ainsi que sur la flexibilité des érythrocytes, prévenant les dérèglements susceptibles de survenir dans la microcirculation.

Les résultats obtenus quant aux propriétés antioxydantes de la vitamine E en altitude n'ont pas été confirmés lors de deux études subséquentes visant à tester diverses combinaisons d'antioxydants. Ainsi, lors d'un séjour en altitude modérée chez des sujets ayant un niveau d'activité intense, Chao et coll., (1999) ont voulu étudier les marqueurs du stress oxydatif se manifestant au niveau respiratoire, sanguin et urinaire, ainsi que l'efficacité de divers suppléments d'antioxydants. Les auteurs n'ont pas réussi à démontrer une amélioration du stress oxydatif chez trois groupes recevant respectivement 440 équivalents α -tocophérol (vitamine E), 2000 équivalent rétinol de β -carotène (vitamine A), 500 mg de vitamine C et un groupe recevant un mélange d'antioxydants composé de 440 équivalents α -tocophérol (vitamine E), 2000 équivalents rétinol de β -carotène (vitamine A), 500 mg de vitamine C, 100 μ g de sélénium et 30 mg de zinc. Cette absence de réaction face à la prise d'antioxydants, malgré une augmentation des marqueurs du stress oxydatif chez tous les sujets, pourrait s'expliquer par leur niveau d'entraînement élevé (Chao et coll., 1999). En effet, les sujets entraînés pourraient avoir développé une défense enzymatique antioxydante efficace (Askew 1995; Chao et coll.; 1999, Schmidt et coll., 2002) et avoir une alimentation de base présentant un taux supérieurs d'antioxydants, soit plus élevé de 150% pour la vitamine E, 400% pour la vitamine A et 700% pour la vitamine C, comparativement aux ANR (Chao et coll., 1999; Schmidt et coll. 2002). Dans leur étude, Schmidt et coll. (2002), utilisant un mélange

d'antioxydants plus optimal avec un effet potentiellement synergique, parviennent aux mêmes conclusions en fin d'étude. Enfin, les sujets avec un état nutritionnel sous-optimal pourraient montrer une plus grande réaction aux antioxydants comparativement aux sujets bien nourris, la supplémentation ne servant qu'à compenser les déficiences déjà présentes (Chao et coll., 1999; Schmidt et coll., 2002).

Il semble que les besoins en vitamines ne sont pas augmentés lors d'expédition en altitude (D.C. et coll., 2000; Deuster et coll., 1992; Reynolds et coll., 1996; Sridharan et coll., 2004). Ainsi, les résultats des études effectuées jusqu'à ce jour suggèrent que les besoins en vitamines se rapprochent des ANR (Reynolds et coll., 1996; Butterfield, 1999) et que le contenu vitaminique des aliments composant les rations alimentaires lors des expéditions en altitude et au froid est adéquat pour rencontrer les besoins et conséquemment, les ANR (Askew, 1995; Deuster et coll., 1992; Sridharan et coll., 2004). En conclusion, lorsque les besoins énergétiques sont rencontrés par une alimentation équilibrée, il n'y a pas lieu de donner une supplémentation en micronutriments (Butterfield, 1999; Reynolds et coll., 1996; Sridharan et coll., 2004).

De même que pour l'altitude, il y a un manque de recherche permettant d'établir que les besoins en vitamines, dans un environnement froid, seraient supérieurs aux ANREF actuels (Askew, 1995; Edwards et coll., 1995; Reynolds et coll., 1998). Les études effectuées chez les humains, dans un environnement froid, tant en laboratoire contrôlé que sur le terrain, n'ont pas réussi à démontrer d'effet bénéfique associé à la prise de vitamines hydrosolubles ou d'acide ascorbique sur la performance ou la thermorégulation (Askew, 1995). Cependant, dans une étude portant sur la prise d'antioxydants, où trois groupes recevaient quotidiennement 500 mg de vitamine C (groupe 1), 400 mg de vitamine E (groupe 2) et 500 mg de vitamine C + 400 mg de vitamine E (groupe 3), on a observé une certaine amélioration de l'adaptation de l'homme au froid, se traduisant par une augmentation de la vasodilatation induite par le froid.

Une forte vasodilatation est associée à une meilleure dextérité manuelle au froid ainsi qu'à une protection accrue contre les engelures (Purkayastha et coll., 1992). Le groupe recevant le supplément de vitamine C a démontré la plus grande augmentation de vasodilatation induite par le froid, alors qu'on note une absence d'amélioration synergique quand la vitamine C est associée à la vitamine E (Purkayastha et coll., 1999).

3.1.5.2 Minéraux

Une étude visant à évaluer l'état nutritionnel de sujets suite à la consommation d'une diète composée d'aliments déshydratés durant une période de 31 jours en altitude a montré que l'apport en zinc s'est amélioré lors de l'expédition, alors que les apports moyens durant la période pré-expédition se trouvaient inférieurs à 15 mg par jour et qu'ils ont augmenté à des valeurs supérieures aux ANR durant l'expédition (Deuster et coll., 1992). Cependant, cette augmentation des apports ne s'est pas traduite par un changement du zinc plasmatique. Ainsi, cette absence de changement du statut sérique en zinc suggère que l'altitude modérée a un effet négligeable sur le métabolisme du zinc et/ou que les apports en zinc provenant de l'alimentation sont suffisants pour répondre aux besoins lors d'une telle expédition (Deuster et coll., 1992). Lors de l'étude précédemment citée, l'apport en cuivre semble suivre la même tendance, soit un apport en deçà du besoin moyen estimé (BME) de 1,5 à 3 mg par jour en période pré-expédition, suivie d'une augmentation dépassant ce BME lors de l'expédition (Deuster et coll., 1992). La modification des apports alimentaires dans le but de couvrir les besoins énergétiques accrus et la diète composée d'aliments à haute valeur nutritive et énergétique permettent aux grimpeurs de satisfaire leurs besoins en ces minéraux (Deuster et coll., 1992).

Par ailleurs, la plupart des études portant sur l'impact de l'altitude sur les besoins en minéraux s'intéressent à la stimulation de l'hématopoïèse par l'exposition à

l'altitude (Butterfield, 1999). En effet, l'exposition aux hautes altitudes induit une augmentation de la synthèse des globules rouges et de l'hémoglobine (Richalet et coll., 1994). Cette adaptation, survenant dans les 90 minutes suivant l'exposition à l'altitude, se traduit par une augmentation de la sécrétion d'érythropoïétine (EPO) par le rein. Il semble que l'érythropoïèse plafonne après 48 heures et diminue en cinq à dix jours, mais demeure toujours supérieure à celle du niveau de la mer (Richalet et coll., 1994). Une libération de globules rouges par la moelle osseuse survient en réponse à cette augmentation de l'EPO, ce qui entraîne un accroissement de la capacité à transporter l'oxygène par le sang (Butterfield, 1999). En l'absence de cette réponse hématopoïétique, l'organisme peut développer une anémie secondaire et voir sa capacité de travail en altitude diminuée (Beard et coll., 1988). Dans une étude de trois semaines conduite à 6542 m, Richalet et coll. (1994) rapportent une diminution de l'hémoglobine tant chez les hommes que chez les femmes, malgré un apport énergétique et en fer semblable à celui du niveau de la mer. L'hémoglobine a chuté chez les athlètes consommant 10 à 14 mg de fer par jour et ayant une réserve en fer déficiente au début de l'expédition, se traduisant par des niveaux de ferritine de 34,8 µg/L et de 17,8 µg/L pour les hommes et les femmes, respectivement. (Richalet et coll., 1994). Les auteurs suggèrent qu'une évaluation des réserves en fer pourrait être bénéfique avant une exposition prolongée à une altitude dépassant 2500 m, surtout dans l'éventualité où la ferritine serait inférieure à 50 µg/L. À cette valeur, la prise d'un supplément de fer devrait être envisagée avant l'expédition (Richalet et coll., 1994).

Par ailleurs, certaines données suggèrent qu'un apport de 20 à 25 mg de fer par jour est suffisant pour supporter l'hématopoïèse pour une période de trois semaines, à condition que les apports énergétiques soient suffisants (Butterfield, 1999). La prise d'un supplément de fer serait particulièrement indiquée chez les femmes se rendant en altitude. À cet effet, une étude de Hannon et coll. (1976) portant sur la réponse hématopoïétique rapporte qu'une prise de supplément ferreux est nécessaire chez les femmes afin de permettre une réponse

hématopoïétique similaire à celle d'hommes non supplémentés. Une telle supplémentation serait aussi nécessaire pour permettre une thermogenèse normale lors de l'exposition au froid (Lukaski et coll., 1990). Cependant, la prise de supplément de fer doit être modérée, car le fer circulant agit comme un pro-oxydant, par son action sur l'augmentation de la production de radicaux hydroxyles, ce qui s'ajoute au stress oxydatif déjà présent en altitude (Askew, 1995).

3.1.5.3 Autres

Certains nutraceutiques sont à l'étude afin d'augmenter la performance et la tolérance au froid. À cet effet, la tolérance au froid a été significativement plus élevée chez le groupe recevant du panax ginseng de façon chronique (Askew, 1995). Le même effet a aussi été relaté suite à la prise d'un mélange d'éphédrine (1 mg/kg) et de caféine (2,5 mg/kg). Cette amélioration de la tolérance au froid n'est pas reliée à la conservation de la chaleur, mais à une plus grande dépense énergétique, qui semble dépendante d'une utilisation accrue des glucides (Vallerand et coll., 1989).

4 Composition corporelle

Plusieurs études ont démontré que la perte de poids est pratiquement inévitable à une altitude de 5000 m et plus. (Askew, 1995; Bales et coll., 1993; Butterfield et coll., 1992; Chao et coll., 1999; Edwards et coll., 1998; Gullledge et coll., 2003; Hoyt et coll., 1994; Mawson et coll., 2000; Pulfrey et Jones, 1996; Reynolds et coll., 1998; Reynolds et coll., 1999; Schmidt et coll., 2002; Tanner et Stager, 1998; Westerterp et coll., 1992; Westerterp et coll., 1994; Worme et coll., 1991; Zamboni et coll., 1996). Cette perte pondérale est dépendante de l'altitude atteinte et de la durée de l'exposition (Tableau V; Figure 4) (Kayser, 1994). Ainsi, la réduction de l'apport énergétique est le principal facteur expliquant la perte de poids en haute altitude. L'augmentation des besoins énergétiques dus à l'exercice potentialise la balance énergétique négative, et conséquemment, entraîne une perte pondérale répartie entre le tissu adipeux, la masse maigre et l'eau corporelle. Cette répartition est dépendante de la durée de l'exposition à l'hypoxie, de la composition corporelle initiale et du niveau d'activité physique (Westerterp et Kayser, 2006).

Une détermination précise des mesures anthropométriques est difficile dans les conditions d'expédition en altitude et en présence d'épuisement (Fulco et coll., 1985). Des facteurs tels que la perte pondérale rapide de composition indéterminée, le déplacement des compartiments hydriques et les épisodes cycliques de déshydratation influencent la mesure des plis cutanés et de la circonférence de certains segments et donc l'interprétation des résultats (Reynolds et coll., 1999). Ainsi, des techniques de mesure de la composition corporelle moins sensibles au déséquilibre hydrique secondaire à l'œdème périphérique et à l'augmentation de la diurèse devront être développées afin de pouvoir évaluer de façon plus précise la composition corporelle en altitude extrême (Pulfrey et Jones, 1996).

Tableau V: Causes potentielles de la perte de poids en altitude

Diminution de l'appétit
Changement des paramètres endocriniens contrôlant l'homéostasie
Augmentation du métabolisme de base
Niveau d'activité intense
Dérèglement de la fonction intestinale
Changement de la composition corporelle
<u>Balance hydrique perturbée</u>

Adapté de Hamad et Travis , 2006

Certaines études, dont deux faites sur le terrain et une en chambre hypobare, démontrent que la masse maigre semble être perdue à un rythme plus élevé que le tissu adipeux (Boyer et Blume, 1984; Guillard et Klepping, 1985; Rose et coll., 1988). Toutefois, Reynolds et coll. (1999), dans leur étude de neuf semaines sur l'Everest, rapportent plutôt une perte préférentielle de tissus adipeux tant chez les membres de l'expédition qui ont tenté d'atteindre le sommet (très haute altitude, activité intense) que chez le personnel du camp de base (haute altitude, activité modérée à sédentaire). Une préservation de la masse musculaire a aussi été notée. Cette préservation, en relation avec la perte de tissu adipeux, semble être une augmentation absolue de la masse maigre, alors qu'il ne s'agit dans les faits que d'une augmentation relative du pourcentage de la masse maigre, phénomène appelé épargne de la masse maigre (Reynolds et coll., 1999). Bales et coll. (1993), Zamboni et coll. (1996) et Worme et coll. (1991) parviennent aux mêmes conclusions dans leurs travaux. Par ailleurs, Zamboni et coll. (1996) attribuent l'épargne de la masse maigre à l'exercice intense. Tel que mentionné précédemment, l'hypoxie pourrait entraîner une perte initiale de tissu adipeux qui, en présence d'exercice intense et continu, entraînerait une déplétion des réserves adipeuses pouvant surpasser l'effet d'épargne de la masse musculaire. La balance azotée négative observée confirme le catabolisme protéique (Tschop et coll., 2001). La diminution de la masse musculaire pourrait aussi être liée à une réduction de la taille des fibres musculaires, telle que démontrée par biopsie. Ce phénomène, qui entraîne une

diminution de la distance de diffusion de l'oxygène, s'expliquerait par un effet direct de l'hypoxie via la diminution de la synthèse protéique et par un effet indirect de l'hypoxie chronique, en altérant la synthèse protéique par une diminution de l'insuline (Kayser, 1994). En effet, les sherpas, guides de montagnes de haute altitude natifs de la région de l'Himalaya démontrent aussi une telle adaptation à l'altitude, (Kayser, 1994).

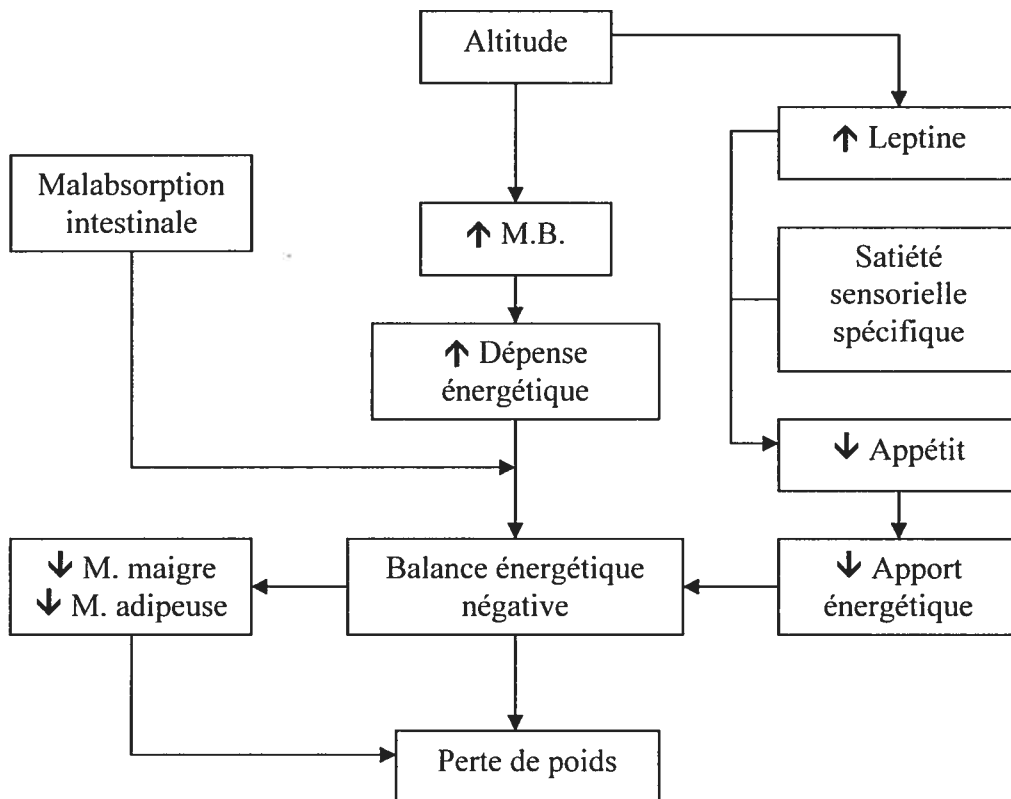


Figure 4: Mécanisme de la perte de poids en altitude

Adapté de Hamad et Travis, 2006

5 Exercice et performance

Les effets du déficit énergétique et de la perte de poids qui en découle ont une influence sur les performances physiques et mentales en altitude. Par exemple, lors d'une étude sur les effets d'une restriction énergétique sur la réponse endocrine à 4300 m, Barnolt et coll. (2005) rapportent une concentration d'EPO plus élevée et qui s'est maintenue au-dessus du niveau basal plus longtemps chez les sujets avec un apport calorique adéquat, comparativement à ceux ayant un apport alimentaire restreint de 40% ou 1300 kcal. Par ailleurs, les études sur la performance physique et mentale lors de période de restriction énergétique chez des sujets bien nourris en début d'étude démontrent qu'une perte pondérale de l'ordre de 10 % n'a généralement pas d'effet sur la performance (Taylor et coll., 1954; Consolazio et coll., 1967; Friedl et Hoyt, 1997; Fulco et coll., 2002). Cependant, une étude de Askew et coll. (1986) rapporte une diminution des capacités aérobiques d'environ 10 à 14 % et une diminution des performances cognitives et visuelles chez des sujets ayant subi une perte de poids de 6,3 %. Une diminution de la vision nocturne pouvant atteindre 50 %, une diminution de l'attention, une diminution de la mémoire à court terme ainsi qu'une augmentation des erreurs lors de calculs arithmétiques sont aussi rapportées par McFarland (1972). Les mécanismes responsables de l'altération des capacités mentales ne sont pas déterminés précisément (West 2004), mais la diminution de la consommation d'oxygène par le cerveau peut contribuer au développement de la fatigue physique et mentale des grimpeurs en altitude (West, 2004). Ainsi, la consommation maximale d'oxygène à 3000 m est diminuée à 85 %, comparativement à la valeur du niveau de la mer, alors qu'elle chute à 60 % à 5000 m et à 20 % à 8000 m (West, 2004). Le cerveau utilise approximativement 20 % de la consommation totale d'oxygène, et ce, principalement pour l'oxydation du glucose (West, 2004).

6 Cuisine et considérations pratiques.

Une attention particulière doit aussi être apportée aux types d'aliments qui composent le menu d'une expédition au froid et en altitude. Les aliments doivent être non périssables, conserver leurs propriétés organoleptiques suite à la congélation et demeurer faciles à mastiquer (Reynolds et coll., 1998). Certains aliments, une fois congelés, deviennent très durs et peuvent même casser les dents ou endommager les plombages (Reynolds et coll., 1998). En ce qui concerne les aliments qui nécessitent de la cuisson, il faut favoriser ceux qui requièrent un court temps de cuisson, qui sont simples à cuisiner, qui demandent peu d'eau et qui produisent un minimum de vaisselle et de déchets (Reynolds et coll., 1998). À titre indicatif, le temps de cuisson double pour chaque augmentation de 1500 m d'altitude, dû à la diminution de la pression atmosphérique, ce qui abaisse la température d'ébullition de l'eau et augmente le temps de cuisson. Approximativement 15 à 20 minutes sont nécessaires pour faire fondre la neige, alors que 10 à 15 minutes sont nécessaires pour faire bouillir l'eau. Les fabricants de réchauds destinés à de telles expéditions recommandent de prévoir 115 ml de carburant par jour par personne, 230 ml si l'eau provient de la glace ou de la neige et jusqu'à 450 ml dans les conditions de froid intense ou d'altitude (MSR.com).

Il faut aussi considérer que ce type d'expédition a souvent lieu dans des endroits géographiquement isolés et difficilement accessibles, ce qui complique l'approvisionnement des denrées. À cet effet, 100 % des aliments doivent souvent être transportés par les participants (Friedl et Hoyt, 1997). Ainsi, l'utilisation de mets déshydratés et lyophilisés s'avère judicieuse afin de minimiser le poids des aliments transportés. La totalité des études portant sur l'impact nutritionnel de l'utilisation de tels aliments conclut qu'ils sont adéquats pour une consommation prolongée, tant pour l'apport en micro et en macronutriments que de la digestion et de l'absorption (Deuster et coll., 1992; Friedl et Hoyt, 1997; Kayser, 1992; Sridharan et coll., 2004; Worme et coll.,

1991). Ce type d'aliment, léger, compact et dense en énergie, fait l'objet de recherche et de développement intensif par les militaires depuis la première guerre mondiale (Friedl et Hoyt 1997). Cependant, la ration la plus légère et la mieux équilibrée du point de vue nutritionnel est toutefois inutile si elle n'est pas consommée par les sujets de l'expédition (Friedl et Hoyt, 1997).

7 Facteurs influençant l'apport alimentaire

7.1 Palatabilité

Un des points importants à considérer, mais souvent sous-estimé, est la palatabilité des aliments, surtout chez une population captive comme celle des membres d'expéditions en régions éloignées. Très peu d'études portent spécifiquement sur ce sujet, alors que cet aspect pourrait très bien expliquer, en partie du moins, la balance énergétique négative et la perte de poids qui sont associées avec de telles expéditions. Cette absence d'intérêt pour la palatabilité des aliments, alors que la composition en micro et en macronutriments de la diète idéale est étudiée, peut s'expliquer par l'idée préconçue qu'une fois affamés, les gens mangeraient n'importe quoi. Pourtant, l'expérience sur le terrain démontre que les soldats vont préférer ne pas manger et devenir inefficaces plutôt que de manger une ration à composante unique (Friedel et Hoyt, 1997). La perception des propriétés sensorielles des aliments joue un rôle majeur dans la façon dont les choix alimentaires sont faits, ainsi que la quantité d'aliments qui sera consommée (Sorensen et coll., 2003). Les propriétés sensorielles qui déterminent la palatabilité sont le goût, l'odeur, la texture en bouche, la température, l'apparence visuelle et la sensation d'irritation (Hyde et Witherly, 1993). Ainsi, dans une revue de littérature révisant l'impact de la palatabilité sur l'apport énergétique et la satiété, 14 des 16 études portant sur l'amélioration de la palatabilité des aliments étaient associées à une augmentation des apports énergétiques, pouvant aller jusqu'à 44 % de la taille du repas (Sorensen et coll., 2003).

7.2 Variété

Lors d'études visant à évaluer l'impact de l'introduction de nouvelles rations prêtes-à-manger (RPM) destinées aux soldats, l'acceptabilité de la nouvelle RPM est toujours supérieure à celle de la RPM couramment utilisée. Ainsi, le fait d'introduire de la variété diminue la monotonie et augmente l'apport énergétique. À cet effet, une augmentation de l'ordre de 300 à 700 kcal peut y être associée (Hirsch et coll., 2005). De plus, si un aliment n'est pas apprécié à sa première consommation, son niveau d'appréciation diminuera à chaque exposition subséquente, et ce, jusqu'à un rejet total de l'aliment (De Graaf et coll., 2005 et Rolls 1995), cette aversion spécifique pouvant même se prolonger de trois à six mois post-exposition (Rolls, 1995). Par ailleurs, les soldats ont l'habitude d'éliminer et/ou d'échanger les aliments de leur ration qu'ils n'apprécient plus, ce qui entraîne une réduction de la variété et une monotonie accrue (De Graaf et coll., 2005).

La disponibilité d'aliments variés qui ont des propriétés sensorielles distinctes, mais une composition très similaire, augmente l'apport alimentaire et énergétique (Sorensen et coll., 2003 et Rolls et coll., 1981). L'effet d'une plus grande variété se fait davantage sentir sur l'appétit, qui se traduit par le désir de continuer le repas, que sur la faim en elle-même (Sorensen et coll., 2003). Cependant, la variété ne se limite pas seulement au grand nombre d'aliments, mais inclut aussi la texture et la fermeté des aliments. C'est le principe du 'contraste dynamique' qui suggère qu'une association de textures différentes accroît la palatabilité et l'appétit (Hyde et Witherly, 1993 et Guinard et Brun., 1998). À cet effet, du chocolat dur fourré, une pâtisserie feuilletée avec de la crème pâtissière et de la bière avec des bretzels sont des exemples concrets du principe de 'contraste dynamique' (Hyde et Witherly, 1993). Le même effet s'applique pour le goût, mais d'une façon moins prononcée. Par exemple, la consommation de trois yogourts de saveurs différentes, mais d'aspect identique, augmente comparativement à la consommation de yogourt d'une saveur unique (même si

cette saveur est très appréciée des sujets). Cette augmentation est toutefois plus marquée si la couleur et la texture sont aussi différentes (Rolls 1995).

7.3 Alliesthésie et satiété sensorielle spécifique

La satiété sensorielle spécifique correspond au niveau de satisfaction rattaché à la consommation d'un aliment en rapport à ceux qui n'ont pas été consommés (Rolls et coll., 1981). La satiété sensorielle spécifique peut s'appliquer à court terme à l'intérieur d'un même repas. Par exemple, lorsqu'on change la forme de pâtes alimentaires, l'apparence et la sensation en bouche sont également modifiées, entraînant ainsi une diminution de la satisfaction pour l'ancienne forme de pâtes. Le même phénomène peut s'observer avec les bonbons, alors que le degré de satisfaction peut se voir accru lorsqu'on change les couleurs sans en modifier le goût (Rolls et coll., 1982). La satiété sensorielle spécifique peut aussi se manifester à plus long terme. À cet effet, dans un camp de réfugiés éthiopiens, la satisfaction associée à certains aliments consommés quotidiennement était diminuée chez les résidents plus anciens du camp, alors qu'elle était plus élevée chez les nouveaux arrivants. Le même effet est aussi observé chez les soldats lors de déploiements sur le terrain (Rolls et De Waal, 1985 et Rolls, 2005). Le mécanisme derrière la satiété sensorielle spécifique n'est toujours pas déterminé précisément. Il semble qu'il ne serait pas associé au système endogène opioïde (Guinard et Brun, 1998), mais serait plutôt un mécanisme complexe impliquant une réponse aux stimuli sensoriels accompagnant l'ingestion, la reconnaissance qu'un aliment a déjà été consommé et les changements des besoins pour un nutriment particulier (alliesthésie) (Rolls et Rolls, 1997).

La satiété sensorielle spécifique serait un mécanisme avantageux pour l'évolution, s'assurant de la consommation de plusieurs aliments de différentes compositions nutritionnelles (Rolls, 2005). Cependant, la satiété sensorielle

spécifique n'est pas reliée au contenu nutritionnel des aliments (Rolls, 2005). Ainsi, la satiété sensorielle spécifique est différente de l'alliesthésie, qui est un changement du plaisir associé à la consommation d'un aliment, en réponse à des stimuli internes, par exemple la présence de glucose dans le système digestif, diminuant ainsi l'appétit pour les aliments sucrés (Rolls, 2005).

7.4 Facteurs situationnels

D'autres facteurs, qui ne sont pas directement associés aux aliments, modifient tout de même leur consommation (Hirsh et coll., 2005). Dans une série d'études sur la consommation des rations prêtes-à-manger (RPM), des étudiants ont consommé uniquement des RPM pour une période de 41 jours consécutifs dans une cafétéria où les RPM étaient servies dans un cabaret avec des ustensiles et de l'eau chaude et froide (pour la réhydratation des mets). Les résultats obtenus indiquent que les apports énergétiques ont été supérieurs à 3000 kcal tout au long de l'étude et qu'une perte de poids minime de 0,69 kg a pu être notée (Scrimshaw et coll., 1984). Lors d'une étude terrain de 34 jours où des soldats recevaient exactement les mêmes aliments que les étudiants, mais dans un environnement sans le confort de la cafétéria, l'apport énergétique a chuté à environ 2190 kcal, et conséquemment, une perte pondérale de l'ordre de 5.8 % de la masse corporelle initiale a été observée (Hirsh et coll., 1985). Dans une troisième étude comparant des soldats consommant des RPM en cafétéria versus un groupe consommant les mêmes sur le terrain, les résultats obtenus ont montré une différence de 1000 kcal par-jour soit 3838 kcal pour les soldats s'alimentant à la cafétéria versus 2875 kcal pour ceux sur le terrain (Hirsh et Kramer, 1993). Ces résultats confirment le rôle important que joue l'environnement flexible et familier sur l'apport alimentaire. Des aliments acceptables au goût, qui sont habituellement consommés adéquatement dans des conditions normales, ne sont pas pris en quantité suffisante pour assurer un maintien du poids quand un effort doit être fourni pour la préparation et lorsqu'ils

sont consommés dans un environnement hostile (Hirsh et coll., 2005). De plus, ce type d'aliment, qui ne nécessite que l'ajout d'eau bouillante, se consomme directement dans l'emballage, ce qui néglige la stimulation de la phase céphalique anticipatoire (Kramer 1995). La phase céphalique anticipatoire est stimulée par les propriétés sensorielles des aliments ainsi que par l'environnement physique qui se rattache à l'alimentation. Elle est reliée à la salivation, la production de gastrine et l'augmentation du taux d'insuline, facteurs orexigènes reconnus pour favoriser l'utilisation métabolique des nutriments ingérés (Kramer 1995).

B HYPOTHÈSES ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

1 Hypothèses

1 : Les apports nutritionnels sont influencés par les conditions environnementales.

- L'augmentation de l'altitude diminue les apports énergétiques.
- L'augmentation de l'altitude augmente le désir pour les glucides au détriment des lipides.
- Lors de périodes d'inactivité dues au blizzard, les apports énergétiques sont augmentés.

2 : Les apports nutritionnels sont influencés par la composition du menu.

- Les apports énergétiques sont différents en fonction du menu de la journée.
- La satiété sensorielle spécifique affecte les apports nutritionnels.
- La satisfaction du menu diminue en fonction du temps passé sur la montagne.

2 Objectif général

Ce projet vise à améliorer les connaissances dans le domaine de la nutrition lors d'expédition en régions éloignées au froid et en altitude. L'objectif principal est d'identifier les facteurs psychosociaux et environnementaux qui influencent les apports énergétiques et la composition relative en macronutriments des aliments choisis par les membres de telles expéditions. Un autre projet de recherche est associé à cette expédition et porte sur la prévision des besoins nutritionnels et les changements de la composition corporelle.

3 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce projet sont premièrement d'identifier les facteurs qui influencent les apports nutritionnels afin d'augmenter les apports énergétiques et ainsi, minimiser la perte de poids associée à de telles expéditions. Deuxièmement, développer un menu et des recettes qui sont adaptés aux conditions environnementales et appréciés des membres de ces expéditions. Troisièmement, développer une technique simple et fiable d'évaluation de l'alimentation en expédition et des facteurs qui y sont rattachés.

C MÉTHODOLOGIE

1 Présentation de l'équipe

Ce projet de recherche a été élaboré en collaboration avec une équipe de quatre athlètes en vue d'une expédition en autonomie complète, au froid et en altitude, sur les monts Logan au Yukon (5960 m) et McKinley en Alaska (6194 m), les deux plus hauts sommets d'Amérique du Nord. Ces deux sommets représentent un défi particulier puisque ce sont des montagnes situées dans les régions les plus nordiques du globe et le climat y est particulièrement difficile, la température pouvant atteindre de -0 à -45 °C. Le blizzard peut s'installer pour plusieurs jours et est souvent accompagné de vents de 100 km/h avec des pointes à 160 km/h.

L'équipe était composée de quatre hommes âgés de 22 à 30 ans, non-fumeurs, en bonne forme physique et ne présentant aucun problème médical particulier. Les quatre membres de l'expédition résidaient au niveau de la mer au moment des préparatifs de l'expédition. Deux des quatre membres en étaient à leur première participation à une expédition en altitude, au froid et en autonomie complète, alors que les deux autres avaient précédemment gravi l'Aconcagua (6962 m), en Argentine, lors d'une expédition de 21 jours. L'approbation du projet de recherche par le Comité scientifique et éthique de l'Université de Montréal se retrouve à l'annexe 1. Une description écrite du projet et de ses implications, ainsi que des explications verbales ont été fournies aux sujets avant d'obtenir leur consentement éclairé par écrit. Les sujets reconnaissaient que les avantages d'une participation à une telle étude étaient supérieurs aux risques et aux inconvénients possibles.

2 Déroutement de l'étude

Le projet s'est déroulé en quatre phases, soit l'élaboration du menu et de la logistique de l'expédition, la collecte de données aux laboratoires de l'Université de Montréal en pré-expédition, la collecte de données effectuée sur le terrain au cours de l'expédition et la seconde collecte de données en laboratoire à l'Université de Calgary en post-expédition (Figure 5).

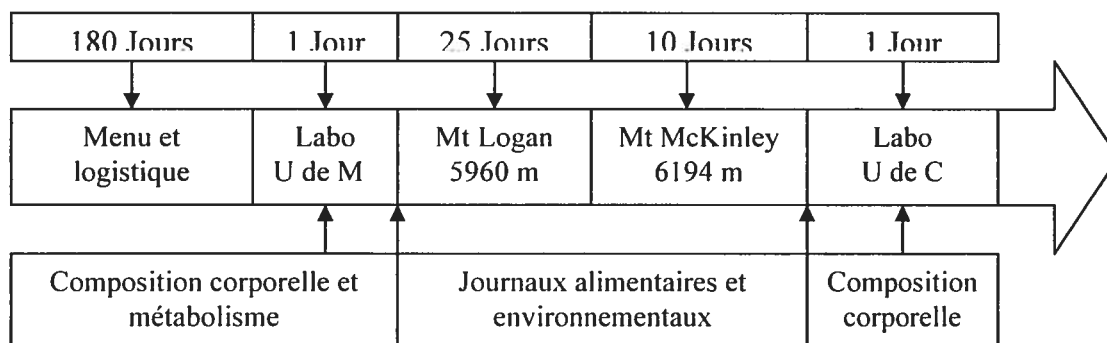


Figure 5: Déroutement du projet de recherche

3 Protocole nutritionnel

3.1 Besoins énergétiques

Dans cette étude, l'expérience des sujets a été mise à contribution dans la détermination des besoins énergétiques. Lors d'une expédition antérieure dans des conditions similaires au froid et en altitude, les sujets ont rapporté une perte pondérale de l'ordre de 6,8 à 10 kg avec un apport énergétique de 3000 kcal par jour. Cet apport énergétique de 3000 kcal provient de l'analyse du menu, que les sujets avaient conservé à titre de référence en prévision d'expédition future. À l'aide de ces informations, il a été convenu d'élaborer un menu de 4500 kcal, soit 61 kcal/kg de poids corporel moyen ou 2,5 fois le M.R., pour les jours actifs. Le menu des jours de repos a été élaboré pour une ration quotidienne d'environ 3000 kcal, soit 41 kcal/kg ou 1,7 fois le M.R. Ces valeurs découlent de l'estimation de la dépense énergétique en fonction de la composition corporelle

des sujets, du type d'exercice prévu (ski et marche en montagne), du type de sol (neige et glace) et de la charge à porter, soit environ 35 kg par sujet (Tableau VI). La prévision des activités sur la montagne provient aussi de l'expérience antérieure des sujets dans les Andes. L'estimation de la dépense énergétique ainsi obtenue est en accord avec les études de Butterfield et coll. (1992), d'Edwards et coll. (1995), de Hoyt et coll. (1994), de Mawson et coll. (2000) et de Westerterp et coll. (1992). Un apport énergétique supplémentaire de l'ordre de 500 kcal sous forme de gels énergétiques, de barres de fruits déshydratés et de liquides nutritifs a été prévu pour les jours d'ascension vers le sommet.

Tableau VI: Apport énergétique prévu en fonction du niveau d'activité

Jours	Description	Énergie	M.R.	Énergie/Kg
Repos	Occupation autour du camp, repos	3000 Kcal	1,7 x M.R.	41 Kcal/Kg
Actifs	Ascension entre les différents camps	4500 Kcal	2,5 x M.R.	61 Kcal/Kg
Sommets	Ascension vers le sommet	5000 Kcal	2,8 x M.R.	68 Kcal/Kg

Étant donné la similarité dans les profils anthropométriques des participants, les valeurs moyennes de 73,7 kg et 1,77 m ont été choisies pour l'estimation des besoins nutritionnels, dans le but d'uniformiser le menu des quatre sujets pour diminuer les manipulations et les risques de confusion lors de l'expédition.

3.2 Macronutriments

L'état actuel des connaissances ne permet pas de recommander une répartition en macronutriments autre que celle qui est suggérée par les ANREF soit 45 à 65 % de l'apport énergétique sous forme de glucides, 10 à 35 % sous forme de protéines et 20 à 35 % sous forme de lipides. Ces valeurs sont en accord avec les recommandations de Butterfield (1999) et de la prise de position commune de l'*American Dietetic Association*, de l'*American College of Sport Medicine* et des Diététiste du Canada (DC et coll., 2000). De même, un apport de 7 à

10 g/kg de poids corporel de glucides, 1,2 à 1,4 g/kg de poids corporel de protéines et un minimum de 1 g/kg de poids corporel de lipides était visé, tel que recommandé pour les sports d'endurance (DC et coll., 2000; Worme et coll. 1991). Ainsi, pour un apport énergétique de 4500 kcal, cela représente un poids total en macronutriments de 935 g soit 625 g de glucides, 135 g de lipides et 175 g de protéines. C'est à partir de ces balises qu'a été établi le poids maximum de la ration quotidienne, soit d'un kilogramme par personne par jour d'expédition, excluant les liquides.

3.3 Hydratation

En ce qui concerne l'hydratation, l'apport liquidien proposé variait de quatre à six litres par jour, ce qui est en accord avec les recommandations de l'armée Américaine pour les opérations au froid, qui recommande un apport de quatre à six litres pour une hydratation optimale alors que trois litres représenteraient le minimum absolu (Edwards et coll., 1995). De même, les sujets étaient encouragés à surveiller la couleur de leur urine et de se stimuler mutuellement à boire, tel que suggéré par Butterfield (1999). Afin de stimuler l'hydratation, une variété de boissons énergétiques froides et chaudes a été prévue au menu. En plus de contribuer à l'hydratation des sujets, les boissons énergétiques chaudes et froides sont un moyen efficace de maintenir une balance énergétique positive en altitude, notamment quand le M.A.M. et l'anorexie s'installent (Askew et coll., 1987; Westerterp et coll., 1996; Tharion et coll., 2005).

3.4 Logistique nutritionnelle

Les contraintes reliées à ce genre d'expédition ainsi que les exigences des participants ont nécessité la prise en considération des points énumérés au tableau VII, lors de l'élaboration du menu. Le menu élaboré prévoyait deux repas chauds par jour, soit le déjeuner et le souper, moment où le réchaud était disponible pour faire fondre la neige et un dîner constitué de collations et d'aliments ne nécessitant pas de cuisson pouvant être consommés en route. La seule manipulation permise pour la préparation des repas chauds était l'ajout d'eau bouillante aux aliments en poudre pré-mesurés individuellement pour convenir aux bouteilles d'un litre prévues pour le transport des liquides. L'équipement de cuisine était constitué de deux réchauds et deux gamelles de deux litres pour le groupe et de deux bouteilles d'un litre, d'un bol, d'un canif et d'une cuillère par personne.

La liste de tous les aliments utilisés pendant l'expédition ainsi que leur valeur nutritive se retrouvent à l'annexe 4.

Tableau VII: Contraintes logistiques associées à la planification de l'alimentation lors d'une expédition en autonomie complète, sans ravitaillement

Un kg de nourriture par jour par personne incluant l'emballage
Un budget de dix dollars maximum pour la nourriture par jour par personne
Cuisson avec ajout d'eau bouillante uniquement (aucun équipement prévu pour la préparation des aliments autre que pour faire bouillir de l'eau)
Manipulation minimale des aliments
Minimum de nettoyage après les repas (afin d'économiser l'eau et le carburant)
Un repas chaud par jour uniquement (en plus du gruau au déjeuner)
Aucun arrêt pour le dîner (dîner constitué de collations)
Densité énergétique élevée
Les aliments choisis doivent conserver une texture adéquate, même congelés à une température de -18 °C (certains aliments deviennent cassants et coupants quand ils sont congelés ou ils deviennent durs et représentent un risque pour la dentition)
Les aliments choisis doivent pouvoir se conserver sans réfrigération
La durée de conservation des aliments doit dépasser la durée prévue de l'expédition
La monotonie doit être évitée
Les préférences alimentaires des sujets doivent être respectées
Ajout quotidien d'une multivitamine
L'emballage des aliments doit être très compact et doit pouvoir résister aux conditions extrêmes de l'expédition (froid, humidité et chocs fréquents)
Le moins de déchets possible (aliment et emballage) doivent être produits

3.5 Préparation du menu

Ce sont les chercheurs, deux nutritionnistes, qui ont développé le menu de l'expédition en respectant les balises décrites précédemment et en intégrant dans la mesure du possible, les préférences alimentaires des quatre sujets. Tous les aliments composant le menu ont été testés par les deux investigateurs, en ce qui concerne le goût, la facilité de manipulation et les propriétés organoleptiques du produit congelé et décongelé. À cet effet, les aliments devenant trop durs une fois congelés et ceux dont l'emballage était difficile à manipuler ont été retirés du menu. Le menu était principalement composé de barres énergétiques et de barres de fruits déshydratés, choisies pour leur haute densité énergétique et de mets déshydratés et lyophilisés choisis pour leur légèreté et leur facilité d'utilisation. Les sujets de cette expédition ont également testé des barres maison destinées au sport d'endurance et à ce genre d'expédition, nommées temporairement *Marco Bar*. De même, deux jours de menu ont été testés par les membres de l'équipe, en pré-expédition, lors d'une sortie d'entraînement. Il est important de noter que c'est aux membres de l'expédition que revenait la décision finale quant à l'acceptation du menu. Le tableau VIII donne une prévision du nombre de jours d'expédition et de leur intensité et le tableau IX donne un exemple du menu élaboré pour l'expédition.

Tableau VIII: Prévision du nombre de jours d'expédition et de leur intensité

Codification	Mont Logan	Mont Mckinley	Sécurité
Repos (3000)	4	1	6
Actif (5000)	11	4	5
Sommet (6000)	1	1	2

3.6 Préparation des sacs

Une fois le menu établi, testé et accepté à l'unanimité par les membres de l'équipe, l'achat, l'ensachage et l'emballage des aliments ont été faits. Dans un premier temps, les aliments en poudre ont été pesés et emballés individuellement à 0,5 g près selon la quantité quotidienne nécessaire pour chaque sujet et disposés dans des sacs transparents avec fermoir. Tous les aliments du menu d'une journée ont été regroupés dans un solide sac transparent, afin de faciliter leur identification et les manipulations dans des conditions difficiles. Chaque membre de l'équipe avait un sac par jour d'expédition, et conséquemment, un total de 35 sacs différents dont le contenu énergétique dépendait de l'intensité des activités prévues pour la journée. Un système de codage simple identifiait tous les sacs et permettait aux sujets de sélectionner le bon sac, selon le type d'activité prévu lors de cette journée. Pour chaque personne, vingt sacs codés 5001 à 5020, onze sacs codés 3001 à 3011 et quatre sacs codés 6001 à 6004 ont été préparés pour les jours actifs, de repos et d'ascension vers le sommet, respectivement. Par mesure de sécurité, dans l'éventualité d'un blizzard, d'une blessure ou d'un retard de l'avion, 13 sacs supplémentaires ont été prévus. Le contenu et la composition nutritionnelle de tous les sacs étaient précisément connus des investigateurs.

Tableau IX: Exemple de menu code 6000 (jour de sommet)

Aliments *	Calories	Glucides	Protéines	Lipides
Déjeuner				
Gruau :				
Érable et cassonade	160 kcal	33 g	4 g	2
Baies sauvages	153 kcal	29 g	4 g	2,4
Dinosoeufs	200 kcal	38 g	4 g	4
Déjeuner instant	130 kcal	26 g	6,4 g	0,2
Dîner				
Marco Bar	500 kcal	70 g	10 g	20
Peak Bar	290 kcal	62,8 g	5,6 g	3,6
Cliff Bar	250 kcal	39 g	10 g	5
Energy to Go	136 kcal	35 g	0,5 g	0,4
Gorp: 3	912 kcal	51 g	28,4 g	69
Pemmican	122 kcal	10 g	14 g	2,7
Souper				
Mets lyophilisés				
Casserole mexicaine	498 kcal	108 g	17 g	1,3
Desserts				
Biscuits à l'érable	255 kcal	36 g	2,4 g	11,4
Autres				
Bonbons				
(chocolat)	140 kcal	35 g	0 g	0 g
Gel Carb Boom	214 kcal	54 g	0 g	0 g
Nougat	56 kcal	13 g	0,5 g	0,2 g
Liquides				
Bouillon	52 kcal	5,2 g	3,2 g	2 g
Chocolat chaud	172 kcal	32,8 g	1 g	4,2 g
Gatorade	377 kcal	94 g	0 g	0 g
Somme		772 g	111 g	128 g
TOTAL, kcal	4617 kcal	3087 kcal	444 kcal	1156 kcal
Répartition, %		65,9%	9,5%	24,7%

* La liste de tous les aliments utilisés pendant l'expédition ainsi que leur provenance se retrouve à l'annexe 4.

4 Paramètres mesurés

4.1 Laboratoire

4.1.1 Anthropométrie

La composition corporelle a été mesurée à l'Université de Montréal en pré-expédition, par densitométrie au moyen d'un *dual-energie x-ray absorptiometry* (DXA), en utilisant un LUNAR, Prodigy system, version 6.10.019 (Géral Electric Lunar Corporation, Madison, WI). Cette technique permet de déterminer la masse maigre, la masse adipeuse, le pourcentage de masse adipeuse, la masse maigre sans les os ainsi que la densité osseuse. Aucune préparation préalable n'est nécessaire, les sujets n'ont qu'à s'allonger sur la table d'examen pour une période variant de 10 à 20 minutes, pendant que deux rayons X d'intensités différentes (40 keV et 76 keV), balayent le corps et que l'appareil enregistre les différences dans l'atténuation des rayons. L'estimation de la composition corporelle a aussi été effectuée à l'aide de la méthode des plis cutanés (dix plis) avec la formule de Allen et coll. (1956) modifiée par Zwirren et coll. (1973) au moyen d'une pince Harpenden. Les sujets ont été pesés à plusieurs reprises au cours de l'étude soit : lors de la visite au laboratoire de l'Université de Montréal en pré-expédition, où les sujets ont été mesurés sans chaussure à 0,1 cm près et pesés avec des vêtements sport légers à 20 g près, puis huit jours avant le départ, au jour un avant l'ascension du mont Logan, au jour 23 pour deux sujets et au jour 25 pour les deux autres sujets et au laboratoire de l'Université de Calgary en post-expédition. Lors du séjour au laboratoire de l'Université de Calgary en post-expédition, une estimation de la composition corporelle a été effectuée de nouveau à l'aide de la technique des plis cutanés (dix plis), mais par un examinateur différent.

4.1.2 Métabolisme de repos

Le métabolisme de repos (M.R.) a été mesuré par calorimétrie indirecte à l'aide d'un *SensorMedics Delta Track II* (Datex-Ohmeda, Helsinki, Finland) à l'unité métabolique de l'Université de Montréal en pré-expédition. Cet appareil est doté d'une hotte ventilée sous laquelle les sujets doivent respirer, qui permet la mesure des concentrations d'O₂ et de CO₂. Le MR est ensuite déterminé à l'aide de l'équation de Weir (1949). Le M.R. a été mesuré suite à une période de 12 heures de jeûne, où la consommation d'eau était permise. Les sujets devaient également éviter de faire de l'exercice pour une période de 24 heures avant le test en plus de garder l'activité physique au minimum le matin du test. Les mesures ont été effectuées pendant que les sujets étaient éveillés, en position de supination, les mouvements réduits au minimum et sans parler. La mesure s'est déroulée pendant 40 minutes et les dix premières minutes étaient considérées comme une période d'acclimatation pour les sujets. Seules les 30 dernières minutes ont été utilisées pour l'analyse. Durant tout le test, la température de la pièce a été maintenue constante à 22 °C. L'analyseur de gaz a été calibré avant chaque mesure pour la pression ainsi que pour la concentration des gaz.

4.1.3 Forme physique

Une estimation de la forme physique (capacité aérobie) a été évaluée au laboratoire de kinésiologie de l'Université de Montréal, par la mesure du $\dot{V}O_2^{\max}$ qui est la consommation moyenne d' O_2 la plus élevée sur une période de 30 secondes. Le protocole consistait en un test progressif sur bicyclette ergométrique (Ergomeca GP 440, La Bayette, France) débutant à 80 W avec des paliers de 40 W toutes les deux minutes et une augmentation de 24 W à la quatorzième minute du test. Les sujets devaient maintenir une vitesse constante de 80 rotations par minute tout au long du test, alors que la résistance était ajustée sur la roue pour maintenir la puissance constante. Tout au long de l'examen, les sujets devaient respirer dans un masque avec un embout collecteur afin de mesurer les échanges d' O_2 et de CO_2 . Le $\dot{V}O_2^{\max}$ est atteint quand le sujet ne peut plus maintenir la puissance requise. Le système a été calibré avant chaque mesure pour la pression atmosphérique, l'humidité relative et la concentration des gaz.

4.2 Terrain

4.2.1 Journal de bord

Un journal de bord de format poche, d'utilisation simple, rapide et fiable, a été développé et remis aux sujets afin de noter les informations quotidiennes concernant l'alimentation, les activités de la journée, le moral et la perception qu'ils avaient de leur santé physique. Un minimum de manipulation était requis de la part des sujets et les premières pages du journal de bord étaient constituées d'une liste d'abréviations à utiliser ainsi que des recommandations nutritionnelles relatives aux expéditions en montagne. Il est à noter que les membres de l'équipe ont été formés sur les modalités de fonctionnement et de l'utilisation du journal de bord.

4.2.2 Apports alimentaires

Dans la section alimentaire du journal de bord, les sujets devaient inscrire les aliments qui n'étaient pas consommés, afin de minimiser les inscriptions. De cette façon, si un sujet consommait la totalité de son sac prévu pour la journée, il n'avait qu'à y inscrire la date et le numéro du sac. Cependant, si le sac n'était pas consommé en entier, les aliments restants ainsi que le pourcentage estimé de ce qui n'était pas consommé, devaient être inscrits. De plus, les raisons motivant la consommation incomplète de la ration quotidienne devaient être rapportées dans l'une des six catégories prévues à cet effet, soit dans la section goût, texture, appétit, environnement et autres (tel que des aliments perdus) (Figure 6). Les sujets devaient aussi mentionner s'ils faisaient des échanges d'aliments entre eux, s'ils gardaient des aliments d'un sac pour les consommer un autre jour et s'ils recevaient des dons d'aliments provenant de membres

d'autres expéditions. Diverses questions se rapportant à l'hydratation, à la satiété, à la satisfaction ainsi qu'à la composition du menu de la journée étaient aussi intégrées au questionnaire.

Initiales:	Date:	No sac:	alim. ajoutés :	
G:goût, T:texture, A:appétit, P:perdu, E:environnement X :autre				
Restes :	100%	75%	50%	25%
Satisfaction: 1 = min. 3 = normal 5 = max.				
Générale	Goût	Qte.dej	Qte.dîner	Qte.soir
1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5	1-2-3-4-5
Hydratation: Perception de la soif:			1-2-3-4-5	Perception
Total L bu/j	Qte L /dej	Qte L /dîn	Qte L /soir	Faim
				1-2-3-4-5

Aliments	Abréviation	Aliments	Abréviation
Croque nature	C-N	Gorp	GORP
Vector	C-V	Pemmican	PEM
Érable et cassonade	G-ER	Bouillon	Bou
Pommes et cannelle	G-POM	Bonbons	Bon
Brioche cannelle	G-CAN	Dessert	Des
Nature	G-N	Lyophilisés	LYO
Dino	G-Dino	Couscous	Cous
Baies sauvages	G-BS	Chili d'ici	Chil
Miel doré	G-Mi	C. Nordique	Nord
Déjeuner instant	D-I	Riz Méli	Riz
Chocolat chaud	C-C	C. Mexicaine	Mex
Gatorade	GAT	Dal-Bhat	Dal
Marco Bar	M-B	Gel Carb Boom	GEL
Peak Bar	P-B	Saucisson	Sau
Cliff Bar	C-B	Meli-melo	Meli
Energy to Go	E-B		
Fruit snack	K-B		
Sunkist	SUN		

Figure 6: Journal de bord section alimentaire

4.2.3 Facteurs psycho-environnementaux

Dans les sections santé physique, moral et activités de la journée du journal de bord, les sujets devaient inscrire et quantifier les informations concernant leurs états physique et psychologique tant au niveau personnel que pour l'équipe (Figure 7). Le type d'activité de la journée devait être décrit et quantifié quant à leur durée et leur intensité (ex. repos, montée, ascension, etc.). Afin de faciliter la classification, une échelle de 1 à 5 (5 étant la valeur maximale) a été utilisée pour toutes les catégories de questions.

Esprit équipe	1 2 3 4 5	Moral	1 2 3 4 5	Niveau
Fatigue	Tr.Digest.	Douleurs	Engelures	Stress
1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5
Autres tr.	1-2-3-4-5	Décrire :		
Type d'activité phys.	intensité (1 2 3 4 5)		durée	

Figure 7: Journal de bord section santé, moral et activité

Un des membres de l'expédition (toujours le même) devait remplir son journal de bord personnel et noter dans une autre section des informations relatives à la progression de l'équipe sur la montagne ainsi que sur les conditions météorologiques et environnementales, ainsi que l'ascension de la journée et l'altitude du campement de la nuit (Figure 8). Ces deux informations sont directement reliées au risque de développer des symptômes de M.A.M.

Initiales:	Date:	Montagne		
Temp. °C	Vent km/h	Neige O/N	Denivelé °	Surface
Max				
Min				
Alt(dormir):		Ascension:		
Commentaires:				
% de l'objectif réussi:				

Figure 8: Météorologie et environnement

5 Analyses statistiques

La présence de différences significatives au niveau de changement de la composition corporelle, de l'apport énergétique et de l'apport en macronutriments à différent moment de l'étude ont été évaluées à l'aide du test T de Student bilatéral pour mesure répétée. Une valeur de $P < 0,05$ a été établie comme niveau de signification pour l'ensemble des analyses statistique.

D RÉSULTATS

1 Caractéristiques initiales des sujets

Les caractéristiques initiales des quatre membres de l'expédition se retrouvent au tableau X. Les sujets, au moment de l'étude, étaient tous non-fumeurs, de poids normal, en excellente forme physique et se connaissaient avant l'expédition. Deux des quatre sujets avaient participé dans le passé à des expéditions au froid et en altitude. Tous les sujets habitaient au niveau de la mer (Montréal : 40 m au dessus du niveau de la mer) en début d'étude. Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les sujets de l'étude concernant les caractéristiques initiales ($p > 0,05$).

Tableau X: Caractéristiques initiales des sujets

Sujet	Age Année	Taille cm	Poids Kg	IMC Kg/t ²	% gras %	VO²max ml/Kg/min	M.R. Kcal/24h
1	26	180,1	76,8	23,7	16,9	56	1778
2	24	178,8	73,8	23,1	12	66,2	2010
3	30	178,2	75,5	23,8	16	54,5	1678
4	22	177,0	68,6	21,9	14,4	61,8	1620
Moyenne	25,5±3,4	178,5±1,3	73,7±3,6	23,1±0,9	14,8±2,1	59,6±5,4	1772±172

2 Description des activités

L'arrivée et le départ de chaque montagne, situées à 3000 m au-dessus du niveau de la mer, se sont effectués en avion. Le déroulement des journées sur les deux montagnes consistait principalement à transporter de l'équipement d'un camp en basse altitude vers un camp ou une cache, généralement plus élevés de 500 m, et de redescendre dormir au camp précédent, afin de permettre l'acclimatation à l'altitude et de fractionner les charges à porter, soit environ 70 kg par personne par trajet. Selon les conditions du sol et de la pente, variant de 0° à 65°, les ascensions s'effectuaient à pied ou en ski. Les activités autour des différents camps consistaient à monter les tentes, à fabriquer et entretenir des murs coupe-vent et à faire fondre de la neige et de la glace pour obtenir de l'eau (Tableau XI; Tableau XII). Les quatre membres de l'expédition ont réussi le sommet du mont Logan (5960 m), alors que seulement trois des quatre membres sont parvenus au sommet du mont McKinley (6194 m).

Tableau XI: Description des activités de l'expédition sur le mont Logan

Jour	Description des activités
1	Avion de Kluane vers le camp de base et établissement du camp (2750 m)
2	Portage en ski de toute la charge au camp #1 et monter le camp (3200 m)
3	Portage d'une partie de l'équipement en ski vers une cache (3800 m)
4	Portage de tout l'équipement du camp #1 vers le camp #2, 8 heures de ski
5	Construction d'un mur coupe-vent autour du camp #2 (4135 m)
6	Rapatriement de l'équipement de la cache vers le camp #2
7	Portage à pied de 15 jours de nourriture et de carburant dans une cache (4700 m)
8	Ascension vers le camp #3, mais arrêt à la cache à cause du blizzard
9	Portage d'équipement en 2 voyages de la cache au camp #3 (4850 m) et construction d'un mur coupe-vent
10	Repos au camp #3 et joué aux cartes
11	Sujets 1 et 3 : descente à 4300 m pour récupérer de l'équipement; sujets 2 et 4 : portage d'équipement en ski vers une cache à 4200 m, puis retour au camp #3 des 4 sujets
12	Repos au camp #3 et construction d'un mur coupe-vent, sujet 4 malade
13	Ascension en ski vers le camp #4 et monter le camp (5460 m)
14	Portage à la marche, début d'une tempête
15	Repos au camp #4 (blizzard), jouer aux cartes
16	Repos au camp #4 (blizzard), jouer aux cartes
17	Repos au camp #4 (blizzard), jouer aux cartes
18	Longue journée de ski du camp #4 au camp #5 (5500 m)
19	Sommet à la marche (5960 m) et retour au camp #5
20	Descente du camp #5 au camp #2 en 13 heures (jour le plus difficile)
21	Descente du camp #2 au camp de base en ski
22	Attente de l'avion pour retour à Kluane
23	Sortie en avion du mont Logan pour les sujets 1 et 2, sujets 3 et 4 repos
24	Sujets 1 et 2, Repos à Kluane; sujets 3 et 4, repos au camp de base (2750 m)
25	Sortie en avion du mont Logan pour les sujets 3 et 4, sujets 1 et 2 repos

Tableau XII: Description des activités de l'expédition sur le mont Mckinley

Jour	Description des activités
26	Déplacement en camion et attente de l'avion pour le camp de base
27	Arrivée au camp de base en avion vers 12h00, ski de nuit vers le camp #2 (3100 m)
28	Ascension en ski de nuit du camp #2 au camp #3 (4400 m)
29	Repos au camp #3
30	Ascension à la marche du camp #3 au camp #4 (5200 m)
31	Repos au camp #4 (blizzard)
32	Repos au camp #4 (blizzard)
33	Repos au camp #4 (blizzard)
34	Sujets #2, 3 et 4 : sommet (6194 m) à la marche; sujet #1 : arrêt de l'ascension à 5800 m (problèmes médicaux). Tous les sujets retournent au camp de base de nuit
35	Arrivé au camp de base à 12h00 puis sortie de la montagne en avion

3 Conditions environnementales

3.1 Conditions météorologiques

L'appareil combinant un anémomètre et un thermomètre servant aux relevés des conditions météorologiques a été endommagé durant le transport vers Kluane. Par conséquent, la force du vent et la température ont été estimées et tirées du journal de bord des sujets. Pendant toute l'expédition, les conditions météorologiques ont été particulièrement clémentes alors qu'habituellement, cette région du monde est reconnue pour des températures très froides, allant de 0 à - 45°C, et pour des vents pouvant atteindre jusqu'à 100 km/h. À certains moments de l'expédition, les membres se sont plutôt plaints de la chaleur que du froid. Enfin, sur les 35 jours d'expédition, les sujets ont été confinés dans leur tente durant sept jours suite à un blizzard (Tableau XIII; Tableau XIV).

Tableau XIII: Description des conditions météorologiques et de l'environnement sur le mont Logan

Jour	Température °C	Vent km/h	Neige Oui/non	Dénivelé °	Type de sol
1	10 à -10	0	N	0	Neige assez dure
2	10 à -5	0	N	5 à 15	Neige dure
3	10 à -10	0	N	10 à 25	Neige dure
4	10 à -5	0	N	10 à 25	Neige dure
5	10 à 0	0	N	0	Neige dure
6	0 à -10	0	N	10 à 25	Neige dure
7	5 à -5	0	N	10 à 40	Neige dure
8	0 à -10	30-60	N	10 à 40	Neige dure
9	0 à -10	0	N	10 à 40	Neige dure
10	0 à -10	0	N	0	Neige dure
11	0 à -10	40 à 80	N	10 à 40	Neige dure
12	-	40 à 80	N	0	Neige dure
13	0 à -10	0 à 60	N	15 à 30	Neige dure
14	0 à -10	0 à 60	N	15 à 30	Neige dure
15	0 à -10	0 à 80	O	0	Neige molle sur dure
16	0 à -10	0 à 50	O	0	Neige molle sur dure
17	0 à -10	0 à 50	O	0	Neige molle sur dure
18	-10 à -20	0 à 80	O	0 à 15	Neige molle sur dure
19	-10 à -30	0 à 40	N	10 à 60	Neige molle sur dure
20	-5 à -30	0 à 40	N	0 à 30	Neige molle sur dure
21	5 à -10	0 à 40	N	0 à 25	Neige dure
22	5 à -10	20 à 60	N	0	Neige dure
23	5 à -10	0 à 40	N	0	Neige dure
24	5 à -10	0	N	0	Neige dure
25	-	-	-	-	Neige assez dure

Tableau XIV: Description des conditions météorologiques et de l'environnement sur le mont Mckinley

Jour	Température °C	Vent km/h	Neige Oui/non	Dénivelé °	Type de sol
26	-	-	-	-	-
27	10 à -5	0	N	0 à 20	Neige dure
28	10 à -10	0	N	15 à 40	Neige dure
29	10 à -5	0	N	0	Neige dure
30	10 à 0	0-20	O	30 à 65	Neige molle et roche
31	0 à -10	30-60	O	0	Neige molle et roche
32	5 à -5	30-60	O	0	Neige molle et roche
33	0 à -10	30-60	O	0	Neige molle et roche
34	0 à -10	30-40	N	25 à 50	Roche et neige dure
35	0 à -10	0	N	0 à 40	Neige croûteuse

3.2 Altitude

L'altitude moyenne où les sujets ont dormi pendant leur séjour sur les monts Logan et McKinley est de 4064 m, alors que la moyenne des altitudes maximales atteintes a été de 4254 m avec deux sommets à 5960 m et 6194 m, ce qui correspond respectivement à une très haute altitude et à une altitude extrême, selon la classification de Hamad et Travis (2006). Les principaux symptômes associés au M.A.M. qui ont été rapportés par les sujets sont les maux de têtes, les nausées, les vomissements et la diminution de l'appétit. La figure 9 montre les changements d'altitude en fonction du temps.

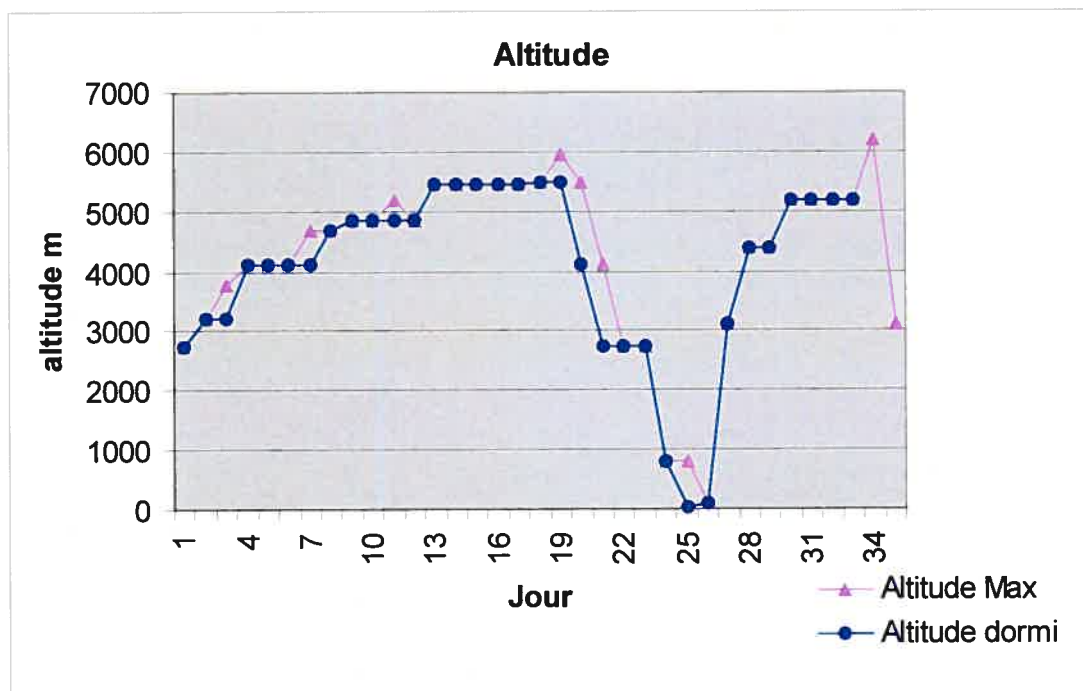


Figure 9: Altitudes atteintes lors de l'expédition

4 Composition corporelle

Le tableau XV montre l'évolution du poids à différents moments de l'étude. Les mesures de poids ont été prises à six reprises en cours d'étude, soit en pré-expédition au jour -23 et -8 au laboratoire de l'unité métabolique de l'Université de Montréal (sujet 1, 2, 3 et 4), au jour 1 immédiatement avant de prendre l'avion en direction du mont Logan, au jour 23 (sujet 1 et 2) et 25 (sujet 3 et 4) à la sortie de l'avion après l'ascension du mont Logan et au jour 38 (sujet 1, 2, 3 et 4) en post-expédition à l'Université de Calgary, soit trois jours après l'ascension du mont McKinley. Un problème de surcharge de l'avion explique la séparation de l'équipe aux jours 23 et 25. On note une diminution significative du poids corporel entre le poids mesuré au jour -23 (avant le début de l'expédition) et celui mesuré au jour 23-25 (après l'ascension du mont Logan) ainsi qu'entre celui mesuré entre le jour -23 et celui du jour 38 (après l'ascension du mont McKinley, à l'université de Calgary) ($p < 0,05$). La différence la plus marquée se situe entre le jour 1 (pré-ascension du mont Logan) et le jour 23-25 (post-ascension du mont Logan) ($p < 0,05$). De même, une différence pondérale moindre, mais tout de même significative a été notée entre le jour 1 (pré-ascension du mont Logan) et le jour 38 (après l'ascension du mont McKinley, à l'UdeC) ($p < 0,05$).

Tableau XV: Évolution du poids corporel au cours de l'étude

Endroit	U de M	U de M	Mt Logan	Mt Logan	Mt Logan	U de C
Jour	-23	-8	1	23	25	38
Sujet 1	76,8	76,8	75,5	69,5	-	72,1
Sujet 2	73,8	73,2	73,6	67,3	-	71,1
Sujet 3	75,5	74,5	77,3	-	70,9	73,8
Sujet 4	68,6	68,2	67,3	-	62,3	65,6
Moyenne ± écart-type	73,68 ± 3,60	73,18 ± 3,64	73,43 ± 4,35	68,4 ± 1,56	66,6 ± 6,08	70,65 ± 3,55

La figure 10 montre l'évolution pondérale des quatre sujets, au moment de chaque pesée. Il est intéressant de noter que le poids des quatre sujets varie selon la même tendance, et ce, tout au long de l'étude.

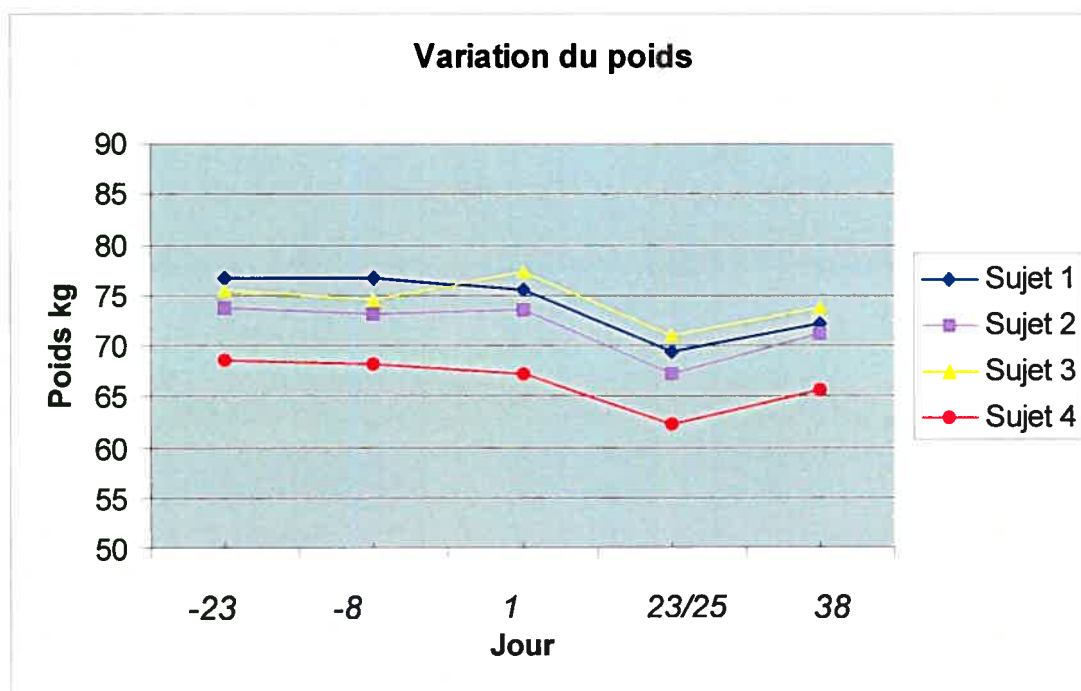


Figure 10: Évolution du poids corporel

Le tableau XVI montre les variations dans la composition corporelle entre le jour -23 en début d'étude et le jour 38 en post-expédition. Le lien entre les changements de la composition corporelle et les apports énergétiques et protéiques fait l'objet d'un autre mémoire [Effet de 35 jours d'expédition en altitude et au froid en autonomie complète sur l'apport alimentaire et la composition corporelle (Gauthier, 2005)]. Tel que mentionné précédemment dans le présent travail, on note une différence significative entre les poids pré- et post-expédition ($p < 0,05$). Par ailleurs, la composition corporelle a été évaluée à trois reprises, d'abord en pré-expédition à l'aide du DXA et par la mesure des plis cutanés ainsi que par la mesure des plis cutanés en post-expédition. Il n'y a pas de différence significative entre les pourcentages de tissu adipeux et de masse

maigre obtenus en pré-expédition par les deux méthodes utilisées, soit le DXA et la mesure des plis cutanés. La technique des plis cutanés étant plus susceptible d'être utilisée que le DXA pour ce genre d'expédition et les deux méthodes n'ayant pas montré de différence significative, la méthode des plis cutanés sera privilégiée dans ce travail pour comparer la composition corporelle en pré- et post-expédition. En ce qui concerne la composition corporelle obtenue par la technique des plis cutanés entre les jours -23 et 38, on note une différence significative pour les compartiments adipeux et musculaire, soit une diminution du pourcentage de gras et une augmentation de la masse maigre ($p < 0,05$).

Tableau XVI: Variation de la composition corporelle

Sujet	Poids corporel (kg)		Masse adipeuse (%)			Masse maigre (kg)		
	Balance Pré	Post	DXA Pré	PC Pré	PC Post	DXA Pré	PC Pré	PC Post
1	76,8	72,1	16,9	17,45	10,96	63,54	63,40	64,20
2	73,8	71,1	12	17,10	12,34	65,95	61,18	62,30
3	75,5	73,8	16	17,29	13,86	64,53	62,45	63,57
4	68,6	65,6	14,4	17,44	11,25	57,82	56,64	58,22
Moyenne ± Écart-type	73,7 ± 3,6	70,7 ± 3,5	14,8 ± 2,1	17,3 ± 0,2	12,1 ± 1,3	63,0 ± 3,8	60,9 ± 3,0	62,1 ± 2,7

Pré = pré expédition (jour -23) ; Post = post expédition (jour 38)
PC = plis cutanés; DXA = Dual energy X-ray absorptiometry

5 Apports alimentaires

5.1 Pré-expédition

Le tableau XVII décrit les apports alimentaires en pré-expédition recueillis par un journal de cinq jours, alors que les sujets étaient à Montréal. La répartition moyenne en macronutriments des quatre sujets correspond aux recommandations suggérées par les ANREF ainsi que par la prise de position commune de l'*American Dietetic Association*, de l'*American College of Sport Medicine* et des Diététistes du Canada (DC et coll., 2000). Il n'y a pas de différence significative entre les apports énergétiques totaux ainsi que pour la répartition entre les macronutriments pour les quatre sujets ($p > 0,05$). En pré-expédition, l'apport énergétique rapporté est de 39,7 kcal/kg, l'apport protéique de 1,5 g/kg et l'apport glucidique de 5,2 g/kg. Le poids utilisé correspond au poids moyen de l'équipe au jour -23.

Tableau XVII: Apport alimentaire pré-expédition (5 jours)

Sujet	Énergie kcal	Glucides g	Lipides g	Protéines g
1	3192 ± 201	415,6 ± 41,6	121,8 ± 9,9	102,4 ± 12,0
2	2818 ± 858	356,8 ± 102,5	111,1 ± 64,1	111,2 ± 27,6
3	2585 ± 210	347,4 ± 48,8	88,4 ± 11,9	112,0 ± 12,6
4	3101 ± 663	400,4 ± 107,5	116,4 ± 39,6	107,9 ± 12,8
Moyenne	2924 ± 277	380,0 ± 33,1	109,4 ± 14,7	108,4 ± 4,4
Répartition	100 %	52,2 ± 1,0	33,1 ± 1,6	15,2 ± 2,0

5.2 En cours d'expédition

Le tableau XVIII montre les apports alimentaires des sujets pendant les 35 jours d'expédition. Il n'y a pas de différence significative entre les apports énergétiques totaux et la répartition entre les macronutriments pour les quatre sujets ($p > 0,05$). En ce qui concerne les apports énergétiques entre la période pré- et pendant l'expédition, on note une augmentation des apports, mais celle-ci n'est pas statistiquement significative ($p > 0,05$). Par ailleurs, on observe une augmentation significative des apports en glucides ainsi qu'une diminution significative des apports protéiques entre la période pré- et pendant l'expédition ($p < 0,05$). Malgré qu'une diminution des apports en lipides soit observée, celle-ci n'est pas significative ($p > 0,05$). Il est intéressant de noter que les modifications dans les apports en macronutriments ont entraîné des changements significatifs ($p < 0,05$) dans la répartition énergétique, soit une augmentation de la proportion de l'énergie provenant des glucides ainsi qu'une diminution de celle provenant des lipides et des protéines.

Tableau XVIII: Apport alimentaire pendant l'expédition (35 jours)

Sujet	Énergie kcal	Glucides g	Lipides G	Protéines g
1	3008 ± 506	470,2 ± 87	90,3 ± 42	78,7 ± 16
2	3429 ± 759	546,5 ± 100	97,9 ± 40	90,5 ± 19
3	3418 ± 773	548,6 ± 109	99,3 ± 41	82,6 ± 22
4	3401 ± 762	557,1 ± 107	92,4 ± 36	85,3 ± 21
Moyenne	3310 ± 485	529,0 ± 69	95,3 ± 28	84,0 ± 13
Répartition	100 %	64,7 ± 5,6	25,1 ± 5,6	10,2 ± 0,84

Le tableau XIX montre les apports alimentaires moyens de l'équipe pendant la période pré-expédition (cinq jours de journaux alimentaires) ainsi que pour les 25 jours d'expédition sur le mont Logan et les dix sur le mont McKinley. On constate une différence significative entre les apports énergétiques notés sur le mont McKinley et ceux sur le mont Logan ($p < 0,05$). Il n'y a pas de différence

entre les apports énergétiques notés sur le mont Logan et ceux en période pré-expédition ($p>0,05$) ainsi que pour les apports énergétiques notés sur le mont McKinley et ceux en période pré-expédition ($p>0,05$). Par ailleurs, on observe une diminution significative de l'apport énergétique provenant des glucides ainsi qu'une augmentation significative de la proportion de l'apport énergétique provenant des lipides, entre le mont Logan et le mont McKinley ($p<0,05$). La proportion provenant des protéines est demeurée inchangée entre les deux montagnes ($p>0,05$).

Tableau XIX: Apport alimentaire en pré-expédition et sur les deux montagnes

Moment	nb Jour	Énergie kcal	Glucides g	Lipides g	Protéines g
Pré-expédition Répartition %	5	2924 ± 277 100	380 ± 33,1 52,2 ± 1,0	109,4 ± 14,7 33,1 ± 1,6	108,4 ± 15,2 15,2 ± 2,0
Mt. Logan Répartition %	25	3193 ± 435 100	519 ± 64,7 66,0 ± 10,0	88 ± 28,1 23,9 ± 6,0	81 ± 11,9 10,1 ± 0,9
Mt. McKinley Répartition %	10	3630 ± 495 100	557 ± 76,5 61,5 ± 1,4	114,9 ± 16,7 28,1 ± 1,1	92 ± 13,5 10,4 ± 0,4

5.2.1 Énergie

La figure 11 représente l'évolution de l'apport énergétique de chacun des membres tout au long de l'expédition, alors que la figure 12 montre les apports énergétiques moyens de l'équipe. Il est intéressant de constater que les membres de l'équipe ont des apports énergétiques similaires. La moyenne des apports énergétiques de l'équipe se situe à 3310 ± 485 kcal par jour, ce qui représente $47,4$ kcal/kg de poids moyen.

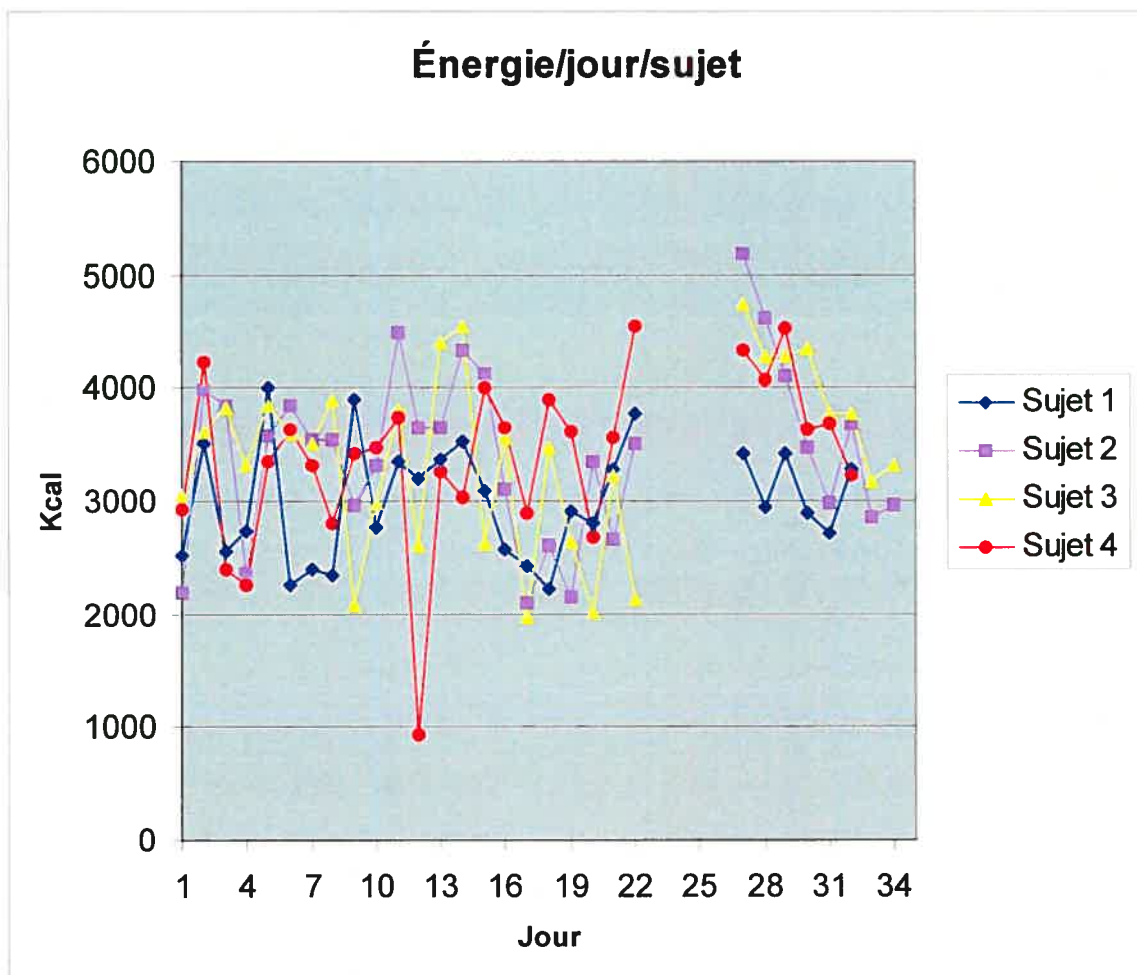


Figure 11: Apport énergétique de chaque sujet par jour

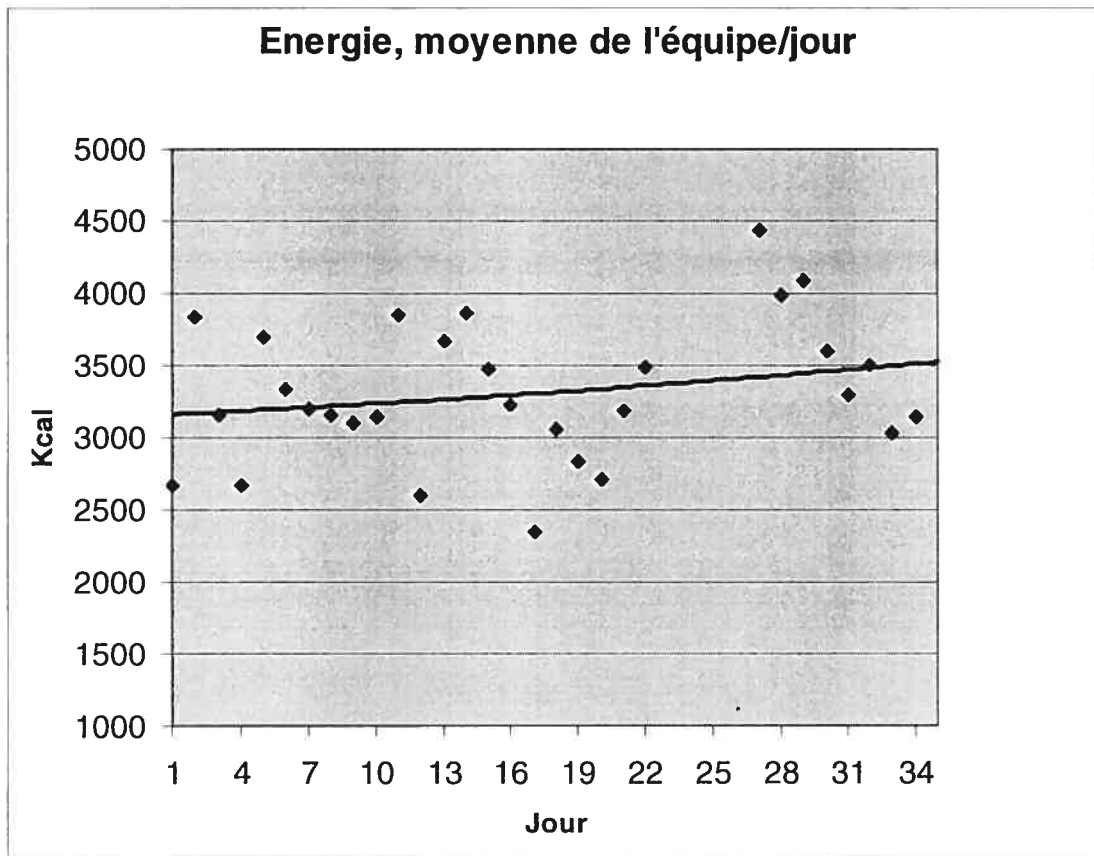


Figure 12: Apport énergétique moyen quotidien

5.2.2 Glucides

Les figures 13 et 14 montrent les apports quotidiens en glucides de chaque sujet ainsi que la moyenne des apports glucidiques de l'équipe tout au long de l'expédition. L'apport moyen en glucides de l'équipe est d'environ $529,0 \pm 69$ g par jour, ce qui représente $64,7 \pm 5,6$ % de l'apport énergétique total ou $7,6$ g/kg (poids moyen). Encore une fois, il est intéressant de constater que les apports glucidiques des quatre membres de l'équipe varient de façon semblable. Enfin, la proportion de l'énergie provenant des glucides a diminué de façon significative entre le mont Logan et le mont McKinley ($p < 0,05$), alors que la quantité (en gramme) de glucides est demeurée inchangée ($p > 0,05$).

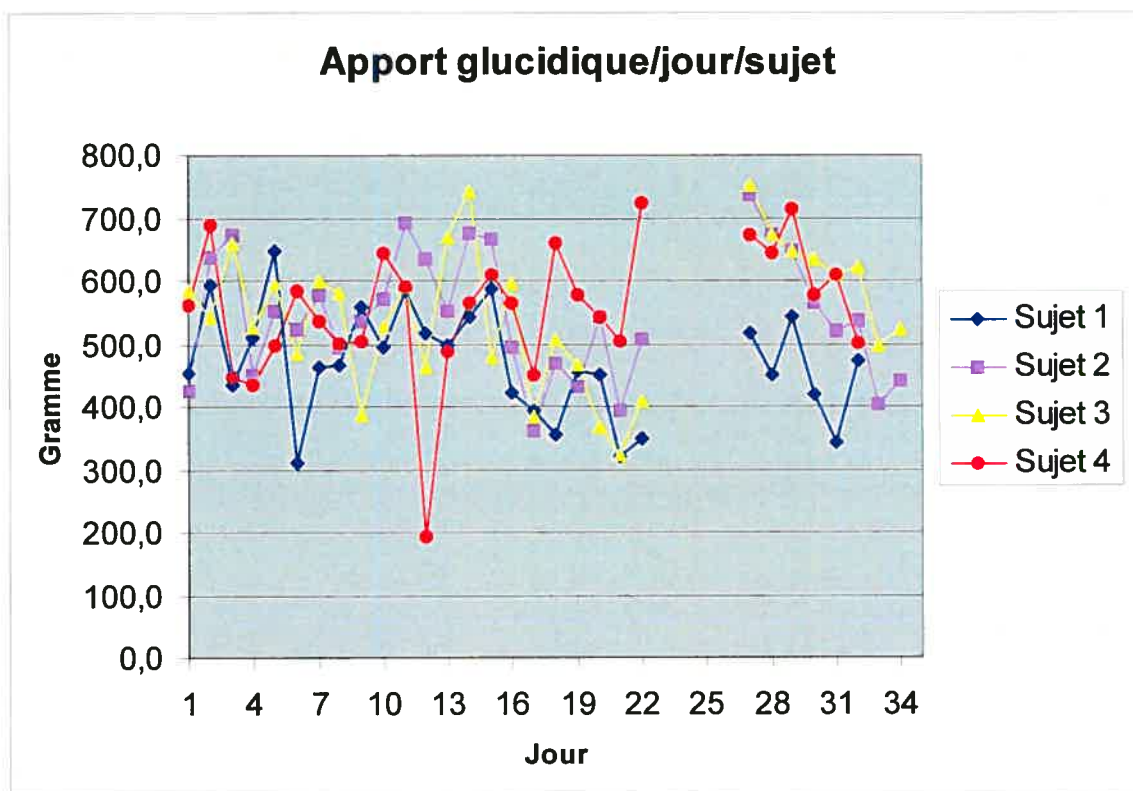


Figure 13: Apport glucidique de chaque sujet par jour

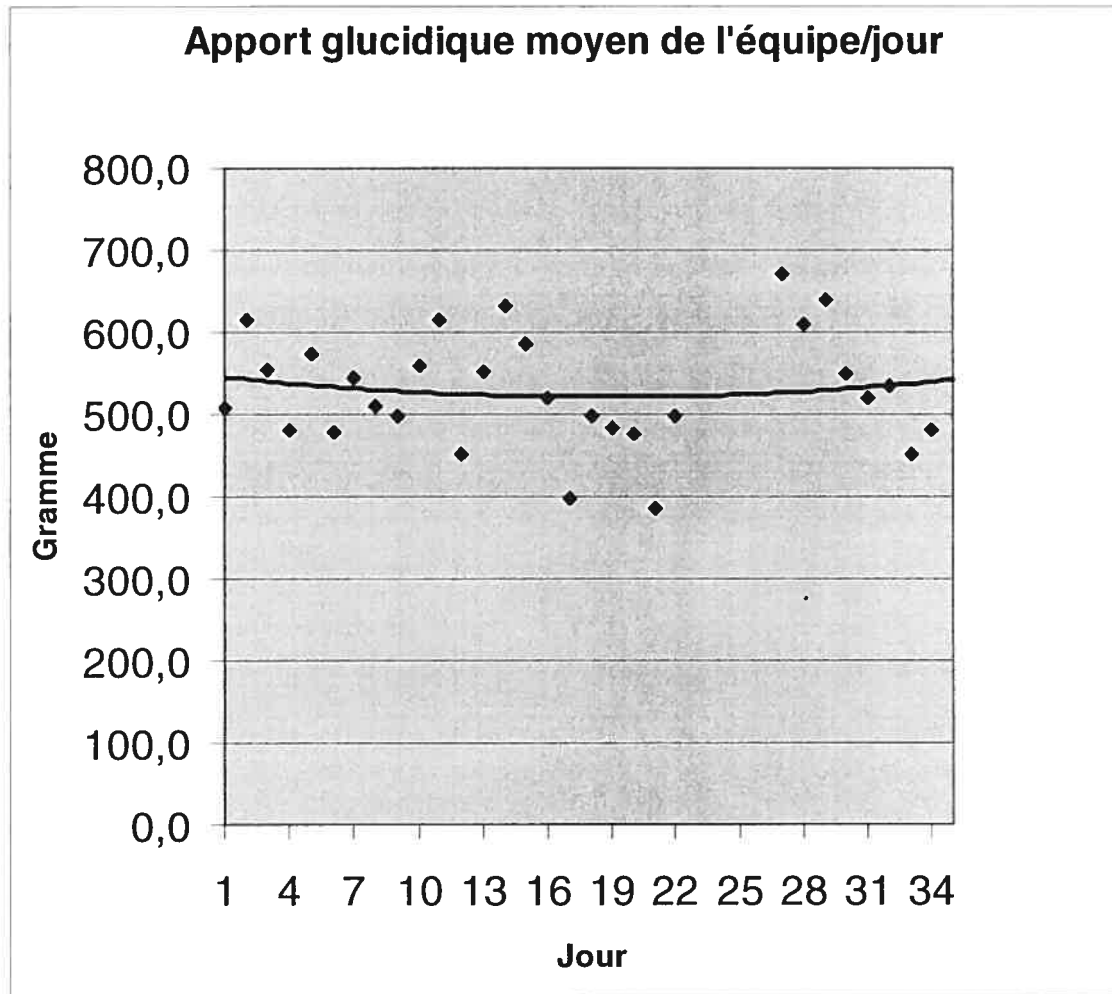


Figure 14: Apport glucidique moyen par jour

5.2.3 Lipides

Les figures 15 et 16 montrent les apports quotidiens en lipides de chaque sujet ainsi que la moyenne des apports lipidiques de l'équipe tout au long de l'expédition. La moyenne des apports lipidiques de l'équipe se situe à $95,3 \pm 28$ g par jour ce qui représente $25,1 \pm 5,6$ % de l'apport énergétique total. En cours d'expédition, plus précisément entre les monts Logan et McKinley, une augmentation statistiquement significative des apports lipidiques ainsi que de la proportion énergétique provenant des lipides a été observée ($p < 0,05$). Enfin, tel qu'il a pu être noté pour les apports glucidiques, la consommation en lipides des quatre membres de l'équipe a varié de façon semblable.

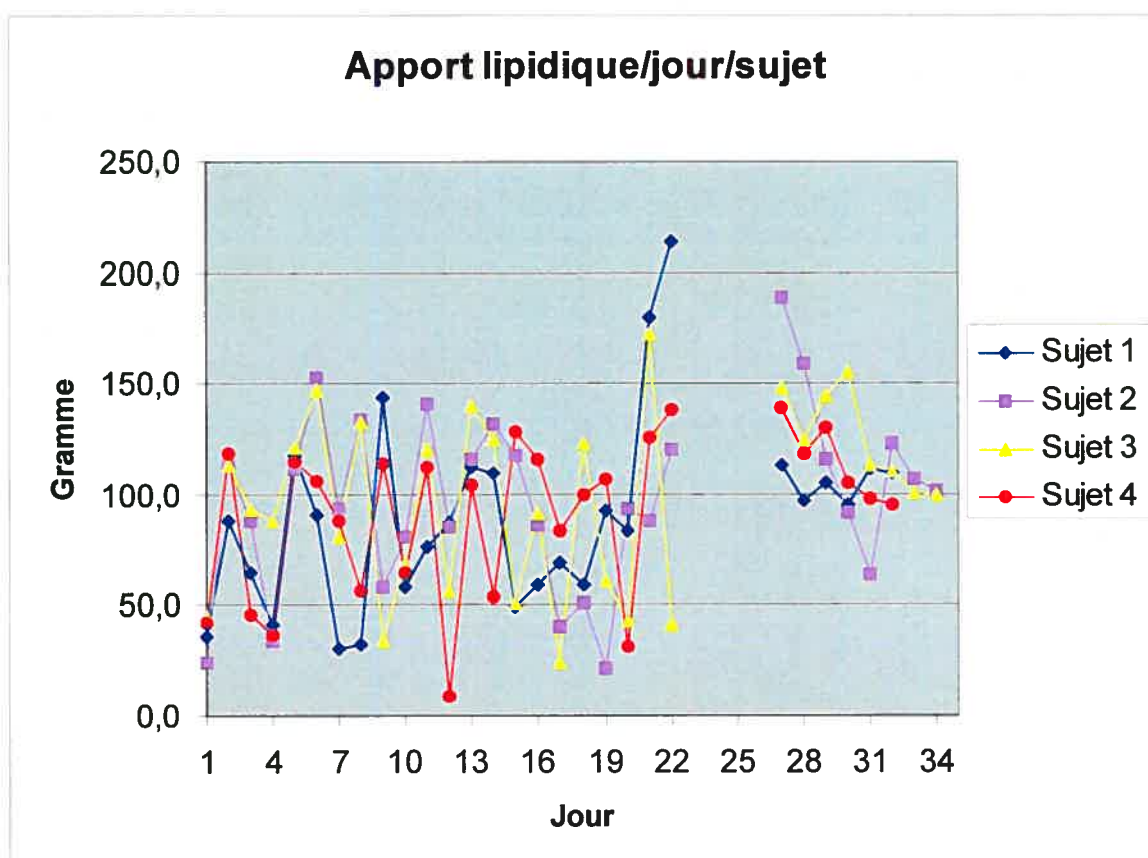


Figure 15: Apport lipidique de chaque sujet par jour

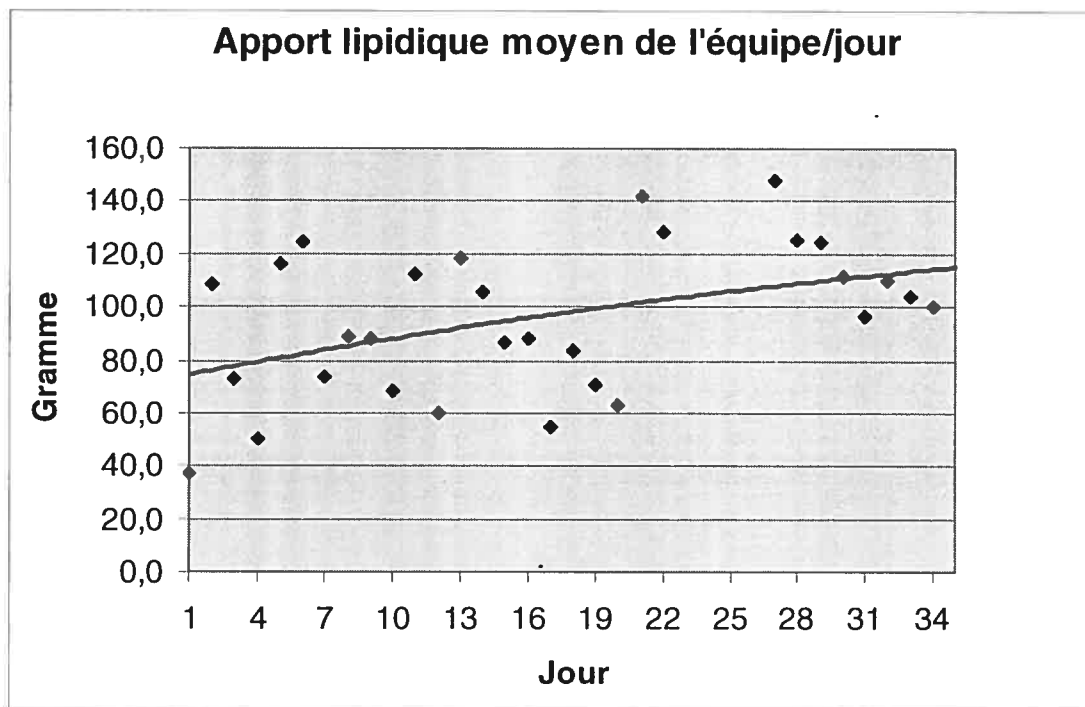


Figure 16: Apport lipidique moyen de l'équipe

5.2.4 Protéines

Les figures 17 et 18 montrent les apports quotidiens en protéines de chaque sujet ainsi que la moyenne des apports protéiques de l'équipe tout au long de l'expédition. La moyenne des apports protéiques de l'équipe se situe à $84,0 \pm 13$ g par jour, ce qui représente $10,2 \pm 0,8$ % de l'apport énergétique total ou 1,2 g/kg de poids moyen. En cours d'expédition, il y a eu une augmentation significative des apports protéiques entre les monts Logan et McKinley ($p < 0,05$), mais la proportion de l'énergie totale provenant des protéines est demeurée inchangée ($p > 0,05$). Enfin, tel qu'il a pu être noté pour les apports glucidiques et lipidiques, la consommation en protéines des quatre membres de l'équipe a varié de façon semblable.

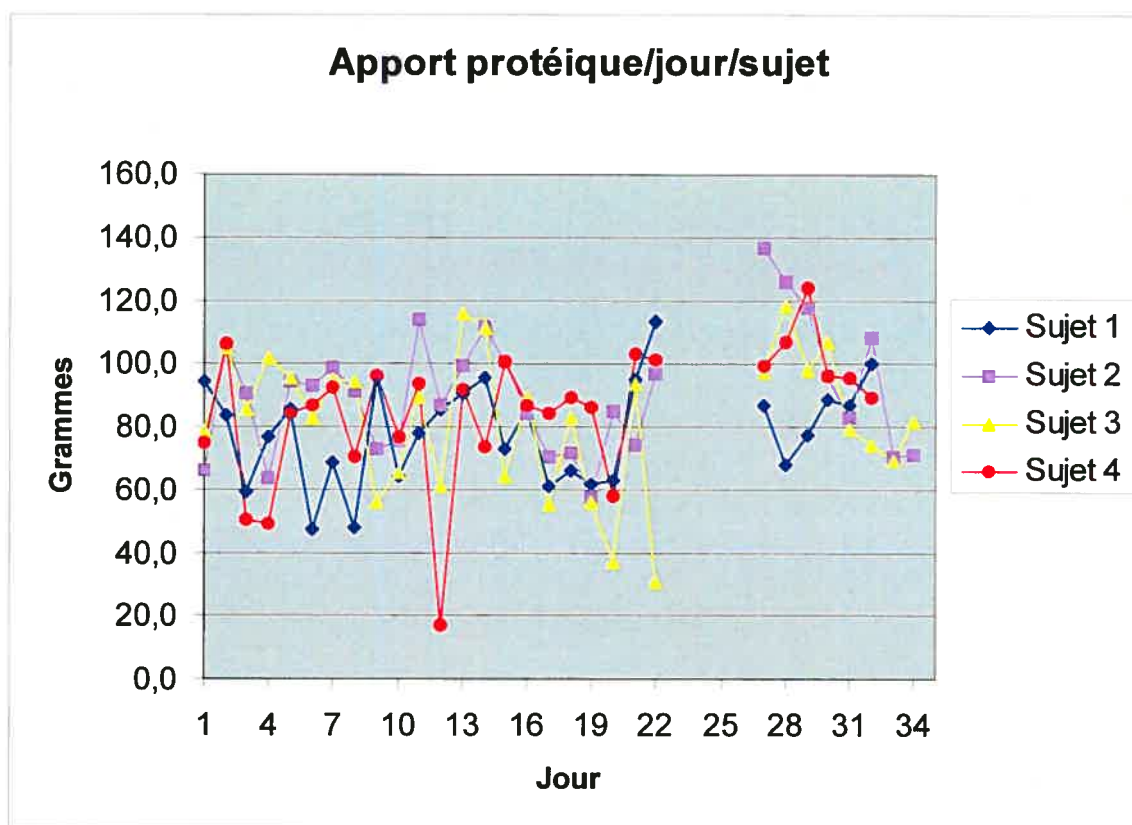


Figure 17: Apport protéique de chaque sujet par jour

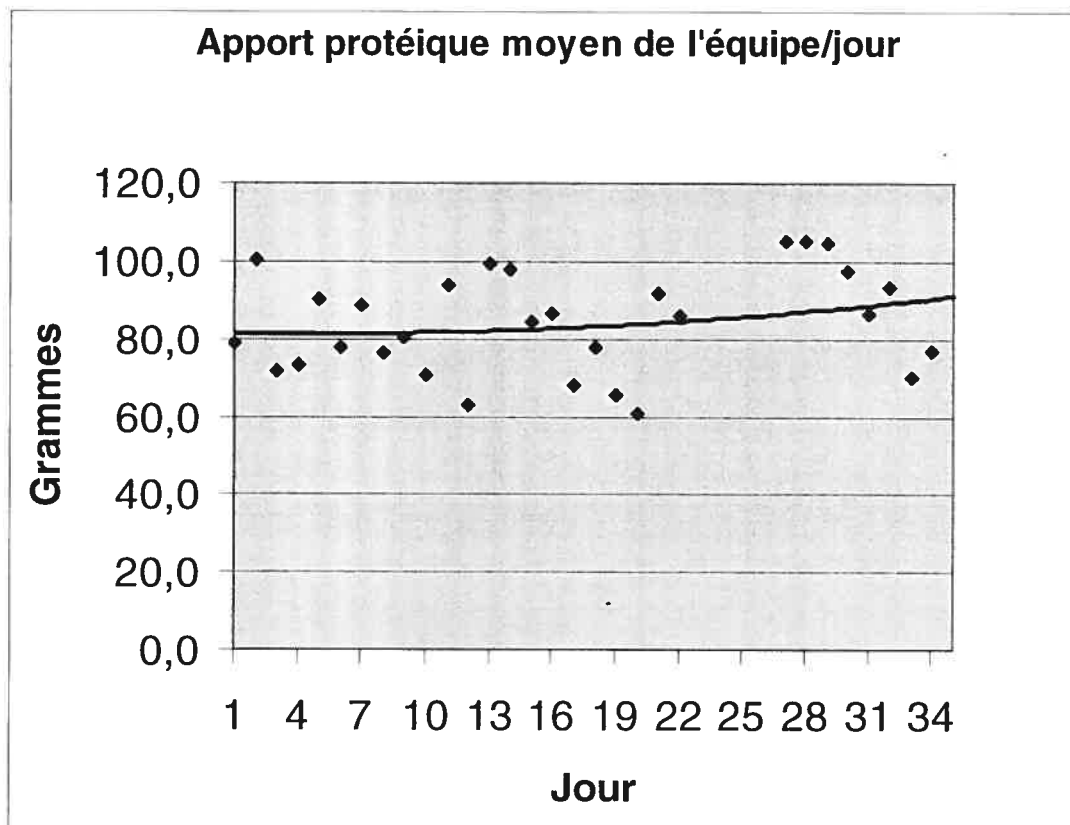


Figure 18: Apport protéique moyen par jour

La figure 19 est le résumé de la répartition moyenne en macronutriments des quatre membres de l'équipe ainsi que des apports énergétiques totaux. Les moments marquants de l'expédition, tels que les blizzards et les sommets y sont mentionnés.

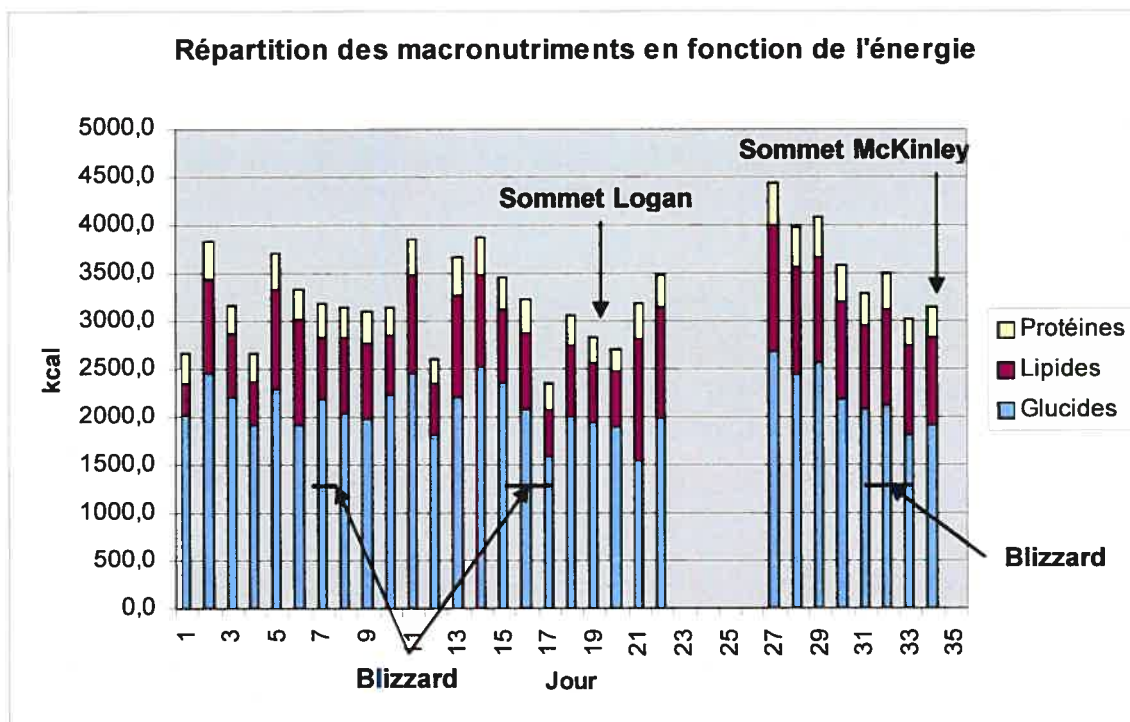


Figure 19: Répartition moyenne des macronutriments en fonction de l'énergie

5.2.5 Apport hydrique

L'hydratation moyenne notée pendant l'expédition est de $5,0 \pm 0,6$ L par jour. L'apport hydrique a diminué de façon constante lors de l'ascension du mont Logan pour ensuite remonter vers les valeurs moyennes lors de l'ascension du mont McKinley, tel que le montre la figure 20. La figure 21 représente l'apport hydrique moyen des sujets en cours de l'expédition. L'apport le plus bas, soit 3,9 L, a été observé lors de la descente du sommet du mont Logan vers le camp 2. À noter qu'il n'y a pas de différence significative entre les apports hydriques moyens sur les monts Logan et Mckinley ($p>0,05$).

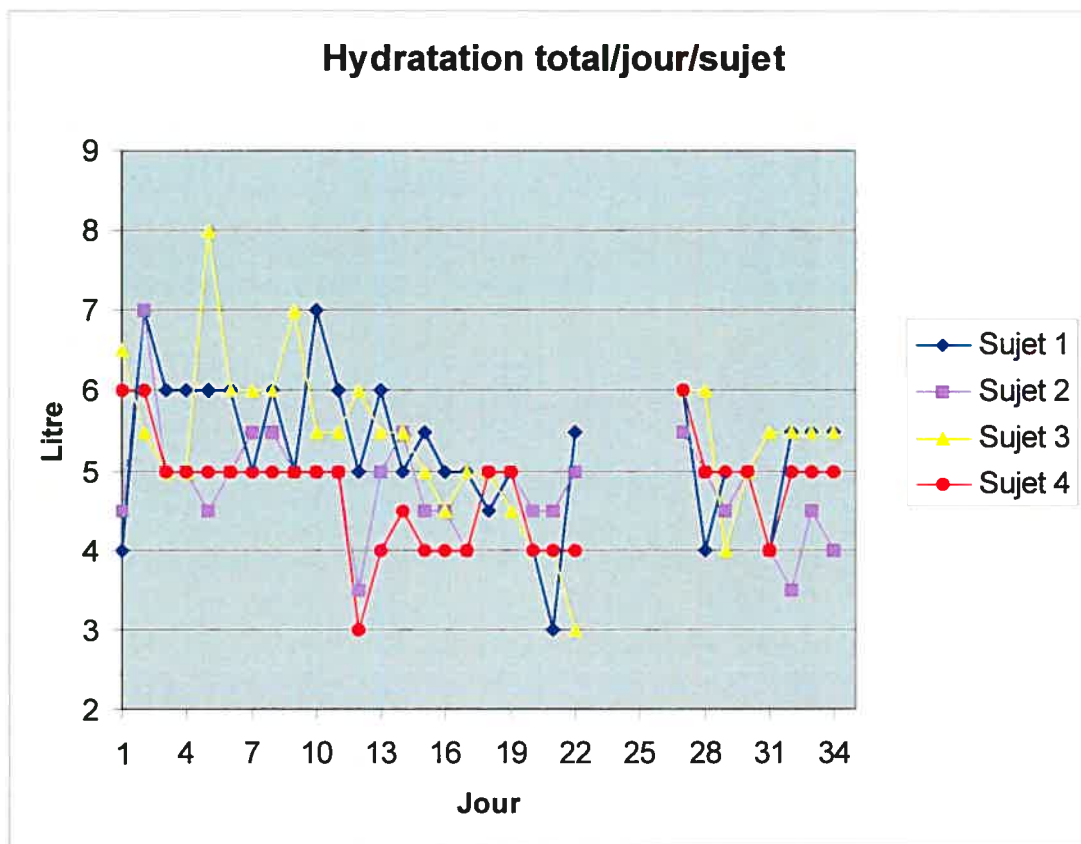


Figure 20: Hydratation totale par jour par sujet

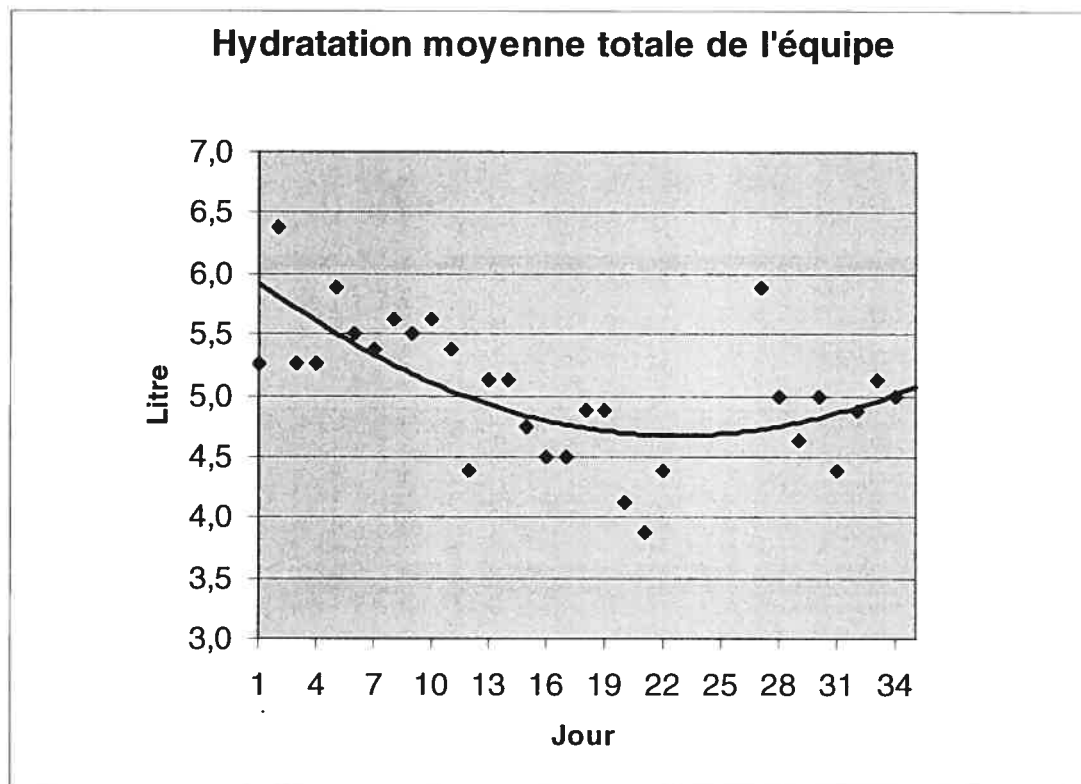


Figure 21: Hydratation totale moyenne de l'équipe

Les sujets se sont hydratés principalement au dîner ($1,9 \pm 0,2$ L). À ce moment de la journée, le liquide disponible est celui qui a été préparé lors de la fonte d'eau du déjeuner, où l'on observe le deuxième apport hydrique le plus important de la journée ($1,7 \pm 0,3$ L). Le tableau XX montre la variation de l'hydratation en litres à différents moments de la journée.

Tableau XX: Variation de l'hydratation à différents moments de la journée (litres)

Sujet	Déjeuner	Dîner	Souper	Total
1	$1,8 \pm 0,6$	$2,0 \pm 0,5$	$1,5 \pm 0,4$	$5,3 \pm 0,9$
2	$1,7 \pm 0,5$	$1,7 \pm 0,4$	$1,4 \pm 0,5$	$4,8 \pm 0,7$
3	$1,8 \pm 0,4$	$2,1 \pm 0,6$	$1,5 \pm 0,5$	$5,4 \pm 1,0$
4	$1,3 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,4$	$1,6 \pm 0,3$	$4,8 \pm 0,7$
Moyenne \pm écart-type	$1,7 \pm 0,3$	$1,9 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,3$	$5,0 \pm 0,6$

Le dîner représente la période entre le déjeuner et le souper. Aucun arrêt n'était prévu pour le dîner.

6 Influence de l'environnement sur les apports

6.1 Altitude

6.1.1 Énergie et altitude

La figure 19 représente l'apport énergétique en fonction de l'altitude. On observe qu'il y a une très faible corrélation entre l'augmentation de l'altitude et la diminution des apports énergétiques ($R^2 = 0,0183$).

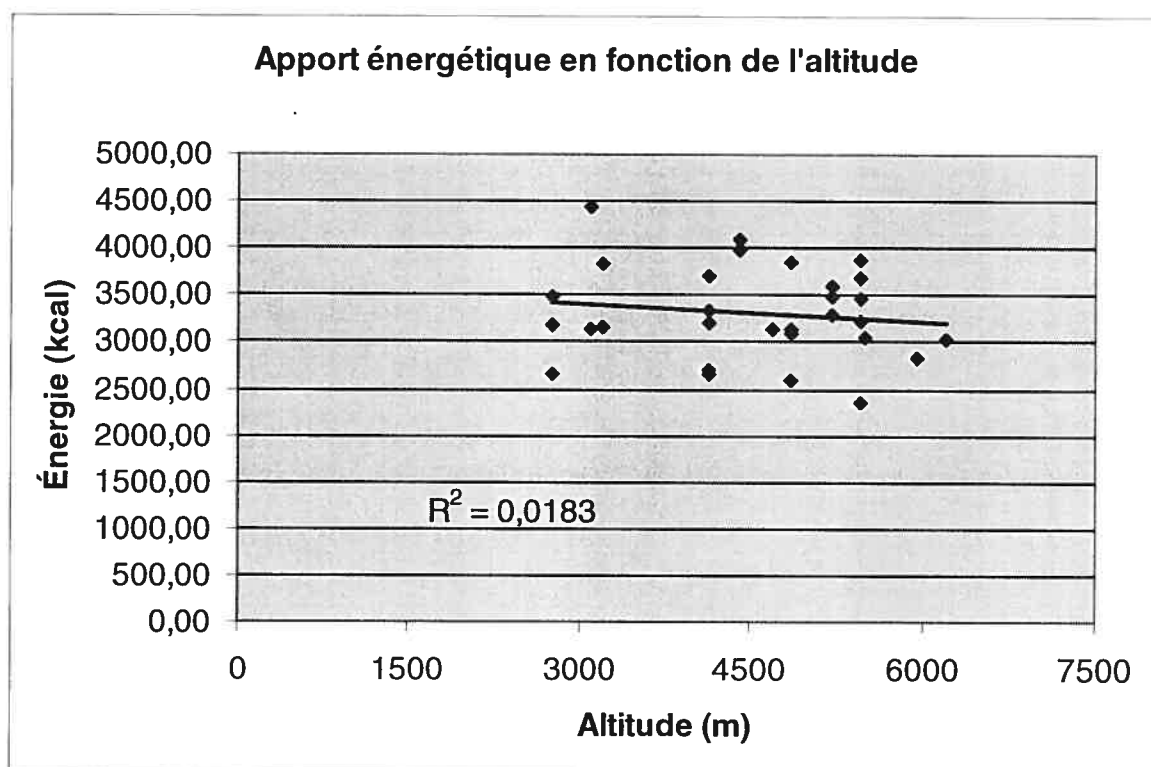


Figure 19 : Apport énergétique en fonction de l'altitude

6.1.2 Macronutriments et altitude

Les figures 22, 23 et 24 représentent les apports glucidiques, lipidiques et protéiques en fonction de l'altitude. Tel que noté pour les apports énergétiques totaux, on observe une très faible corrélation entre l'augmentation de l'altitude et la diminution des apports en glucides ($R^2 = 0,0022$) et une faible corrélation entre l'augmentation de l'altitude et la diminution des apports en lipides ($R^2 = 0,0313$) et en protéines ($R^2 = 0,0246$).

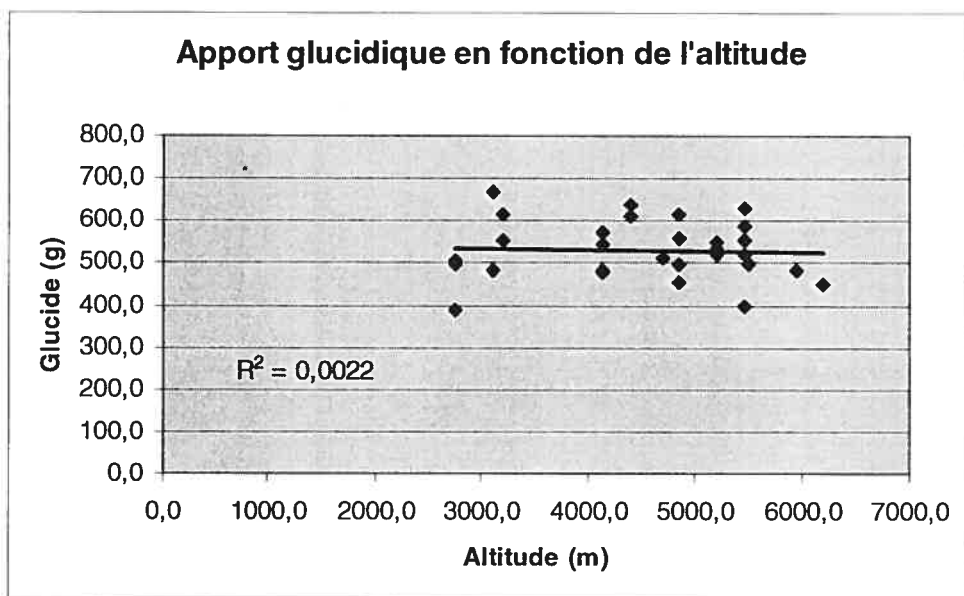


Figure 22: Apport glucidique en fonction de l'altitude

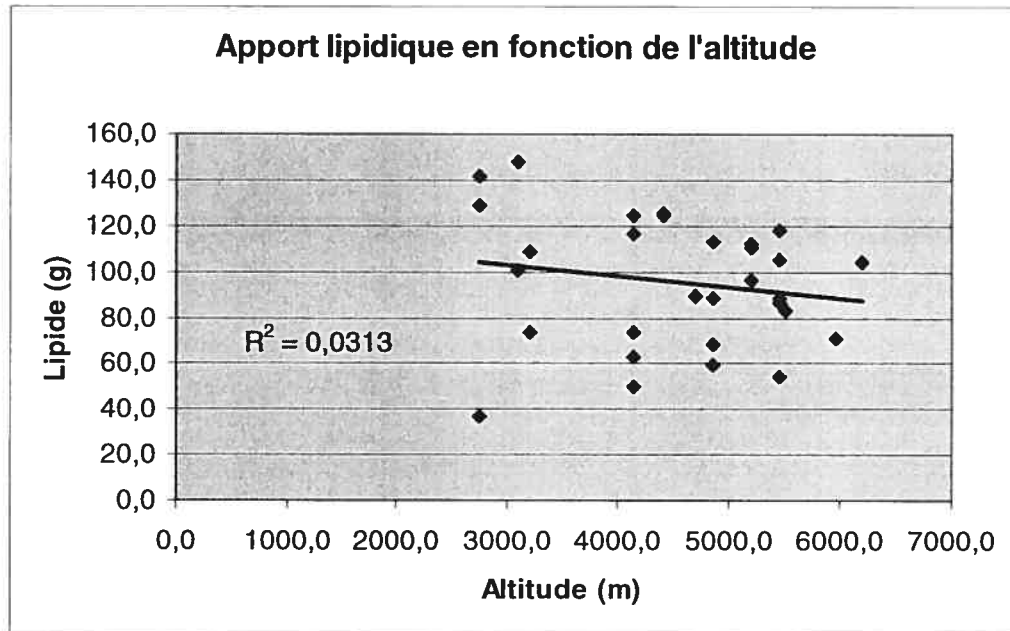


Figure 23: Apport lipidique en fonction de l'altitude

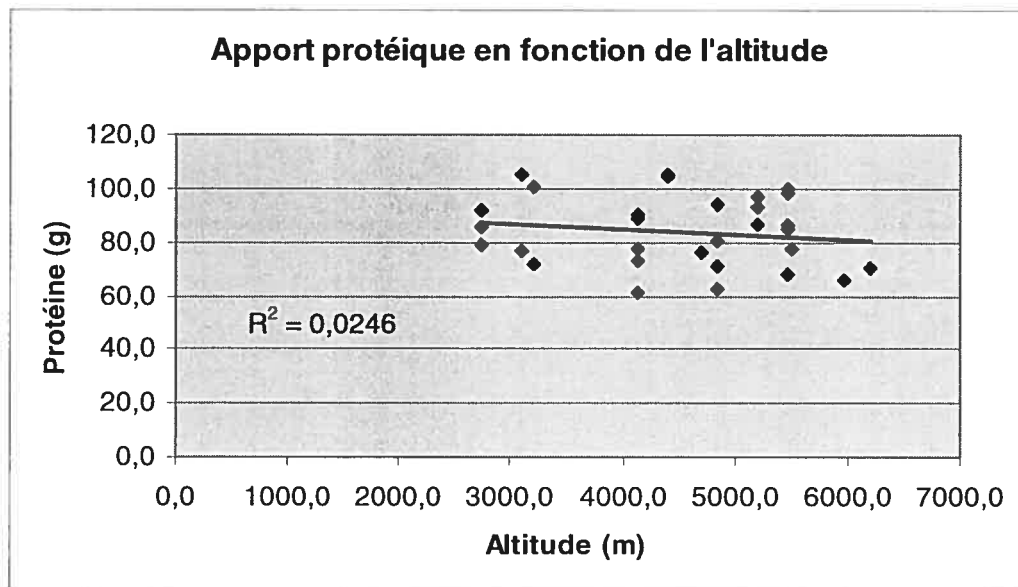


Figure 24: Apport protéique en fonction de l'altitude

6.2 Météorologie

En période de blizzard (tableau XXI), les sujets sont confinés à l'intérieur de leur tente, réduisant ainsi les activités physiques au minimum. À la lumière des résultats obtenus, il semble qu'il n'y ait pas de différence significative entre les apports énergétiques moyens en cours d'expédition et les apports énergétiques obtenus lors des jours de blizzard. La seule différence significative observée se situe entre la moyenne des apports énergétiques de l'expédition et les quatre jours de blizzard du mont Logan ($p < 0,05$).

Tableau XXI: Apport énergétique et météorologie

Description	Apport énergétique
Moyenne de l'expédition	3310 ± 485 kcal
Blizzard total	3142 ± 387,6 kcal
Blizzard Logan (4 jours)	3046 ± 483,8 kcal
Blizzard McKinley (3 jours)	3271 ± 237,1 kcal

7 Habitudes alimentaires

7.1 Effet des changement de sacs

Le tableau XXII représente les apports alimentaires en fonction des différents sacs préparés selon les activités physiques de la journée et le niveau d'intensité prévu. Ainsi, l'apport énergétique varie entre 3220 ± 137 kcal, 3424 ± 327 kcal et 3017 ± 444 kcal pour les jours de repos, les jours intenses et les jours de sommet, respectivement. En moyenne, les sacs renfermaient 4050 kcal. À la lumière des résultats obtenus, il est intéressant de noter que les apports glucidiques et lipidiques, de même que leur proportion respective de l'apport énergétique total et les apports énergétiques totaux sont demeurés inchangés en cours d'expédition, et ce, peu importe le sac sélectionné en fonction de l'activité prévue ($p > 0,05$). Toutefois, en ce qui concerne les apports protéiques, on observe une diminution significative des apports entre les jours de repos et les jours de sommet ($p < 0,05$). Par ailleurs, on observe une diminution significative de la proportion de l'énergie provenant des protéines en fonction de l'augmentation du niveau d'intensité ($p < 0,05$).

Tableau XXII: Apport alimentaire en fonction des sacs préparés

Sac	nb Jour	Énergie kcal	Glucides g	Lipides g	Protéines g
Jours de repos %	12	3220 ± 137 100	515 ± 28 $63,9 \pm 1,9$	89 ± 6 $24,9 \pm 1,7$	$90 \pm 7,6$ $11,2 \pm 0,6$
Jours intenses %	16	3424 ± 327 100	542 ± 50 $63,3 \pm 1,8$	101 ± 13 $26,5 \pm 1,7$	87 ± 9 $10,2 \pm 0,2$
Jours sommet %	2	3017 ± 444 100	492 ± 62 $65,4 \pm 2,4$	86 ± 19 $25,3 \pm 3,0$	70 ± 11 $9,3 \pm 0,7$

7.2 Satisfaction

La figure 25 montre la variation dans le temps des marqueurs de la satisfaction ainsi que de la perception de la faim, qui suivent la même tendance.

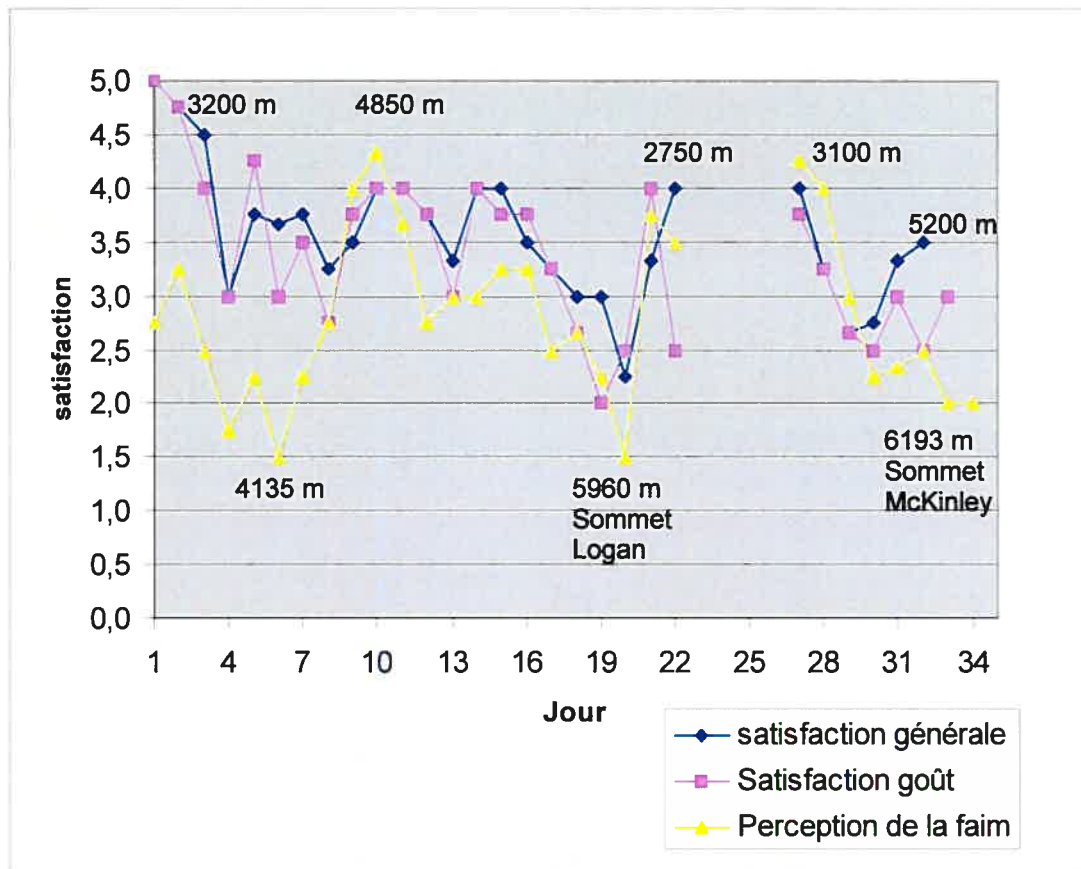


Figure 25: Satisfaction et appétit

La satisfaction a été mesurée à l'aide d'une échelle allant de 1 à 5, où 1=très insatisfait, 2=insatisfait, 3=satisfait, 4=plus que satisfait et 5=très satisfait. La satisfaction générale obtenue a été de $3,6 \pm 0,6$, alors que la satisfaction pour le goût a été de $3,4 \pm 0,7$. La perception de la faim et de la soif a été mesurée à l'aide d'une échelle semblable, où 1=très faible désir de s'alimenter et de s'hydrater et 5=très fort désir de s'alimenter et de s'hydrater. Les valeurs de perception obtenues ont été de $2,8 \pm 0,8$ et de $3,2 \pm 0,5$ pour la faim et la soif, respectivement. Par ailleurs, il n'y a pas de différence statistiquement

significative pour la satisfaction générale et pour le goût ainsi que pour la perception de soif et de faim, entre les monts Logan et McKinley ($p>0,05$).

7.3 Description des aliments non consommés

En ce qui concerne les raisons invoquées et compilées au journal de bord par les grimpeurs pour expliquer la non-consommation d'un aliment prévu au menu, la première place est occupée par l'appétit (39,1 %), la deuxième par les échanges entre sujets ou membre d'autres expéditions (32,7 %) et la troisième par le goût (8,2 %). De façon intéressante, les aliments non consommés dû aux changements des propriétés organoleptiques tels que des aliments gelés, trop durs, cassants, détrempés et les aliments perdus dans la neige ont été regroupés dans la section « environnement » et ne représentaient qu'environ 1,7 % des raisons invoquées. Le 18,2 % restant est expliqué par les raisons autres telles que les troubles digestifs et l'absence de pause pour s'alimenter afin d'atteindre un objectif précis.

7.4 Consommation des barres énergétiques

La figure 26 montre la consommation quotidienne de barres énergétiques. Quatre barres par jour, dont les saveurs variaient de façon aléatoire, avaient été prévues pour chaque sujet lors de la planification du menu. Chaque jour, les sujets avaient à leur disposition des barres de quatre compagnies différentes afin de limiter la monotonie. La non-consommation des barres énergétiques a été la principale source de reste lors de l'expédition et est partiellement responsable du déficit énergétique observé chez les quatre grimpeurs. La quantité moyenne de barres consommées quotidiennement par l'équipe en cours d'expédition est d'environ $10,5 \pm 2,9$ sur un total de 16, soit une consommation de $65,3 \pm 18 \%$ des barres prévues, se répartissant comme suit :

- Energy-to-Go: $3,77 \pm 1,2$ sur une quantité prévue de 4 barres
- Peak Bar: $2,66 \pm 1,1$ sur une quantité prévue de 4 barres
- Marco Bar: $2,24 \pm 1,2$ sur une quantité prévue de 4 barres
- Cliff Bar: $1,78 \pm 1,2$ sur une quantité prévue de 4 barres

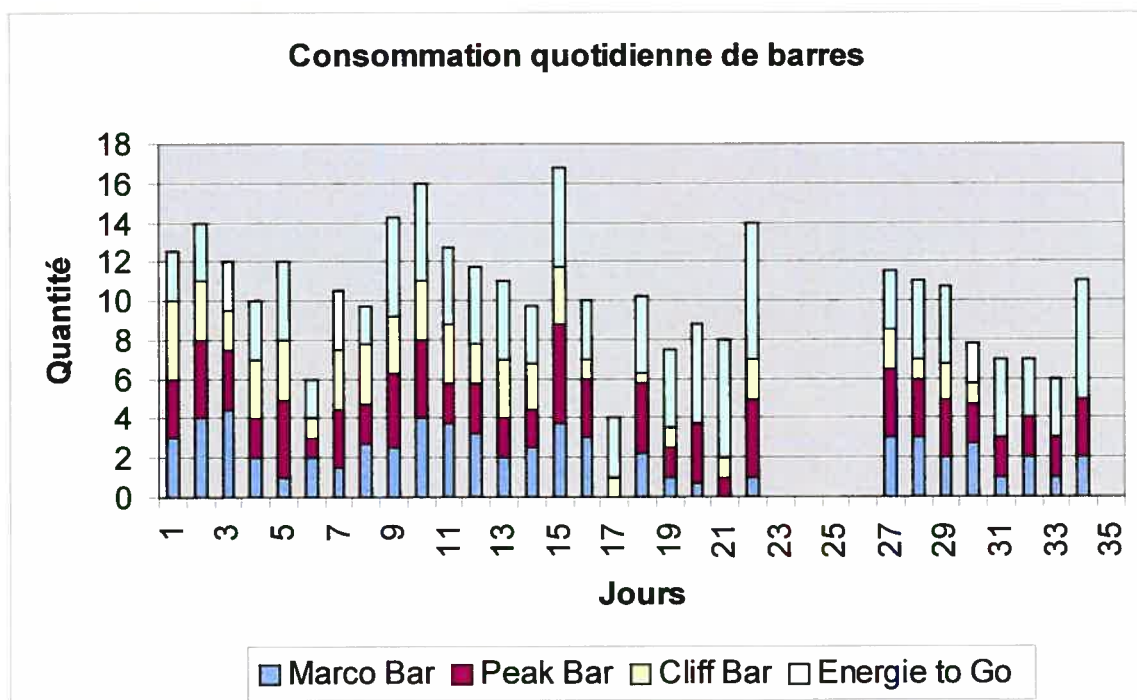


Figure 26: Figure Consommation quotidienne de barres

Il est intéressant de constater que la barre la plus consommée par les sujets, la barre Energy-to-Go, est la plus différente des quatre barres sélectionnées du point de vue sensoriel. En fait, contrairement aux trois autres barres utilisées qui ont une texture granuleuse et sèche, la barre Energy-to-Go, composée de purée de fruits déshydratés, est plus humide et tendre. De plus, les saveurs sont facilement identifiables et se rapprochent du goût réel des fruits naturels. Bien que les sujets n'ont donné aucune explication permettant de comprendre la forte consommation des barres Energy-to-Go lors des discussions post-expédition, ils ont rapporté qu'ils auraient aimé avoir des fruits séchés au menu (Annexe 5).

7.5 Groupe de discussion post-expédition / Rétroaction post-expédition

Les commentaires liés au protocole nutritionnel ont été recueillis lors d'une rencontre de rétroaction post-expédition, afin de faire un bilan des points à améliorer en vue de futures expéditions. Les commentaires ont été regroupés et classés en huit tableaux portant sur la quantité, la variété, l'ensachage et l'emballage, les mets lyophilisés, les barres, les vivres de courses, l'hydratation, les saveurs de préférence ainsi que la section autre. Ces tableaux se retrouvent à l'annexe 5.

E DISCUSSION

1 Objectifs de l'étude

Ce projet visait à améliorer les connaissances dans le domaine de la nutrition lors d'expédition en régions éloignées au froid et en altitude. Les objectifs de ce projet étaient premièrement d'identifier les facteurs ayant une influence sur les apports nutritionnels afin d'augmenter les apports énergétiques et ainsi, minimiser la perte de poids associée à de telles expéditions, deuxièmement de développer un menu et un ensemble de recommandations adaptés aux conditions d'expédition et troisièmement de développer une technique simple et fiable d'évaluation des apports alimentaires. La discussion traitera de la compilation des apports nutritionnels à l'aide du journal de bord, de la composition corporelle, des apports alimentaires et des facteurs influençant l'alimentation et enfin, des recommandations et des suggestions pour expéditions et études futures.

2 Détermination des apports à l'aide du journal de bord

Les données recueillies pour ce projet, à l'exception de celles sur la composition corporelle, proviennent toutes du journal de bord qui a été spécifiquement conçu pour cette expédition. Les sujets d'étude en altitude ont tendance à sous-estimer leurs apports alimentaires (Hoyt, 1994; Pulfrey, 1996; Reynolds, 1998; Westerterp, 2001). Cette propension à la sous-estimation tend à s'accroître avec l'augmentation des apports (Reynolds, 1998), les informations rapportées doivent donc être considérées comme des minimums et non comme la quantité exacte consommée (Reynolds, 1998). Cette sous-estimation chronique peut être expliquée par différentes raisons, notamment par le manque de formation et d'éducation, par les difficultés pour l'estimation des portions et pour la compréhension des étiquettes nutritionnelles, par les problèmes de concentration et de mémoire et par la motivation psychosociale (Reynolds, 1998; Heymsfield et coll., 1995)

Ainsi, les chances d'avoir des inexactitudes dans les journaux alimentaires dans cette étude sont réduites par l'utilisation d'aliments pré-pesés et emballés individuellement par les deux chercheurs. De plus, deux séances d'informations sur la collecte de données ont été données aux membres de l'expédition avant le départ. La technique par soustraction est principalement utilisée lors d'expéditions en autonomie complète et par les militaires qui utilisent des rations alimentaires standardisées (Hoyt, 1994; Pulfrey, 1996; Zamboni, 1996). L'environnement associé à l'expédition (montagne isolée) procure aux chercheurs l'assurance qu'aucun aliment ou boisson autre que ceux prévus dans le protocole n'a été consommé par les sujets. Malgré tout, entre le mont Logan et le mont McKinley, les participants se sont procuré des barres de chocolat, soit deux par jour par sujet jusqu'à la fin de l'expédition, ce qui peut influencer les résultats sur la satisfaction et la satiété sensorielle spécifique et modifier les apports énergétiques et la répartition en macronutriments. À noter que dans le journal de bord, une section était prévue à cet effet, permettant l'ajout ou l'échange d'aliments non-prévus au protocole.

3 Composition corporelle

Les résultats de notre étude en ce qui concerne les changements de la composition corporelle, plus particulièrement la perte de poids, concordent avec les connaissances scientifiques actuelles (Askew, 1995; Bales et coll., 1993; Butterfield et coll., 1992; Chao et coll., 1999; Edwards et coll., 1998; Gullledge et coll., 2003; Hoyt et coll., 1994; Mawson et coll., 2000; Pulfrey et Jones, 1996; Reynolds et coll., 1998; Reynolds et coll., 1999; Schmidt et coll., 2002; Tanner et Stager, 1998; Westerterp et coll., 1992; Westerterp et coll., 1994; Worme et coll., 1991; Zamboni et coll., 1996). En effet, la perte pondérale significative de 4,1 % observée chez nos sujets correspond exactement à la valeur médiane de l'intervalle de perte de poids rapporté tant en laboratoire (chambre hypobare) qu'en expédition, variant de 1,9 à 9,6 %. La perte de poids plus importante observée sur le mont Logan comparativement au mont McKinley laisse croire à

une possible déshydratation. Par contre, les sujets ont eu entre deux jours de repos (sujets 1 et 2) et quatre jours de repos (sujets 3 et 4) avant la pesée, ce qui laisse amplement le temps pour se réhydrater. Les sujets 3 et 4 ont quitté la montagne en dernier et sont donc possiblement plus déshydratés. Cependant, ce sont ces deux sujets qui présentent la plus faible perte de poids (moyenne de 6,9 kg pour les sujets 1 et 2 et de 5,5 kg pour les sujets 3 et 4). Par ailleurs, un délai de trois jours suite à la sortie du mont McKinley avant la pesée à l'Université de Calgary peut expliquer la réduction de l'effet de la déshydratation sur le poids. Le niveau d'hydratation peut aussi influencer l'évaluation de la composition corporelle lors de telles expéditions, particulièrement la technique des plis cutanés (Fulco et coll., 1985; Reynolds et coll., 1999; Pulfrey et Jones, 1996). Encore une fois, ce risque est minimisé par la période de repos de trois jours entre la sortie du mont McKinley et la mesure des plis cutanés à l'Université de Calgary. Suite à l'absence de différence significative entre les mesures obtenues par le DXA et la technique des plis cutanés avant le départ, la technique des plis cutanés a été sélectionnée pour l'analyse de la composition corporelle pré- et post-expédition, cette technique étant plus susceptible d'être utilisée lors d'expédition en régions éloignées que le DXA.

Contrairement aux études de Boyer et Blume (1984), Guillard et Klepping (1985) et Rose et coll. (1990), qui démontrent que la masse maigre semble être perdue à un rythme plus élevé que le tissu adipeux, il semble que les sujets de notre étude ont plutôt montré une diminution significative de la masse grasse et une augmentation significative de la masse maigre. Cette observation est en accord avec le phénomène d'épargne de la masse maigre rapporté par Reynolds et coll. (1999), Bales et coll. (1993), Zamboni et coll. (1996) et Worme et coll., (1991), qui attribuent la préservation de la masse maigre à l'exercice intense. Le lien entre les changements de la composition corporelle et les apports énergétiques des sujets de cette étude est abordé par Gauthier (2005).

La perte de poids observée dans cette étude peut s'expliquer par trois mécanismes distincts, soit la diminution des apports énergétiques, l'augmentation de la dépense énergétique et la présence de malabsorption intestinale. En ce qui concerne la malabsorption, il ne semble pas que ce facteur ait influencé la perte de poids, les sujets n'ayant rapporté aucun trouble digestif, mis à part un épisode de vomissement au jour 11 chez un seul des sujets. En ce qui concerne l'augmentation de la dépense énergétique, le menu a été développé pour fournir 4000 à 4500 kcal/jour. Ces valeurs découlent de l'estimation de la dépense énergétique en fonction de la composition corporelle des sujets, du type d'exercice prévu (ski et marche en montagne), du type de sol (neige et glace) et de la charge à porter, soit environ 35 kg par sujet, afin de combler l'augmentation de la dépense énergétique. Ces valeurs sont en accord avec les travaux de Edwards et coll., 1995 et Tharion et coll., 2005. Il reste donc la diminution des apports pour expliquer la perte de poids encourue chez nos athlètes.

4 Apports alimentaires

4.1 Énergie

Les résultats de l'étude n'ont pas montré de différence significative pour les apports énergétiques entre la période pré-expédition et pendant l'expédition, mais une tendance à la hausse a été notée en cours d'expédition. Cette observation contraste avec l'étude de Butterfield et coll. (1992) qui rapportent une corrélation entre les apports alimentaires au niveau de la mer et ceux en altitude, lesquels sont diminués d'environ 180 kcal/jour, peu importe l'altitude. Les résultats obtenus diffèrent également de ceux de Zamboni et coll. (1996), qui mentionnent une diminution des apports de 785 kcal entre le niveau de la mer et le camp de base à 4500 m d'altitude et de 1350 kcal avec le sommet à 7500 m. De même, cette diminution des apports a aussi été observée en chambre hypobare par Westerterp-Platenga et coll. (1999), où les apports énergétiques

sont passés de 3215 kcal au niveau de la mer à 2857 kcal à 5000 m et à 2500 kcal à 6000 m d'altitude. Les différences observées dans l'étude actuelle peuvent s'expliquer par le désir de performance des sujets, tant au niveau de l'expédition que pour le succès du projet de recherche, par l'information qui leur a été transmise ainsi que par la logistique alimentaire de cette expédition (préparation de rations par deux nutritionnistes).

Dans cette étude, les besoins énergétiques ont été estimés à 5000 kcal pour les jours de sommet, 4500 kcal pour les jours intenses et 3000 kcal pour les jours de repos. Ces valeurs sont en accord avec celles des études de Butterfield et coll. (1992), Edwards et coll. (1998), Hoyt et coll. (1994), Pulfrey et Jones (1996), Reynolds et coll. (1998), Tharion et coll. (2005), Westerterp et coll. (1992), Westerterp et coll. (1999) et sont probablement des données fiables pour ce genre d'expédition. Le déficit énergétique observé a été estimé à partir de la perte pondérale basée uniquement sur la perte de tissus adipeux, compte tenu des résultats obtenus par l'analyse de la composition corporelle. Le déficit représente 7700 kcal par kilogramme de masse grasse perdue ou $665,5 \pm 274,4$ kcal par jour d'expédition. Par ailleurs, il a été noté que l'addition de l'apport énergétique moyen (3310 ± 485 kcal) et du déficit énergétique calculé à partir de la perte de poids donne une valeur qui se rapproche de l'apport énergétique prévu. Par conséquent, l'estimation des besoins énergétiques se rapprochait des besoins réels. La consommation de la totalité des aliments prévus par les sujets aurait donc théoriquement permis de minimiser la perte de poids qui a été observée dans cette étude.

4.2 Macronutriments

En ce qui concerne les macronutriments, une augmentation significative des apports en glucides a été notée, allant de $380 \pm 33,1$ g/jour ($5,2$ g/kg) en pré-expédition à $529,0 \pm 69$ g/jour ($7,6$ g/kg) pendant l'expédition. De même, une diminution significative de l'apport protéique a aussi été observée soit de $108,4 \pm 15,2$ g/jour à $84,0 \pm 13$ g/jour, entre les périodes pré- et pendant l'expédition, respectivement. Contrairement aux glucides et aux protéines, les apports en lipides semblent avoir diminués, mais de façon non-significative seulement. Ces modifications dans les apports en macronutriments se traduisent par des changements significatifs dans la proportion de l'apport énergétique provenant des glucides, des lipides et des protéines, entre les périodes pré- et pendant l'expédition. Ainsi, la proportion de l'apport énergétique provenant des glucides est passée de $52,2 \pm 1,0$ % à $64,7 \pm 5,6$ %, alors que celle des lipides a chuté de $33,1 \pm 1,6$ % à $25,1 \pm 5,6$ % et celle des protéines de $15,2 \pm 2,0$ à $10,2 \pm 0,84$ %. Ces résultats ne concordent pas avec ceux de Gullette et coll. (2003) qui, malgré une diminution des apports énergétiques, ne rapportent pas de changement dans la répartition des macronutriments lors d'une expédition de deux semaines sur le mont McKinley. La même constatation a été faite en chambre hypobare par Westerterp et coll. (1999) pendant l'opération Everest III. Cependant, les changements observés dans cette étude ont été influencés par la composition du menu, qui favorisait volontairement les glucides au détriment des lipides, afin de profiter des avantages associés à la consommation des glucides en altitude. Parmi ceux-ci, notons l'augmentation du quotient respiratoire de 0,7 à 1,0 et de la pression alvéolaire d'oxygène, facilitant la diffusion de l'oxygène de l'air vers le sang. Enfin, les glucides sont un carburant de prédilection pour les muscles à l'effort.

L'ajout de barres de chocolat non prévues au menu pendant l'ascension du mont McKinley a entraîné une augmentation significative de l'apport énergétique (de 3193 ± 435 kcal à 3630 ± 495 kcal), des apports en lipides (de $88 \pm 28,1$ g à

114,9 ± 16,7 g) et une augmentation non-significative des apports glucidiques. Par ailleurs, une augmentation significative de la proportion de l'énergie provenant des lipides a également été notée, passant de 23,9 ± 6,0 % à 28,1 ± 1,1 %. Ces résultats sont en accord avec les études de Zamboni et coll. (1996) et de Reynolds et coll. (1998), qui rapportent que les sujets tendent spontanément vers une diète de composition en macronutriments similaire, avec une répartition de 55 à 60 % de l'énergie provenant des glucides, 25 à 30% des lipides et 12 à 15% des protéines.

De même, on remarque que les sujets n'ont pas développé plus d'appétit pour les glucides, et généralement, ils ont même trouvé le déjeuner trop sucré (gruau, céréale et Déjeuner Instant). Ces résultats concernant l'appétit pour les glucides sont en accord avec les études de Butterfield et coll. (1992), Chao et coll. (1999), Gullidge et coll. (2003), Edwards et coll. (1994), Reynolds et coll. (1998), Rose et coll. (1988), Westerterp et coll. (1999), Westerterp (2001) et Zamboni et coll. (1996). Malgré le fait que l'apport en glucides ait augmenté de façon non significative entre les monts Logan et McKinley, on observe une diminution significative de l'apport énergétique provenant des glucides de 66,0 ± 10,0 % sur le mont Logan à 61,5 ± 1,4 % sur le mont McKinley. Par ailleurs, lors de la rencontre post-expédition, les sujets ont rapporté un désir accru pour des aliments ayant un contenu lipidique et sodique plus élevé, particulièrement lors des jours de repos. Ce désir pour les lipides en altitude a aussi été rapporté par Reynolds et coll. (1998) et Reynolds (2005).

Il semble que malgré la diminution significative de l'apport protéique, qui est passée de 1,5 g/kg en pré-expédition à 1,2 g/kg en cours d'expédition, la balance azotée a été maintenue, tel que démontré par le gain de masse maigre (1,16 ± 0,32 kg) observé chez les sujets, ce qui concorde avec les données de Butterfield et coll. (1992), Mawson et coll. (2000) et Askew et coll. (1987). Ainsi, il semble que l'effet catabolique de l'hypoxie, engendré par des changements hormonaux tels que l'augmentation des taux de cortisol, d'adrénaline et de noradrénaline ainsi que la réduction du taux d'insuline (Edwards et coll., 1995;

Mazzeo et coll., 1998; Narici et Kayser, 1995) a été compensé par l'effet d'épargne de la masse maigre en relation à l'exercice intense rapporté par Reynolds et coll. (1999), Bales et coll. (1993), Zamboni et coll. (1996) et Worme et coll. (1991). L'analyse de la balance azotée demeure limitée, considérant le fait qu'il n'y a pas eu de dosage hormonal ni de bilan azoté effectué chez nos sujets.

5 Facteurs influençant les apports alimentaires

5.1 Anorexie de l'altitude

Un des facteurs étudiés pour expliquer la diminution des apports alimentaires en altitude est l'hypoxie engendrée par la haute et la très haute altitude. Lors de cette expédition, il ne semble pas que l'altitude ait été le facteur principal pouvant expliquer les changements observés dans l'apport énergétique. La corrélation entre l'augmentation de l'altitude et la diminution des apports énergétiques ($R^2 = 0,0183$) est faible, de même que celle entre l'augmentation de l'altitude et la diminution des apports en glucides ($R^2 = 0,0022$), en lipides ($R^2 = 0,0313$) et en protéines ($R^2 = 0,0246$). La tendance à la baisse des apports énergétiques en fonction de l'altitude notée dans cette étude est en accord avec les travaux de Rose et coll. (1988) et de Westerterp et coll. (1999), effectués en chambre hypobare, qui rapportent une diminution des apports énergétiques à chaque nouveau palier d'altitude simulé. Une réduction des apports en fonction de l'altitude a aussi été observée par Boyer et Blume (1984), Reynolds et coll. (1998), Westerterp et coll. (1994) et Zamboni et coll. (1996). Dans la présente étude, cette absence de corrélation entre les apports énergétiques et l'altitude peut s'expliquer par l'altitude moyenne relativement faible à laquelle les sujets ont été exposée pendant l'expédition (4064 m) ainsi que par le court laps de temps passé autour des 6000 m. En effet, c'est entre les paliers de 6000 à 7000 m, de 7000 à 8000 m et de 8000 m et plus que se fait ressentir l'impact le plus important de l'altitude sur les apports alimentaires, tant en chambre

hypobare qu'en expédition (Rose et coll., 1988; Westerterp et coll., 1999; Boyer et Blume, 1984; Reynolds et coll., 1998; Westerterp et coll., 1994 et Zamboni et coll., 1996).

De même, un des facteurs pouvant expliquer la diminution des apports énergétiques en altitude serait une diminution de l'appétit. D'ailleurs, cette raison est la plus fréquemment invoquée (39,1 %) au journal de bord des grimpeurs pour expliquer la non-consommation d'un aliment. Westerterp et coll. (1999), dans leur étude sur l'appétit conduite en chambre hypobare, ont également rapporté une diminution de l'appétit et une augmentation de la satiété précoce en fonction de l'altitude. Un changement dans la fréquence des repas et des collations et une augmentation des actes alimentaires de 4 ± 1 à 7 ± 1 par jour, augmentant ainsi l'apport énergétique provenant des collations de 8,2 % à 23 %, a aussi été remarqué (Westerterp et coll., 1999). L'auteur avance que cette augmentation de la fréquence des repas pourrait être fonctionnelle et favoriser les apports alimentaires dans un contexte où la satiété est précoce. Dans l'étude actuelle, la perception de la faim est diminuée et établie à $2,8 \pm 0,8$ sur cinq. La perception de la faim est à son plus bas les jours de sommet, probablement parce que le niveau d'activité physique est élevé lors de ces journées. De façon intéressante, la satisfaction générale obtenue a été de $3,6 \pm 0,6$ et la satisfaction du goût de $3,4 \pm 0,7$. Ces deux concepts varient de façon similaire en fonction de la perception de la faim.

5.2 Satiété sensorielle spécifique

Le principal commentaire obtenu lors de la rencontre post-expédition concerne la variété et 15 commentaires se rapportent à ce point dans l'annexe 4. Les sujets associent la diminution de l'appétit au manque de variété, ce qui est en accord avec les études de Hirsch et coll. (2005), de Sorensen et coll. (2003) et de Rolls et coll. (1981). Ces auteurs rapportent une diminution de l'appétit et des apports énergétiques, pouvant aller de 300 à 700 kcal, en lien avec une diminution de la variété.

Dans l'étude actuelle, les taux de satisfaction maximale, tant pour le goût que pour la satisfaction générale, ont été enregistrés dans les premiers jours de l'expédition. Ce phénomène est également observé chez les soldats et les réfugiés, où les nouveaux arrivants sont toujours plus satisfaits du menu que ceux y étant plus habitués (Rolls et de Waal., 1985 et Rolls, 2005). Le manque de variété rapporté par les sujets de cette étude se situe à plusieurs niveaux dans la planification du menu. Ainsi, les sujets auraient voulu un menu différent pour chaque montagne, avec un changement dans les marques de produits. En effet, les sujets rapportent qu'après 20 jours sur le mont Logan, ils n'en pouvaient plus de manger les mêmes aliments et c'est à ce moment de l'expédition que la perception de la faim, la satisfaction et les apports énergétiques ont été les plus bas. Cependant, il faut mentionner que sur le mont Logan, plusieurs facteurs sont intervenus de façon simultanée, notamment aux jours 19 et 20, pour expliquer la diminution de l'appétit. Parmi ceux-ci, notons le nombre de jours sur la montagne, l'altitude maximale atteinte, l'épuisement et la monotonie de la diète. Il est à noter que c'est également durant cette période de l'expédition que l'activité physique a été la plus intense. Ces observations sont en accord avec les études effectuées sur les RPM pour les soldats, où l'apport énergétique diminue en fonction du temps de la mission (Friedel et Hoyt, 1997).

Le manque de variété est aussi rapporté au niveau des saveurs. En effet, les sujets se plaignent d'avoir trop d'aliments sucrés au menu et pas suffisamment d'aliments salés et gras. C'est le principe du « contraste dynamique » qui s'applique ici, où une association de textures et de saveurs différentes, par exemple sucré/salé, chaud/froid, croustillant/pétillant accroissent l'acceptabilité des aliments et conséquemment, l'appétit. (Hyde et Witherly, 1993 et Guinard et coll., 1998). Par ailleurs, le fait que les sujets ont acheté des barres de chocolat entre les monts Logan et McKinley, et ce malgré qu'ils ne devaient consommer que la nourriture qui leur avait été fournie est une indication supplémentaire que le manque de variété est impliquée dans la diminution de l'appétit observée. Les sujets ont démontré de l'appétit pour des aliments nouveaux, c'est-à-dire les barres de chocolat.

Ce sont les barres énergétiques qui ont représenté la majorité des aliments non consommés, avec une consommation de 65 ± 18 % du nombre prévu au menu. C'est également ce groupe d'aliments qui a eu l'impact le plus important sur le déficit énergétique et la perte pondérale observés pendant cette étude. La non-consommation des barres énergétiques peut s'expliquer par le faible contraste dynamique qu'elles offrent ainsi que par leur grande similarité d'une compagnie à l'autre. D'ailleurs, les barres d'une compagnie particulière (*cliff bar*) ont été systématiquement rejetées par les grimpeurs vers la fin de l'expédition. De Graaf et coll. (2005) et Rolls (1995) ont aussi fait cette constatation chez les soldats. Ainsi, si un aliment n'est pas apprécié à sa première consommation, son niveau d'appréciation diminuera à chaque exposition subséquente jusqu'à un rejet total de l'aliment. De plus, les membres d'expéditions, comme les soldats, ont l'habitude d'éliminer ou d'échanger les aliments de leur ration qu'ils n'apprécient plus, ce qui entraîne une réduction de la variété et une monotonie accrue (de Graaf et coll., 2005). L'échange d'aliments entre sujets d'une même expédition et avec les membres d'autres expéditions est la deuxième raison

invoquée (32,7 %) au journal de bord pour expliquer la non-consommation d'un aliment, suivi du manque d'appétit (39,1 %).

5.3 Effets de la météo

Lors des périodes de blizzard, les sujets sont confinés à l'intérieur de leur tente, ce qui réduit leur activité physique au minimum, laissant plus de temps pour la préparation des aliments et pour l'alimentation, ce qui pourrait se traduire par une augmentation des apports. Il est intéressant de noter que l'influence des conditions météorologiques sur les apports alimentaires, lors de ce genre d'expédition, est très peu décrite dans la littérature. À la lumière des résultats obtenus, il ne semble pas y avoir de différence significative entre les apports énergétiques moyens en cours d'expédition et les apports énergétiques obtenus lors des jours de blizzard. Ces résultats contrastent avec le fait que les sujets rapportent avoir plus d'appétit et un désir accru de s'alimenter lors de ces périodes, mais ceci ne se traduit pas en pratique par une augmentation des apports. Cependant, les conditions météorologiques clémentes de cette expédition peuvent possiblement avoir influencé les résultats obtenus, notamment au niveau des apports énergétiques.

De façon intéressante, le froid, la neige, l'humidité et le fait de garder des aliments dans des caches sous la neige ne semblent pas avoir modifié les propriétés organoleptiques des aliments ni leur consommation. À cet effet, la catégorie « environnement » ne représente qu'environ 1,7 % des raisons invoquées dans un contexte de non-consommation d'un certain aliment. Ceci peut s'expliquer par le fait que tous les aliments et matériel d'emballage choisis pour l'expédition ont été préalablement congelés à une température de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, tel que décrit dans la méthodologie de Reynolds et coll. (1998) et testés par les sujets sur le terrain lors d'une sortie de pratique.

5.4 Effets des changements de sacs

Lors de la planification logistique de l'expédition, trois types de sacs ont été préparés, soit 3000 kcal, 4500 kcal et 5000 kcal. Les sujets devaient sélectionner le sac en fonction de l'intensité du niveau d'activité prévu pour cette journée. Cette décision, qui a été prise afin d'assurer un poids d'aliments le plus léger possible, permet d'associer l'apport énergétique avec la dépense énergétique estimée lors de la planification de l'expédition. Il semble que cet exercice n'ait pas donné les résultats escomptés, l'apport énergétique n'étant pas différent en fonction du type de sac et de l'intensité de l'effort fourni. En fait, malgré que les sujets ont choisi le type de sac approprié à l'effort, ceux-ci n'ont pas réussi à consommer entièrement les rations de 4500 et 5000 kcal. La même observation a été faite en ce qui a trait à la quantité de glucides et de lipides consommés ainsi que leur proportion respective de l'apport énergétique total, qui sont demeurés inchangés. En ce qui concerne l'apport protéique, une diminution significative des apports en fonction de l'intensité de l'activité a été notée. L'absence d'effet des changements de sac et des variations de l'intensité dans les apports énergétiques peut s'expliquer par l'apport énergétique quotidien moyen consommé par les sujets lors de l'expédition, qui s'établit à 3310 ± 485 kcal alors que le contenu des sacs « intense » et de « sommet » se situe autour de 4500 et 5000 kcal. Cette absence de l'ajustement des apports énergétiques en fonction de l'intensité, et donc de la dépense, est aussi rapportée par Friedl et Hoyt, 1997. Enfin, en pratique, les sujets semblent avoir toujours consommé l'équivalent d'un sac de repos, comprenant 3000 kcal, ce qui peut possiblement être attribué par une diminution de l'appétit.

La différence observée dans les apports protéiques en fonction de l'intensité de l'activité physique pourrait être expliquée par le fait que lors des jours de sommets, les sujets ne respectaient pas le protocole établi et transportaient seulement des vivres de course, lesquelles étaient composées de barres énergétiques, de gels énergétiques, ainsi que d'un mélange de fruits séchés et

de noix. De plus, les sujets omettaient le repas du souper, généralement le plus riche en protéines, dû à l'épuisement. Les jours de sommets semblent aussi être ceux où l'apport énergétique est le plus faible, malgré que cette différence soit non significative.

6 Recommandations pour expéditions futures

Les observations effectuées lors de cette expédition en autonomie complète au froid et en altitude, dans laquelle les deux plus hauts sommets de l'Amérique du Nord ont été atteints, permettent d'avancer les recommandations suivantes. Premièrement, prévoir un menu à 4000-4500 kcal/jour, avec une répartition en macronutriments correspondant à 55 à 60 % de l'énergie provenant des glucides, 25 à 30 % des lipides et 12 à 15 % des protéines, le tout pesant 1.0 kg maximum par jour, par personne. Deuxièmement, ne pas exclure les aliments riches en lipides et en sel lors de l'élaboration du menu. Les grimpeurs devraient être libres de sélectionner ces aliments, notamment les jours de repos ou de blizzards. En ce qui concerne les jours de sommets, prévoir des suppléments glucidiques sous forme de gel ou de boisson à ajouter à la ration de base. Troisièmement, portionner les aliments dans des sacs individuels étanches et résistants au froid.

L'ensachage individuel permet une meilleure gestion des rations sur la montagne et facilite l'autocontrôle des apports énergétiques. Quatrièmement, porter une attention particulière à la variété, en prévoyant des différences notables entre chaque jour d'expédition, tant pour les saveurs que pour les textures. Ainsi, selon les commentaires des sujets en post-expédition (Annexe 5), il semble que la variété d'un jour à l'autre soit plus importante que celle à l'intérieur d'un même repas. Lors d'expéditions de longues durées, prévoir un changement complet de menu et choisir des aliments de différentes marques de commerce, afin d'éviter le développement d'aversion pour des aliments particuliers. Enfin, si possible, tester les aliments lors d'une pré-expédition, en n'utilisant que le matériel de cuisine qui sera disponible sur la montagne. Ces expériences permettront d'identifier les aliments sensibles au froid ou ceux n'étant pas appréciés par les membres de l'expédition, et de les retirer du menu, le cas échéant.

7 Suggestions pour études futures

La diminution de l'appétit, qui est partiellement due à l'anorexie de l'altitude et à la satiété sensorielle spécifique, semble être le facteur ayant le plus d'influence sur les apports énergétiques en altitude et au froid. L'atteinte du sommet nécessitant plusieurs jours d'ascension, la période en haute altitude correspond habituellement au moment où la monotonie du menu est maximale, cela étant additionné aux effets négatifs de l'anorexie de l'altitude et de la satiété sensorielle spécifique sur l'appétit. Lors d'études futures en altitude, il serait intéressant d'observer les effets sur l'appétit et les apports alimentaires d'un menu spécifiquement formulé pour offrir le plus de variété possible. De même, il serait à propos de vérifier la tolérance d'un menu plus riche en lipides (35 %) lors des périodes de repos et de blizzard, les aliments lipidiques ayant une densité énergétique supérieure et étant souvent perçus comme des aliments de confort. Enfin, il serait aussi intéressant de comparer les apports énergétiques ainsi que la répartition en macronutriments lors d'une expédition où la moitié du groupe recevrait une alimentation en vrac et l'autre groupe recevrait les mêmes aliments, mais ensachés individuellement.

F CONCLUSION

Ce projet, qui visait à améliorer les connaissances dans le domaine de la nutrition lors d'expédition en régions éloignées au froid et en altitude, avait comme objectif principal d'identifier les facteurs psychosociaux et environnementaux qui influencent les apports énergétiques dans de telles conditions. À la lumière des résultats obtenus dans cette étude, il semble que les conditions environnementales, telles que les périodes de blizzards, n'influencent pas les apports énergétiques et que, contrairement à ce qui était attendu, les apports énergétiques ne sont pas corrélés avec l'altitude, bien qu'une tendance à la baisse avec l'augmentation en altitude ait été observée.

De même, des changements dans la consommation en macronutriments, entre la période pré et pendant l'expédition ont été notés. Ainsi, l'apport en glucides a augmenté de façon significative, alors que celui des lipides et des protéines a chuté significativement, entraînant des changements dans la proportion de l'apport énergétique provenant de ces macronutriments. À cet effet, bien que les commentaires post-expédition des sujets de l'étude suggéraient un désir plus grand pour les aliments lipidiques et salés, la proportion de l'apport énergétique total provenant des glucides s'est trouvée augmentée comparativement à la période pré-expédition, à l'instar de ce qui a été noté pour les lipides. Cet écart par rapport à ce qui était attendu peut s'expliquer par le fait que l'élaboration du menu favorisait un apport glucidique élevé au détriment des lipides.

Par ailleurs, il a été avancé que les apports énergétiques peuvent être influencés par la composition du menu et à cet effet, trois types de sacs de densité énergétique différente ont été préparés. Les résultats obtenus ont montré l'absence d'ajustement des apports énergétiques en fonction du niveau d'intensité de l'activité, les sujets ayant consommé en moyenne l'équivalent des sacs conçus pour les journées de repos, avec les apports minimaux les jours de sommets. Les protéines sont les macronutriments les plus touchés par le niveau

d'intensité de l'activité, leur consommation étant diminuée de façon significative avec l'augmentation de l'intensité physique. La consommation accrue de barres énergétiques et autres vivres de course les jours de sommets peut expliquer partiellement cette observation.

L'appétit, lors d'expédition au froid et en altitude, est modulé à plusieurs niveaux et de nombreux facteurs sont impliqués dans sa régulation. Parmi ceux-ci, notons l'hypoxie, la monotonie du menu et la consommation redondante d'aliments de saveurs et de textures similaires ainsi que l'absence fréquente de contraste dynamique. Selon les commentaires post-expédition des sujets, il semble que la prédominance d'aliments sucrés et le manque d'aliments lipidiques et salés soient un facteur limitant l'appétit en expédition. Les barres énergétiques, notamment par le faible contraste dynamique qu'elles offrent, ont été le groupe d'aliments le plus rejeté lors de l'expédition. Étant donné leur forte densité énergétique, la non-consommation de cet aliment peut nuire de façon considérable aux apports énergétiques. Par ailleurs, la durée du séjour sur la montagne combinée avec la satiété sensorielle spécifique ont un effet possiblement synergique sur l'appétit. À cet effet, les premiers jours d'expédition ont été ceux pendant lesquels la satisfaction générale et pour le goût des aliments a été maximale.

Enfin, il semble utopique de croire que tous les facteurs ayant une influence sur l'appétit, et conséquemment, sur les apports énergétiques pourraient être contrôlés lors d'expéditions en altitude et au froid. Ainsi, il est possible de croire que malgré un contrôle rigoureux des nombreux facteurs influençant l'appétit en altitude, l'inappétence secondaire à l'hypoxie serait présente invariablement, entraînant conséquemment des apports énergétiques diminués.

BIBLIOGRAPHIE:

Ainslie P.N., Campbell I.T., Frayn K.N., Humphreys S.M., Maclaren D.P., Reilly T. (2002). Physiological and metabolic responses to a hill walk. *J Appl Physiol*, 92(1):179-187.

Allen T.H., Peng M.T., Chen K.P., Huang T.F., Chang C., Fang H.S. (1956). Prediction of total adiposity from skinfolds and the curvilinear relationship between external and internal adiposity. *Metabolism*, 5(3):346-352.

Askew E.W., Monroe I., Sharp M.A., Siegel S., Popper R. (1986). Nutritional status and physical and mental performance of special operations soldiers consuming the ration, lightweight, or the meal ready-to-eat military field ration during a 30 day field training exercise. USARIEM Tech. Rep. T7-87.US Army res. inst. Environ. med, Natick, MA.

Askew E.W., Claybaugh J.R., Hashiro G.M. (1987). Metabolic effects of dietary carbohydrate supplementation during exercise at 4100m altitude. Natick: US Army res. inst. Environ. med, Natick, MA.

Askew E.W. (1995). Environmental and physical stress and nutrient requirements. *Am J Clin Nutr*, 61 (suppl): 631S-637S.

Askew E.W. (2002). Work at high altitude and oxidative stress: Antioxidant nutrients. *Toxicology*, 180(2): 107-119.

Askew E.W. (2004). Food for high-altitude expeditions: Pugh got it right in 1954-A commentary on the report by L.G.C.E. Pugh: "Himalayan rations with special reference to the 1953 expedition to Mount Everest". *Wilderness Environ Med*, 15(2): 121-124.

Bailey D.M., Davies B. (2001). Acute mountain sickness; prophylactic benefits of antioxidant vitamin supplementation at high altitude. *High Altitude Medicine and Biology*, 2(1): 21-29.

Bales B., Hackney A.C., Coyne J.T., Shaw E., McAninch G., Kramer A., Brownsberger R. (1993). Mountaineering sojourn: effects on body composition of prolonged exposure to high altitude in cold environment. *Wilderness Environ Med*, 4: 32-39.

Barnholt K.E., Hoffman A.R., Rock P.B., Muza S.R., Fulco C.S., Braun B., Holloway L., Mazzeo R.S., Cymerman A., Friedlander A.L. (2005). Endocrine responses to acute and chronic high altitude exposure (4300 m): modulating effects of caloric restriction. *Am J Physiol Endocrinol Metab*; 290: 1078-1088.

Barry P.W., Pollard A.J. (2003). Altitude Illness. *BMJ*, 326(7395): 915-919.

Basnyat B., Murdoch D.R. (2003). High-altitude illness. *Lancet*, 361(9373): 1967-1974.

Beard J.L., Haas J.D., Tufts D., Spielvogel H., Vargas E., Rodriguez C. (1988). Iron deficiency anemia and steady-state work performance at high altitude. *J Appl Physiol*, 64(5):1878-1884.

Beall C.M. (2003). High-altitude adaptations. *Lancet*, 362 Suppl: s14-15.

Bishop S.L., Grobler L.C., Schojoll O. (2001). Relationship of psychological and physiological parameters during an arctic ski expedition. *Acta Astronautica*, 49(3): 261-270.

Bouassida A., Zalleg D., Bouassida S., Zaouali M., Feki Y., Zbidi A., Tabka Z. (2006). Leptin, its implication in physical exercise and training : a short review. *J Sport Sci Med*, 5: 172-181.

Boyer S.J., Blume F.D. (1984). Weight loss and changes in body composition at high altitude. *J Appl Physiol*, 57(5): 1580-1585.

Brouwer E. (1965). Report of sub-committee on constants and factors. In: *Energy Metabolism*, edited by K. I. Blaxter, London: Academic: 441-443.

Butterfield G.E., Gates J., Fleming S., Brooks G.A., Sutton J.R., Reeves J.T. (1992). Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude. *J Appl Physiol*, 72(5): 1741-1748.

Butterfield G.E. (1999). Nutrient requirements at high altitude. *Clin Sports Med*, 18(3): 607-621, viii.

Chao W.H., Askew E.W., Roberts D.E., Wood S.M., Perkins J.B. (1999). Oxidative stress in humans during work at moderate altitude. *J Nutr*, 129(11): 2009-2012.

Consolazio C.F., Nelson R.A., Johnson H.L., Matoush L.O., Krzywicki H.J., Isaac G.J. (1967). Metabolic aspects of acute starvation in normal humans: performance and cardiovascular evaluation. *Am J Clin Nutr*, 20(7): 684-693.

DC, ADA, and ACSM. (2000). Position of Dieticians of Canada, The American Dietetic Association, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Can J Diet Pract Res*, 61(4): 176-192.

Deuster P.A., Gallagher K.L., Singh A., Reynolds R.D. (1992). Consumption of a dehydrated ration for 31 days at moderate altitudes: status of zinc, copper, and vitamin B-6. *J Am Diet Assoc*, 92(11): 1372-1375.

De Graaf C., Kramer F.M., Meiselman H.L., Leshner L.L., Baker-Fulco C., Hirsch E.S., Warber J. (2005). Food acceptability in field studies with US army men and women: relationship with food intake and food choice after repeated exposures. *Appetite*, 44(1): 23-31.

Edwards J.S.A., Askew E.W., King N. (1995). Rations in cold Arctic environments: recent American military experiences. *Wilderness environ Med*, 6: 407-422.

Edwards J.S.A., Askew E.W., King N., Fulco C.S. (1994). Nutritional intake and carbohydrate supplementation at high altitude. *Wilderness environ Med*, 5(1): 20-33.

Edwards J.S., Travis S.P., Dinmore A.L. (1998). Food and nutritional intake at high altitude. *Nutrition and food science*, 1: 5-10.

Friedl K.E., Hoyt R.W. (1997). Development and biomedical testing of military operational rations. *Annu Rev Nutr*, 17: 51-75.

Fulco C.S., Friedlander A.L., Muza S.R., Rock P.B., Robinson S., Lammi E., Baker-Fulco C.J., Lewis S.F., Cymerman A. (2002). Energy intake deficit and physical performance at altitude. *Aviat Space Environ Med*, 73(8): 758-765.

Gauthier J (2005). Effet de 35 jours d'expédition en altitude et au froid en autonomie complète sur l'apport alimentaire et la composition corporelle. Mémoire de maîtrise, université de Montréal.

Glazer J.L., Edgar C., Siegel M.S. (2005). Awareness of altitude sickness among a sample of trekkers in Nepal. *Wilderness Environ Med*, 16(3): 132-138.

Guilland J.C., Klepping J. (1985). Nutritional alterations at high altitude in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 54(5):517-523.

Gulledge A., Nelson C., Hackney A.C., Coyne J.T. (2003). Dietary macronutrient and caloric intake during prolonged exposure to a high altitude and cold environment. *Medycyna sportowa*, 19(5): 173-180.

Guinard J.X., Brun P. (1998). Sensory-specific satiety: comparison of taste and texture effects. *Appetite*, 31(2): 141-157.

Hackett P.H., Yarnell P.R., Hill R., Reynard K., Heit J., McCormick J. (1998). High-altitude cerebral edema evaluated with magnetic resonance imaging: clinical correlation and pathophysiology. *JAMA*, 280(22): 1920-1925.

Hamad N. Travis S.P. (2006). Weight loss at high altitude: pathophysiology and practical implications. *Eur J Gastroenterol Hepatol*, 18(1): 5-10.

Hannon J.P., Klain G.J., Sudman DM., Sullivan F.J. (1976). Nutritional aspects of high-altitude exposure in women. *Am J Clin Nutr*, 29(6): 604-613.

Heymsfield S.B., Darby P.C., Muhlheim L.S., Gallagher D., Wolper C., Allison D.B. (1995). The calorie: myth, measurement, and reality. *Am J Clin Nutr*, 62(5 Suppl): 1034S-1041S.

Hirsch E.S., Kramer M.F. (1993). Situational influences on food intake. In B.M. Marriott (Ed), *Nutritional needs in hot environments*. Washington, DC: National Academy press: 215-243

Hirsch E.S., Kramer M.F., Meiselman H.L. (2005). Effects of food attributes and feeding environment on acceptance, consumption and body weight: lessons learned in a twenty-year program of military ration research US Army Research (Part 2). *Appetite*, 44(1): 33-45.

Hirsh E.S., Meiselman H.L., Popper R.D., Smith G., Jezior B., Lichton I., Wenkam N., Burt J., Fox M., McNutt S., Thiele M.N., Dirige O. (1985). The effects of prolonged feeding Meal, Ready-To-Eat (MRE) operational rations. Technical Report Natic TR-85/035. U.S Army Natick Research and Development Center.

Hoyt R.W., Jones T.E., Baker-Fulco C.J., Schoeller D.A., Schoene R.B., Schwartz R.S., Askew E.W., Cymerman A. (1994). Doubly labeled water measurement of human energy expenditure during exercise at high altitude. *Am J Physiol*, 266: 966-971.

Hyde R.J., Witherly S.A. (1993). Dynamic contrast: a sensory contribution to palatability. *Appetite*, 21(1): 1-16.

ISSM (2006). International society for mountain medicine. Disponible à : <http://www.ismmed.org/np/altitude/tutorial.htm>. Tel qu'accédé le 2006/03/01.

Jutley R.S., Shepherd D.E., Hukins D.W., Jeffrey RR. (2002). Acute ischemic gastritis--an unrecognized hypoxic phenomenon at extreme altitude? *Wilderness Environ Med*, 13(3): 234-235.

Kayser B. (1994). Nutrition and energetic of exercise at altitude. Theory and possible practical implications. *Sports Med*, 17(5): 309-323.

Kayser B. (1992). Nutrition and high altitude exposure. *Int J Sports Med*, 13(suppl 1): S129-S132.

Kayser B. Acheson K., Decombaz J. and al. (1992). Protein absorption and energy digestibility at high altitude. *J Appl Physiol*, 73(6): 2425-2431.

Kleessen B., Schroedi W., Stueck M., Richter A., Rieck O., Krueger M. (2005). Microbial and immunological responses relative to high-altitude exposure in mountaineers. *Med Sci Sports Exerc*, 37(8): 1313-1318.

Kramer F.M. (1995). The physical eating situation. In B.M. Marriott (Ed), *Not eating enough*. Washington, DC: National Academy press: 319-339

Leblanc J., (1975). *Man in the cold*. C.H. Thomas ed., Springfield.

Loshbaugh J.E., Loeppky J.A., Greene E.R. (2006). Effects of acute hypobaric hypoxia on resting and postprandial superior mesenteric artery blood flow. *High Alt Med Biol*, 7(1): 47-53.

Lukaski H.C., Hall C.B., Nielsen F.H. (1990). Thermogenesis and thermoregulatory function of iron-deficient women without anemia. *Aviat Space Environ Med*, 61(10): 913-920.

Maga J.A., Lorenz K. (1972). Effect of altitude on taste thresholds. *Percept Mot Skills*, 34(2): 667-670.

Mazzeo R.S., Donovan D., Fleshner M., Butterfield G.E., Zamudio S., Wolfel E.E., Moore L.G. (2001). Interleukin-6 response to exercise and high-altitude exposure: influence of alpha-adrenergic blockade. *J Appl Physiol*, 91(5): 2143-2149.

Mawson J.T., Braun B., Rock P.B., Moore L.G., Mazzeo R., Butterfield G.E. (2000). Women at altitude: energy requirement at 4,300 m. *J Appl Physiol*, 88(1): 272-281.

McFarland R.A. (1972). Psycho-physiological implication of life at altitude and including the role of oxygen in the process of aging. In Yousef M.K., Horvath S.M., Bullard R.W. Eds *Physiological adaptations: Desert and Mountain*, New York: Academic Pr: 157-181.

McLaughlin J.B., Gessner B.D., Bailey A.M. (2005). Gastroenteritis outbreak among mountaineers climbing the West Buttress route of Denali Denali National Park, Alaska. *Wilderness Environ Med*, 16(2): 92-96.

Milledge J.S. (2002). The "Silver Hut" expedition--a commentary 40 years later. *Wilderness Environ Med*, 13(1): 55-56.

Misner B. (2006). Food alone may not provide sufficient micronutrients for preventing deficiency. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 3(1): 51-55.

Nair C.S., Malhotra M.S., Gopinath P.M. (1971). Effect of altitude and cold acclimatisation on the basal metabolism in man. *Aerosp Med*, 42(10): 1056-1059.

Narici M.V., Kayser B. (1995). Hypertrophic response of human skeletal muscle to strength training in hypoxia and normoxia. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 70(3): 213-219.

Peacock A.J. (1998). Oxygen at high altitude. *Bmj*, 317 : 1063-1066.

Pulfrey S.M., Jones P.J. (1996). Energy expenditure and requirement while climbing above 6,000 m. *J Appl Physiol*, 81(3): 1306-1311.

Purkayastha S.S., Sharma R.P., Ilavazhagan G., Sridharan K., Ranganathan S., Selvamurthy W. (1999). Effect of vitamin C and E in modulating peripheral vascular response to local cold stimulus in man at high altitude. *Jpn J Physiol*, 49(2): 159-167.

Reynolds R.D. (1996). Effect of cold and altitude on vitamin and mineral requirement. Marriott BM, Carlson SJ (eds): *Nutritional Needs in Cold and in High-Altitude Environment*. Washington, DC, National Academy Press: 215-244.

Reynolds R.D., Lickteig J.A., Howard M.P., Deuster P.A. (1998). Intakes of high fat and high carbohydrate foods by humans increased with exposure to increasing altitude during an expedition to Mt. Everest. *J Nutr*, 128(1): 50-55.

Reynolds R.D., Lickteig J.A., Deuster P.A., Howard M.P., Conway J.M., Pietersma A., Destoppelaar J., Deurenberg P. (1999). Energy metabolism increases and regional body fat decreases while regional muscle mass is spared in humans climbing Mt. Everest. *J Nutr*, 129(7): 1307-1314.

Reynolds R.D. (2005). Fat desire and fat intake at extreme altitude: observations from the "On Top Everest '89" Nutrition Research Expedition. *Wilderness Environ Med*, 16(4): 232-233.

Richalet J.P., Souberbielle J.C., Antezana A.M., Dechaux M., Trong J.L., Bienvenu A., Daniel F., Blanchot C., Zittoun J. (1994). Control of erythropoiesis in humans during prolonged exposure to the altitude of 6,542 m. *Am J Physiol*, 266(3 Pt 2): R756-764.

Rodahl K. (1991). Working in the cold. *Arctic Med Res*, 50 Suppl(6): 80-82.

Rodway G.W. (2003). Paul Crews' "Accident on Mount McKinley" A commentary. *Wilderness Environ Med*, 14(1): 33-38.

Rolls BJ, Rolls ET, Rowe EA, Sweeney K. (1981). Sensory specific satiety in man. *Physiol Behav*, 27(1): 137-142.

Rolls B.J., Rowe E.A., Rolls E.T. (1982). How sensory properties of foods affect human feeding behaviour. *Physiol Behav*, 29(3): 409-417.

Rolls E.T., de Waal A.W. (1985). Long-term sensory-specific satiety: evidence from an Ethiopian refugee camp. *Physiol Behav*, 34(6): 1017-1020.

Rolls B.J. (1995). Effects of food quality, quantity, and variety on intake. In B.M. Marriott (Ed). *Not eating enough*. Washington, DC: National Academy press: 203-215.

Rolls E.T., Rolls J.H. (1997). Olfactory sensory-specific satiety in humans. *Physiol Behav*, 61(3): 461-473.

Rolls E.T. (2005). Taste, olfactory, and food texture processing in the brain, and the control of food intake. *Physiol Behav*, 85(1): 45-56.

Rose M.S., Houston C.S., Fulco C.S., Coates G., Sutton J.R., Cymerman A. (1988). Operation Everest. II: Nutrition and body composition. *J Appl Physiol*, 65(6): 2545-2551.

Schmidt M.C., Askew E.W., Roberts D.E., Prior R.L., Ensign W.Y. Jr, Hesslink R.E. (2002). Oxidative stress in humans training in a cold, moderate altitude environment and their response to a phytochemical antioxidant supplement. *Wilderness Environ Med*, 13(2): 94-105.

Scrimshaw N.S., Storch K.J., Hirsch E., Udall J.N., Besrat A., Olivier, W., Rand W. (1984). The evaluation of the tolerability and nutritional value of a currently used combat ration. Final report to the U.S Army Natick Research and Development Center, Contract no: DAAK 60-83-C-0017.

Shils M.E., Shike M., Ross A.C., Caballero B., Cousins R.J. (2006). Modern Nutrition in Health and Disease, tenth edition, Lippincott William & Wilkins, Baltimore.

Simon-Schnass I.M., Pabst H. (1988). Influence of vitamin E on physical performance. *Int J Vitam Nutr Res*, 58(1): 49-54.

Sorensen L.B., Moller P., Flint A., Martens M., Raben A. (2003). Effect of sensory perception of foods on appetite and food intake: a review of studies on humans. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 27(10): 1152-1166.

Sridharan K., Ranganathan S., Mukherjee A.K., Kumria M.L., Vats P. (2004). Vitamin status of high altitude (3660 m) acclimatized human subjects during consumption of tinned rations. *Wilderness Environ Med*, 15(2): 95-101.

Taylor H.L., Henschel A., Mickelsen O., Keys A. (1954). Some effects of acute starvation with hard work on body weight, body fluids and metabolism. *J Appl Physiol*, 6(10): 613-623.

Tanner D.A., Stager J.M. (1998). Partitioned weight loss and body composition changes during a mountaineering expedition: a field study. *Wilderness Environ Med*, 9(3): 143-152.

Tharion W.J., Lieberman H.R., Montain S.J., Young A.J., Baker-Fulco C.J., Delany J.P., Hoyt R.W. (2005). Energy requirements of military personnel. *Appetite*, 44(1): 47-65.

Tschop M., Strasburger C.J., Hartmann G., Biollaz J., Bartsch P. (1998). Raised leptin concentrations at high altitude associated with loss of appetite. *Lancet*, 352(9134): 1119-1120.

Vallerand A.L., Jacobs I., Kavanagh M.F. (1989). Mechanism of enhanced cold tolerance by an ephedrine-caffeine mixture in humans. *J Appl Physiol*, 67(1): 438-444.

Van Ooijen A.M., Van Marken Lichtenbelt W.D., Van Steenhoven A.A., Westerterp K.R. (2005). Cold-induced heat production preceding shivering. *Br J Nutr*, 93(3): 387-391.

Vij A.G., Dutta R., Satija N.K. (2005). Acclimatization to oxidative stress at high altitude. *High Alt Med Biol*, 6(4): 301-310.

West J.B. (1998). High life: a history of high altitude physiology and medicine. Oxford University Press for the American Physiologic Society, pp 493.

West J.B. (2004). The physiologic basis of high-altitude diseases. *Ann Intern Med*, 141(10): 789-800.

Westerterp K.R., Kayser B., Brouns F., Herry J.P., Saris W.H.M. (1992). Energy expenditure climbing Mt. Everest. *J Appl Physiol*, 73(5): 1815-1819.

Westerterp K.R., Kayser B., Wouters L (1994). Energy balance at high altitude of 6,542 m. *J Appl Physiol*, 77(2): 862-866.

Westerterp K.R., Robach P., Wouters L., Richalet J.P. (1996). Water balance and acute mountain sickness before and after arrival at high altitude of 4,350 m. *J Appl Physiol*, 80(6): 1968-1972.

Westerterp-Plantenga M.S., Westerterp K.R., Rubbens M. (1999). Appetite at "high altitude" [Operation Everest III(Comex-'97)]: a simulated ascent of Mount Everest. *J Appl Physiol*, 887(1): 391-399.

Westerterp-Plantenga M.S. (1999). Effects of extreme environments on food intake in human subjects. *Proc Nutr Soc*, 58(4): 791-798.

Westerterp K.R. (2001). Energy and water balance at high altitude. *News Physiol Sci*, 16(3): 134-137.

Westerterp K.R., Kayser B. (2006). Body mass regulation at altitude. *Eur J Gastroenterol Hepatol*, 18(1): 1-3.

Worme J.D., Lickteig J.A., Reynolds R.D., Deuster P.A. (1991). Consumption of a dehydrated ration for 31 days at moderate altitudes: energy intakes and physical performance. *J Am Diet Assoc*, 91: 1543-1549.

Yingzhong Y., Droma Y., Rili G., Kubo K. (2006). Regulation of body weight by leptin, with special reference to hypoxia-induced regulation. *Intern Med*, 45(16): 941-946.

Zamboni M., Armellini F., Turcato E., Robbi R., Micciolo R., Todesco T., Mandragona R., Angelini G., Bosello O. (1996). Effect of altitude on body composition during mountaineering expeditions: interrelationships with changes in dietary habits. *Ann Nutr Metab*, 40:315-324.

Zwiren L., Skinner J.S., Buskirk E.R. (1973). Use of body density and various skinfold equations for estimating small reductions in body fatness. *J Sports Med Phys Fitness*, 13 (4): 213-218.

ANNEXE 1

Formulaire de consentement

FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

Projet : Effet de 35 jours d'expédition en altitude et au froid en autonomie complète sur l'apport alimentaire et la composition corporelle.

Chercheur principal : Marielle Ledoux, PhD., Département de nutrition, Faculté de Médecine.
Étudiants : Joëlle Gauthier et Marco Vitullo, candidats au M.Sc. (nutrition)

Organisme subventionnaire : Bureau laitier

DESCRIPTION DU PROJET

Un des grands problèmes rencontrés par les athlètes qui s'aventurent à de hautes altitudes pendant plusieurs jours est la perte de poids. La dépense énergétique engendrée par ce type d'activité est souvent très élevée et les sujets ne parviennent pas toujours à consommer l'énergie nécessaire au corps. À défaut de fournir suffisamment d'énergie à l'organisme via les aliments, l'organisme puisera dans ses réserves de graisse. Si les apports alimentaires demeurent inférieurs aux besoins, la masse musculaire sera également atteinte. Une perte de poids considérable peut grandement réduire les chances d'atteindre le sommet visé.

L'objectif principal de ce projet est donc de prédire les besoins en énergie et en macronutriments (protéines, glucides et lipides) d'hommes participant à une expédition en montagne en fonction des caractéristiques physiques de chacun et des conditions d'expédition afin d'assurer le plus possible le maintien du poids corporel, et donc de la masse musculaire et de la masse grasse. Un menu sera alors élaboré selon les critères imposés par les participants et selon les contraintes nutritionnelles relatives au contexte d'une telle expédition. Les critères retenus sont : la valeur énergétique et la valeur nutritive par rapport au poids, la digestibilité, le mode de préparation, la conservation, la rapidité de préparation et la palatabilité des aliments ; le matériel de cuisine disponible ; les goûts et aversions, l'âge, les problèmes de santé et le budget des participants ; les conditions climatiques ainsi que la durée de l'expédition. Nous évaluerons également les facteurs psycho environnementaux qui influencent la prise alimentaire lors de ce genre d'expédition. Cette recherche s'effectuera sur un groupe (4 personnes) participant à une expédition en montagne au Mont Logan, au Yukon ainsi qu'au Mont McKinley, en Alaska.

PROCÉDURES

Cette étude sera d'une durée de 6 semaines environ. Vous devrez vous rendre deux fois au laboratoire soit avant et après l'expédition. Les mesures en pré-expédition seront prises au pavillon Liliane-de-Stewart ainsi qu'au CEPsum de l'Université de Montréal. Après l'expédition, les mesures seront effectuées à l'University of Calgary. De cette façon, il s'écoulera moins de temps entre la fin de l'expédition et la prise des mesures.

À la première visite, qui sera d'une durée d'une demie journée, des mesures de la composition corporelle, du métabolisme de repos et du volume maximal d'oxygène consommé par minute (VO₂max) seront effectuées. À la deuxième visite, nous reprendrons seulement les mesures de la composition corporelle. Cette visite durera environ une heure.

Le métabolisme de repos sera mesuré par calorimétrie indirecte à l'aide d'un Deltatrac. Cet appareil est muni d'une hotte ventilée sous laquelle respire le sujet. Aucun dispositif ne gêne sa respiration. Ce test est d'une durée de 45 minutes. Les données recueillies serviront à mieux établir les besoins énergétiques ainsi qu'à comparer les mesures en pré et post expédition. La composition corporelle sera mesurée par densitométrie à l'aide d'un Dual-photon x-ray (DXA). Ce test ne dure qu'environ 10 minutes et permet de déterminer la quantité de muscle, de gras et d'os de votre corps. On vous demandera de vous allonger sur la table d'examen et un rayon X de faible intensité balayera votre corps. La composition corporelle sera aussi analysée par impédance bioélectrique (BIA), une méthode non-invasive, basée sur la conductivité et les propriétés diélectriques de différents tissus du corps à des fréquences différentes. Elle donne

une estimation du volume des tissus conducteurs (majorité de la masse sans le gras) en combinant les résistances. La masse grasse est ensuite calculée avec une équation. Ce test, beaucoup moins coûteux, sera effectué afin de le comparer à celui effectué par DXA.

D'autres mesures anthropométriques (poids, taille, plis cutanés) feront l'objet de ces visites. Nous vous demanderons également de compléter un journal alimentaire de cinq jours avant le départ pour l'expédition, qui vous demandera environ une heure. En cours d'expédition, vous aurez à compléter, sur une base quotidienne, deux questionnaires visant l'analyse de l'apport alimentaire et l'analyse des facteurs psycho-environnementaux. Les questionnaires sont conçus de façon à être remplis rapidement (environ 15 minutes).

AVANTAGES ET BÉNÉFICES

- Maximiser votre performance pendant l'expédition grâce à une alimentation planifiée de façon rigoureuse et scientifique tout en allégeant la tâche de préparation des aliments.
- Connaître de façon précise votre composition corporelle, votre métabolisme de repos et votre VO₂max.
- Améliorer vos connaissances nutritionnelles qui seront bénéfiques pour la planification de futures expéditions.
- Maximiser vos entraînements en pré expédition.
- Documenter votre performance en lien avec des conseils nutritionnels suivis.
- Contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de la nutrition sportive.

Sur simple demande, nous vous transmettrons les résultats de cette recherche, une fois l'étude terminée.

RISQUES ET INCONVÉNIENTS

- Ne pas pouvoir s'entraîner une journée avant l'évaluation de la dépense énergétique et de la composition corporelle.
- Les sujets devront se déplacer deux fois pour la prise des mesures.
- Les sujets devront remplir les questionnaires avant et pendant l'expédition.
- Risques du DXA : les mesures de la composition corporelle avec cet appareil sont indolores, prennent environ 6 minutes et n'exposent qu'à de petites quantités de rayons X. La radiation des rayons X correspond à 1/10 d'une radiographie des poumons et équivaut à la quantité de radiation naturelle émise durant 3 semaines de vie.
- Risques du *Deltatrac* : la prise de mesure avec cet appareil est indolore et sans danger pour la santé.

Confidentialité d'un diagnostic découlant de la recherche

Si un résultat d'analyse démontre un risque pour la santé, nous aviserons le participant concerné mais aucune mention ne sera faite dans les résultats de l'étude concernant la nature de cette condition médicale.

COMPENSATION

Si, par suite de votre participation à cette étude, il survenait un incident attribuable aux interventions médicales requises, il n'y a pas d'autre type de compensation prévu que ce qui est normalement couvert par la Régie de l'assurance-maladie du Québec. Cependant, en signant le présent formulaire, vous ne renoncez à aucun des droits garantis par la loi.

CRITÈRES D'EXCLUSION

Pour participer à l'étude, vous devez être en bonne condition physique et ne présenter aucune maladie pouvant fausser les résultats.

CONFIDENTIALITÉ

Les chercheurs réalisant cette étude ne publieront aucune information vous concernant de façon individuelle et cette information ne sera à la disposition d'aucune personne extérieure à l'étude. Les résultats de l'étude pourront être publiés dans un journal médical ou présentés à des conférences scientifiques sans qu'aucune information ne permette de vous identifier.

Les personnes ayant accès au registre sont celles directement reliées à cette étude : les 2 étudiants-chercheurs (Joëlle Gauthier et Marco Vitullo) et la chercheur responsable (Dr Marielle Ledoux). Les données du registre vous concernant seront identifiées par un numéro et seront conservées 10 ans, période après laquelle elles seront détruites. Les données recueillies seront conservées dans le bureau personnel de la chercheuse principale dans une filière sous clé.

ÉVENTUALITÉ D'UNE SUSPENSION DE L'ÉTUDE

La participation à cette étude peut être interrompue par le chercheur s'il croit que c'est dans l'intérêt du participant ou pour toutes autres raisons.

LIBERTÉ DE PARTICIPATION ET LIBERTÉ DE RETRAIT DE L'ÉTUDE

Votre participation à cette étude est tout à fait volontaire. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser d'y participer et vous pouvez vous retirer de l'étude en tout temps, sans que cela n'affecte les traitements auxquels vous avez droit ni ne nuise aux relations avec votre médecin (et autres intervenants).

INDEMNITÉ

Aucune

PERSONNES-RESSOURCES :

Si vous désirez de plus amples renseignements au sujet de cette étude, vous pouvez communiquer avec Joëlle Gauthier, au [REDACTED] ou avec Marco Vitullo, au [REDACTED]. Vous pouvez également nous rejoindre si vous souhaitez nous aviser de votre retrait de l'étude. Dr Marielle Ledoux sera également disponible pour répondre à vos questions et recevoir vos commentaires, au (514) 343-6403.

Vous pouvez communiquer avec le président du CERFM pour obtenir des renseignements éthiques ou faire part d'un incident ou formuler des plaintes ou des commentaires : bureau de l'ombudsman au (514) 343-2100.

J'ai lu et compris le contenu du présent formulaire. Je certifie qu'on me l'a expliqué verbalement.

J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant ce projet de recherche et on y a répondu à ma satisfaction.

Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour réfléchir et prendre ma décision. Je sais que je pourrai me retirer en tout temps.

Je soussigné(e) accepte de participer à cette étude.

Nom du participant

Signature du participant

Date

FORMULAIRE D'ENGAGEMENT DES CHERCHEURS

Je certifie avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire de consentement.

Je certifie avoir clairement indiqué qu'il reste à tout moment libre de mettre un terme à sa participation au présent projet et que je lui remettrai une copie signée du présent formulaire.

Nom du chercheur

Signature du chercheur

Date

Nom du chercheur

Signature du chercheur

Date

L'original du formulaire sera conservé au dossier de la recherche et une copie signée sera remise au participant.

Le projet de recherche et le présent formulaire de consentement ont été approuvés par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université de Montréal, le 12 avril 2005.

No de référence : CERFM-63(05) 4#154

ANNEXE 2

Consensus du Lac Louise sur la définition du mal de l'altitude

ISMM

The Lake Louise Consensus on the Definition of Altitude Illness

AMS	<p>In the setting of a recent gain in altitude, the presence of headache and at least one of the following symptoms:</p> <ul style="list-style-type: none"> - gastrointestinal (anorexia, nausea or vomiting) - fatigue or weakness - dizziness or lightheadedness - difficulty sleeping
HACE	<p>Can be considered "end stage" or severe AMS. In the setting of a recent gain in altitude, either:</p> <ul style="list-style-type: none"> - the presence of a change in mental status and/or ataxia in a person with AMS - <i>or</i>, the presence of both mental status changes <i>and</i> ataxia in a person without AMS
HAPE	<p>In the setting of a recent gain in altitude, the presence of the following:</p> <p>Symptoms: at least two of:</p> <ul style="list-style-type: none"> - dyspnea at rest - cough - weakness or decreased exercise performance - chest tightness or congestion <p>Signs: at least two of:</p> <ul style="list-style-type: none"> - crackles or wheezing in at least one lung field - central cyanosis - tachypnea - tachycardia

The symposium consensus committee also developed an AMS scoring system (the "Lake Louise score"), which is widely used today to assess the severity of illness. We have developed a clinical worksheet, which uses the Lake Louise scoring system.

Reference: "The Lake Louise Consensus on the Definition and Quantification of Altitude Illness" in Sutton JR, Coates G, Houston CS (eds), Hypoxia and Mountain Medicine. Queen City Printers, Burlington, Vermont, 1992.

ANNEXE-3

Grille de suivi du mal de l'altitude

AMS Worksheet

Based on the Lake Louise AMS Questionnaire

Name _____ Age _____ Sex _____

Date _____

Prev Hx AMS/HAPE/HACE?

Meds:

Ascent Profile:

Treatment:

		Time	_____	_____	_____	_____	_____
		Altitude	_____	_____	_____	_____	_____
Symptoms:							
1. Headache:							
	No headache	0	_____	_____	_____	_____	_____
	Mild headache	1	_____	_____	_____	_____	_____
	Moderate headache	2	_____	_____	_____	_____	_____
	Severe, incapacitating	3	_____	_____	_____	_____	_____
2. GI							
	No GI symptoms	0	_____	_____	_____	_____	_____
	Poor appetite or nausea	1	_____	_____	_____	_____	_____
	Moderate nausea or vomiting	2	_____	_____	_____	_____	_____
	Severe N&V incapacitating	3	_____	_____	_____	_____	_____
3. Fatigue/weakness:							
	Not tired or weak	0	_____	_____	_____	_____	_____
	Mild fatigue/weakness	1	_____	_____	_____	_____	_____
	Moderate fatigue/weakness	2	_____	_____	_____	_____	_____
	Severe F/W, incapacitating	3	_____	_____	_____	_____	_____
4. Dizzy/lightheaded:							
	Not dizzy	0	_____	_____	_____	_____	_____
	Mild dizziness	1	_____	_____	_____	_____	_____
	Moderate dizziness	2	_____	_____	_____	_____	_____
	Severe, incapacitating	3	_____	_____	_____	_____	_____
5. Difficulty sleeping:							
	Slept as well as usual	0	_____	_____	_____	_____	_____
	Did not sleep as well as usual	1	_____	_____	_____	_____	_____
	Woke many times, poor night's sleep	2	_____	_____	_____	_____	_____
	Could not sleep at all	3	_____	_____	_____	_____	_____
Symptom Score:			_____	_____	_____	_____	_____

Clinical Assessment:

6. Change in mental status:

No change	0	_____	_____	_____	_____	_____
Lethargy/lassitude	1	_____	_____	_____	_____	_____
Disoriented/confused	2	_____	_____	_____	_____	_____
Stupor/semiconsciousness	3	_____	_____	_____	_____	_____

7. Ataxia (heel to toe walking):

No ataxia	0	_____	_____	_____	_____	_____
Maneuvers to maintain balance	1	_____	_____	_____	_____	_____
Steps off line	2	_____	_____	_____	_____	_____
Falls down	3	_____	_____	_____	_____	_____
Can't stand	4	_____	_____	_____	_____	_____

8. Peripheral edema:

No edema	0	_____	_____	_____	_____	_____
One location	1	_____	_____	_____	_____	_____
Two or more locations	2	_____	_____	_____	_____	_____

Clinical Assessment Score:

Total Score (Symptom + Clinical):

Using the worksheet

Patients are assigned a single score for each numbered group. For visual ease, we have designed the worksheet so that this score is entered next to the corresponding symptom severity level.

For example, a person with moderate AMS might get 2 points for moderate headache, 1 point for poor appetite, and 1 point for mild fatigue, for a total symptom score of 4. In addition, this person might get 1 point for facial edema, for a clinical assessment score of 1 and a total AMS score of 5.

Serial evaluations several hours apart give a good measure of whether a patient is responding to treatment or deteriorating.

(This page looks best printed in a fixed-width font)

ANNEXE-4

Liste des aliments utilisés pendant l'expédition

Aliments	Marques	Nombre de portions	Portion	Poids	Calories	Glucides	Protéines	Lipides
Déjeuner								
Déjeuner Instant Vanille	Nestlé	1	90 ml poudre	35 g	130	26	6,4	0,2
Croque nature Recette originale	General Mills	1	265 ml	100 g	483	67	10,3	20,3
Céréales Vector	Kellogg	1	300 ml écrasées	110 g	410	86	11	5,6
Gruau:								
Érable et cassonade	Quaker	1	1 sachet	43 g	160	33	4	2
Régulier	Quaker	1	1 sachet	28 g	100	19	4	2
Baies sauvages	Quaker	1	1 sachet	40 g	153	29	4	2,4
Brioche à la cannelle	Quaker	1	1 sachet	43 g	160	33	3	3
Pommes et cannelle	Quaker	1	1 sachet	35 g	130	27	3	1,5
Dinosaeuvs	Quaker	1	1 sachet	50 g	200	38	4	4
Miel doré	Quaker	1	1 sachet	43 g	170	31	4	3,5
Dîner								
Marco Bar	Production maison	1	1 barre	120 g	500	70	10	20
Peak Bar	Peak Bar	1	1 barre	77 g	290	62,8	5,6	3,6
Cliff Bar	Cliff Bar	1	1 barre	68 g	250	39	10	5
Pria Bar	PowerBar	1	1 barre	38 g	153	23	7,6	3,4
Fruits d'abord	Sunkist	1	1 sachet	50 g	170	43	1	0
Fruit snack	kettle valey	1	2 barres	40 g	136	32	0,4	0,6
Fruit to Go	Sun-type	1	2 barre	28 g	100	24	0,4	0,2
Energie to Go	Sun-type	1	1 barre	40 g	136	35	0,5	0,4

Aliments	Marques	Nombre de portions	Portion	Poids	Calories	Glucides	Protéines	Lipides
Gorp: 1	Production maison	1	2 sachets	150 g	860	49	30	67
Gorp: 2	Production maison	1	2 sachets	150 g	950	70	23	67
Gorp: 3	Production maison	1	2 sachets	150 g	912	51	28,4	69
Gorp: 4	Production maison	1	2 sachets	150 g	866	45	32	62
Gorp: 5	Production maison	1	2 sachets	150 g	860	49	30	67
Pemmican	Manitou permican	1	1 paquet	45 g	122	10	14	2,7
Saucisson	Nostrano	1	50 g	50 g	150	1	9	12
Souper								
Mets lyophilisés:								
Dal-Bhat	Lyosan	1	1 sachet	120 g	505	102	27,8	1,3
Chili d'ici	Lyosan	1	1 sachet	141 g	486	93	27,2	0,5
Casserole mexicaine	Lyosan	1	1 sachet	143 g	498	108	17	1,3
Couscous Sultana	Lyosan	1	1 sachet	141 g	417	94,5	12,7	1,2
Chaudrée Nordique	Lyosan	1	1 sachet	156 g	539	98,6	24,2	8,1
Riz Méli-mélo	Lyosan	1	1 sachet	144 g	569	125,7	15,3	0,8
Desserts								
Biscuits Chewy Chips Ahoy!	Nabisco	1	4 u	53 g	230	32	2,4	9,2
Barres (Newton) bleuets	Nabisco	1	2 u	50 g	200	36	2	5
Barres (Newton) fraises	Nabisco	1	2 u	50 g	200	36	2	5
Biscuits crème fudge	Nabisco	1	3 u	57 g	290	39	3,3	14,4
Gâteau Annapurna	Production maison	1	1 morceau	70-75 g	350	40	5,6	19
Biscuits feuilles d'érable	Leclerc	1	3 u	50 g	255	2,4	36	11,4
Carrés au chocolat	Production maison	1	1 carré		250	31	5,8	12,2

Aliments	Marques	Nombre de portions	Portion	Poids	Calories	Glucides	Protéines	Lipides
Bonbons (chocolat)	Production maison	1	35 g	35 g	140	35		
Boules aux céréales	Production maison	1	1 carré		300	42	7,5	12,4
Rouleau à la guimauve	Production maison	1	1 carré		300	40	4	15
Nougat		1	1 u	14 g	56	13	0,5	0,2
Mix cheerios	General Mills	2	75 ml	15 g	120	22	2,6	3,2
Liquides								
Bouillon poulet	Knorr	1	2 x 10 g	20 g	46,8	4	3,2	2
Bouillon boeuf	Knorr	1	2 x 10 g	20 g	52	5,2	3,2	2
Chocolat chaud	Nestlé	1	2 x 25 g	50 g	172	32,8	1	4,2
Gatorade	Gatorade	1	2 x 35 g	70 g	264	66	0	0
Gel Carb Boom (Apple cinnamon)	Carb boom	2	1 sachet	41 g	214	54	0	0

ANNEXE-5

Groupe de discussion post-expédition

Groupe de discussion post expédition

Quantités:

Au début de l'expédition, ils mangeaient plus, les quantités semblaient adéquates

A la fin de l'expédition, ils avaient moins d'appétit, les sacs semblaient donc contenir trop de nourriture

Au mont Logan, ils auraient sans doute mangé davantage s'ils avaient eu plus de nourriture

Ils auraient mangé davantage s'il y avait eu plus de variété

Selon eux, il y avait trop de nourriture dans les sacs de 5000, ils gardaient souvent les bonbons pour d'autres jours

Pour les sacs correspondant aux jours de sommet (Code 6000), il y avait trop d'aliments

Ils auraient aimé avoir plus de nourriture les jours de repos

Suggestion : faire seulement des sacs de 4000 ou 3000 avec des grignotises à part qu'ils ajoutent à leur guise

Variété :

Augmenter la variété.

S'ils avaient seulement fait le mont Logan, le menu aurait été correct, mais après une vingtaine de jours, ils n'en pouvaient plus de manger la même chose

Pour le mont Dénali, ils auraient aimé avoir un tout autre menu ou simplement d'autres marques de produits

Ils auraient mangé plus s'il y avait eu plus de variété

Ne pas mettre les mêmes aliments à tous les jours. Par exemple, mettre deux fois la même barre une journée et une autre sorte une autre journée

Varié d'une journée à l'autre les barres.

Ils ont ajouté des barres de chocolat pour Dénali au lieu des barres énergétiques afin de varier un peu

Ensachage et emballage :

Un sac de nourriture par sujet par jour était parfait pour les sujets. Cette façon de procéder simplifiait et épargnait beaucoup de travail

Mettre les 3 sachets de gruau ensemble dans un même sac

L'emballage des barres Energy to Go gèle

Mélanger d'avance le lait avec les céréales ou le gruau

Mets lyophilisés :

Inclure d'autres marques de ces mets

Le couscous était facile à manger

Le mets au couscous semble moins rassasier

Ils en avaient assez du riz méli-mélo vers la fin de l'expédition

Le dal bhat donne des gaz

La chaudière nordique est le meilleur plats, mais le plus long à réhydrater

Le sujet 3 dit qu'il aurait pu ne pas manger de repas le soir et s'en tenir aux grignotages, mais les autres sujets ne sont pas d'accord.

Vivres de course :

Mettre plus de gels en remplacement des barres

Ils ont bien aimé les gels Carb Boom

Inclure des fruits séchés ou en mettre dans le Gorp

Inclure du vrai Gorp salé et sucré (noix, graines, fruits séchés...)

Ils n'ont pas aimé la texture des jujubes en forme de dinosaures. Par contre, les oursins étaient très appréciés

Les noix enrobées de chocolat tombent sur le cœur

Barres:

Les Marco Bar deviennent trop dures une fois gelées

Faire 2 sortes de Marco Bar et avec des fruits séchés

Il y avait trop de barres dans le jour, deux barres au lieu de trois auraient suffi

Les Cliff Bar sont trop sucrées. Ils auraient préféré des Harvest PowerBar ou des Gatorade

Les Pria n'étaient pas très aimées

Trop de barres à saveurs de chocolat

Bien aimés les barre Fruit to Go et Energy to Go

Les barres Sunkist étaient moins aimées car très acides et très dures

Inclure des barres salées

Inclure des barres de type granola ou tendre

Hydratation:

Ils ne buvaient pas le lait seul

D'autres saveurs pour le Gatorade ou d'autres sortes de boissons énergétiques

Inclure du thé ou de la tisane

Diluer davantage les bouillons en poudre

Le bouillon à saveur de poulet est apprécié

Les bouillons à saveurs de bœuf et d'oignon n'étaient pas appréciés

Substituer des soupes déshydratées aux bouillons moins appréciés

L'eau était moins disponible durant le jour

Saveurs et préférences:

Ne pas mélanger 3 saveurs de gruau différentes

Éviter les gruaux trop sucré, ajouter pour certains jours du gruau nature

Inclure d'autres sortes de céréales moins sucrées comme des muslix

Le déjeuner instant a un goût plus sucré que le lait en poudre

Mettre plus de méli-mélo et autres grignotines salées

Éviter les saucissons trop épicés

Inclure plus de saucisson de saveurs variés

Inclure de la viande lyophilisée et du fromage certains jours

Selon eux, le menu aurait pu être plus gras, surtout les jours de repos

Autres :

Inclure dans le carnet de bord un espace pour le nombre d'heures de sommeil

Inclure dans le carnet de bord un espace pour le pouls

Après les journées d'activités intenses, c'est plus difficile de manger, moins d'appétit

Les autres équipes sur la montagne enviaient notre logistique alimentaire
