

2 m 11. 3354.9

Université de Montréal

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

Par
Joëlle Gauthier
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

Novembre 2005

© Joëlle Gauthier, 2005



QU

145

U58

2006

V-006

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 :

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

Présenté par :

Joëlle Gauthier

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Marielle Ledoux

.....
Directeur de recherche

Victor Gavino

.....
Membre du jury

Christina Blais

.....
Membre du jury

RÉSUMÉ

Le but de ce projet était d'assurer le maintien du poids corporel et donc de la masse grasse et de la masse maigre d'un groupe d'alpinistes participant à une expédition au mont Logan, au Yukon, et au mont McKinley, en Alaska. L'objectif premier consistait à estimer les besoins en énergie et en macronutriments de ces hommes et de concevoir un menu qui répond à ces besoins tout en tenant compte des caractéristiques physiques de chacun et de différents critères de choix des aliments.

Quatre hommes actifs physiquement, en santé et expérimentés en expédition en montagne ont subi des mesures de poids et de la composition corporelle avant et au retour de l'expédition et tenu un journal alimentaire avant et pendant l'aventure. Les résultats montrent qu'il y a eu une diminution significative du poids corporel ($p < 0,05$) ainsi que de la masse grasse ($p < 0,05$) après 35 jours d'expédition en montagne comparativement aux valeurs de départ. La masse maigre a augmenté significativement après l'expédition ($p < 0,05$). L'analyse des journaux alimentaires montre une augmentation non-significative ($p > 0,05$) des apports énergétiques pendant l'expédition comparativement aux apports mesurés au niveau de la mer. En dépit d'une plus grande consommation alimentaire, les apports réels en énergie étaient significativement plus petits que les apports prévus, créant un déficit énergétique d'environ 515 kcal par jour. En somme, les sujets ne sont pas parvenus à consommer la totalité des aliments fournis qui auraient, semble-t-il, suffi à combler les plus grands besoins énergétiques et ainsi prévenir la perte de poids.

Mots clés : Altitude, froid, apport alimentaire, perte de poids, anorexie, composition corporelle

ABSTRACT

The primary goal of this project was to ensure the maintenance of body weight of mountain climbers throughout an expedition to Mount Logan in Yukon and to Mount McKinley in Alaska. The objectives were to estimate the energy and macronutrient needs' of each of these men according to their age, sex and anticipated physical activity needs and to establish a menu that would answer their needs.

Four physically active men in good health and with many years of experience in mountain climbing underwent body weight and body composition measurements before and after the expedition. They also had to keep a 5-day dietary record before the trip and every day during the trip. Compared to the values at the beginning of the expedition, the results show a significant loss of body weight ($p < 0,05$) and of body fat mass after 35 days of mountaineering. The fat free mass significantly increased ($p < 0,05$) after the expedition. The daily dietary records analysis show a non-significant increase in energy intake ($p > 0,05$) during the expedition compared to measures taken at sea level. In spite of a greater food intake, the actual energy intakes were significantly smaller than anticipated, which created an energy deficit of about 515 kcal a day.

In summary, the subjects did not succeed in eating the total food supply which, according to the results obtained, would have been adequate in terms of energy supply to prevent weight loss.

Key words: Altitude, cold, energy intake, weight loss, anorexia, body composition

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	iii
Abstract.	iv
Liste des tableaux.	ix
Liste des figures.	xi
Liste des abréviations.	xii
Remerciements.	xiii

INTRODUCTION	1
--------------------	---

A. REVUE DE LITTÉRATURE.....	3
1. Malaises causés par l'hypoxie.....	3
2. Types d'études.....	5
3. Perte de poids en altitude	6
3.1 Problématique	6
3.2 Facteurs affectant la perte de poids en altitude	12
3.2.1 Anorexie de l'altitude	12
3.2.2 Augmentation des besoins énergétiques et liquidiens en altitude	14
3.2.2.1 Métabolisme de base	14
3.2.2.2 Froid.....	16
3.2.2.3 Exercice	17
3.2.2.4 Hydratation	19
3.2.2.5 Malabsorption des macronutriments	23
4. Apports alimentaires en altitude	23
4.1 Apports énergétiques	23
4.2 Apports en macronutriments	24
4.3 Apports en micronutriments	26
4.4 Grosseur et fréquence des repas.....	31
4.5 Choix d'aliments.....	31

B. HYPOTHÈSE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	33
1. Hypothèses	33
2. Objectif général	33
3. Objectifs spécifiques.....	34
C. MÉTHODOLOGIE.	35
1. Composition de l'équipe.	35
2. Description des monts	35
2.1 Mont Logan	35
2.2 Mont McKinley.....	36
3. Déroulement de l'étude	37
4. Paramètres mesurés	37
4.1 Mesure des apports alimentaires	37
4.2 Mesure des facteurs psycho environnementaux	38
4.3 Mesures anthropométriques	39
4.4 Mesure du métabolisme de repos	40
4.5 Mesure de la capacité physique	41
5. Évaluation des besoins nutritionnels	41
5.1 Besoins en énergie	41
5.2 Besoins en macronutriments.....	42
5.3 Besoins en liquide	43
6. Planification alimentaire	44
6.1 Répartition des repas	44
6.2 Choix des aliments	44
6.3 Composition du menu.....	45
6.4 Préparation et emballage des aliments.....	48
7. Analyses statistiques	49
D. RÉSULTATS	50
1. Caractéristiques des sujets	50
2. Déroulement de l'expédition	50

3. Apports alimentaires.....	54
3.1 Apport alimentaire avant et pendant l'expédition.....	54
3.2 Apport alimentaire moyen pour les jours de repos, actifs et de sommet	58
3.3 Apports réels en énergie et en macronutriments comparés aux apports prévus	59
3.4 Apport énergétique en fonction de l'altitude atteinte	62
4. Satisfaction du menu.....	62
5. Apport hydrique	63
6. Aliments non consommés.....	66
6.1 Raisons fournies par les sujets expliquant les aliments prévus non consommés.....	66
6.2 Bilan des aliments non consommés	67
7. Changements au niveau de la composition corporelle.....	69
7.1 Composition corporelle avant, pendant et après l'expédition	69
7.2 Déficit énergétique et composition corporelle avant et après l'expédition	70
7.3 Déficit énergétique et perte de poids avant et après l'ascension du mont Logan	71
7.4 Apport en protéines	72
8. Commentaires des participants au retour de l'expédition	73
8.1 Quantités	73
8.2 Variété	73
8.3 Ensachage	73
8.4 Repas.....	74
8.4.1 Déjeuner.....	74
8.4.2 Vivres de course	74
8.4.3 Souper.....	75
8.5 Hydratation.....	76
8.6 Desserts	76
8.7 Menu en général.....	76

8.8 Autres commentaires	76
E. DISCUSSION	77
1. Poids et composition corporelle.....	77
2. Apports alimentaires en fonction des besoins énergétiques	80
2.1 Apports énergétiques	80
2.2 Apports en macronutriments	82
2.3 Causes d'un apport alimentaire inférieur aux besoins.....	84
3. Déshydratation.....	88
4. Augmentation de la dépense énergétique en altitude	90
5. Recommandations pour les projets futurs	93
CONCLUSION.....	95
RÉFÉRENCES.....	96
ANNEXE I : Formulaire de consentement	xiv
ANNEXE II : Journal alimentaire	xix
ANNEXE III : Carnet de voyage	xxii
ANNEXE IV : Calcul du pourcentage de gras et de masse maigre par la formule d'Allen et collaborateurs (1956), telle que modifiée par Zwirren et collaborateurs (1973)	xxv

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I Avantages et inconvénients des différents types d'études	5
Tableau II Résumé des études effectuées en laboratoire ou dans une chambre barométrique portant sur les changements de la composition corporelle en altitude	10
Tableau III Résumé des études effectuées sur le terrain portant sur les changements de la composition corporelle en altitude	11
Tableau IV Dépense énergétique totale mesurée par la méthode de l'eau doublement marquée dans différents environnements	21
Tableau V Apports recommandés en micronutriments en altitude et au froid.....	27
Tableau VI Contenu moyen des sacs en énergie et en macronutriments	43
Tableau VII Paramètres à considérer pour le choix des aliments.....	45
Tableau VIII Liste des aliments choisis pour l'expédition.....	46
Tableau IX Exemples de menus selon le type de journée	47
Tableau X Caractéristiques des sujets	50
Tableau XIa Déroulement de l'expédition au mont Logan	52
Tableau XIb Déroulement de l'expédition au mont McKinley	53
Tableau XII Apports moyens en énergie, glucides, protéines et lipides avant et pendant l'expédition (moyenne ± écart-type/jour/sujet).....	58

Tableau XIII	
Apport hydrique total	64
Tableau XIV	
Liste des abréviations des aliments.....	68
Tableau XV	
Suivi du poids corporel (kg) avant, pendant et après l'expédition.....	69
Tableau XVI	
Composition corporelle avant et après l'expédition.....	70
Tableau XVII	
Changement de poids et de la composition corporelle en lien avec le déficit énergétique réel et estimé.....	70
Tableau XVIII	
Perte de la masse corporelle totale réelle et estimée en lien avec le déficit énergétique réel.....	72
Tableau XIX	
Apports en protéines réels et prévus et les apports par masse corporel et par masse maigre mesurés avant et après 35 jours d'expédition	72

LISTE DES FIGURES

Figure 1	
Facteurs impliqués dans la perte de poids en altitude	8
Figure 2	
Répartition moyenne en macronutriments en fonction de l'énergie	56
Figure 3	
Apport moyen en énergie pour les jours actifs, de repos et de sommet	57
Figure 4 à 7	
Apports en énergie, glucides, protéines et lipides réels comparés aux apports prévus	
Figure 4 : Apports énergétiques	60
Figure 5 : Apports en glucides	60
Figure 6 : Apports en protéines	61
Figure 7 : Apports en lipides	61
Figure 8	
Apport énergétique moyen suivant l'altitude atteinte	62
Figure 9	
Niveau moyen de satisfaction du menu	63
Figure 10	
Niveau moyen de satisfaction des quantités d'aliments	63
Figure 11	
Hydratation moyenne totale de l'équipe par jour	64
Figure 12	
Hydratation moyenne: matin, midi et soir	65
Figure 13	
Raisons invoquées par les sujets expliquant les aliments prévus non consommés	66
Figure 14 a	
Bilan des aliments non consommés	67
Figure 14 b	
Bilan des aliments non consommés	68

LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS

n	nombre de sujets
F	femme
H	homme
°C	degré celcius
VO _{2max}	consommation d'oxygène maximale
W	watts
rpm	rotations par minute
O ₂	oxygène
CO ₂	dioxyde de carbone
min	minute
sec	seconde
MCT	masse corporelle totale
MM	masse maigre

REMERCIEMENTS

Merci Natalie, c'est toi qui m'as donné le goût de poursuivre à la maîtrise.

Merci Marielle pour votre temps mais surtout d'avoir accepté ce projet sous votre direction.

Merci chers parents pour vos encouragements.

Merci petite sœur pour ta grande patience.

Merci à nos 4 aventuriers de s'être prêtés à la science!

Finalement, un merci tout particulier à celui qui m'a soutenu jusqu'à la fin.

Merci Jérôme.

INTRODUCTION

L'environnement physique dans lequel un athlète évolue aura inévitablement un impact sur les besoins en nutriments (Askew, 1994). Le froid, l'hypoxie, le type de terrain, la faible disponibilité de l'eau et des aliments sont différents éléments que doivent affronter les expéditionnaires. Un menu qui répond aux besoins des aventuriers dans ces conditions n'est pas facile à développer, sachant que la dépense énergétique engendrée par ce type d'activité est souvent très élevée et les sujets ne parviennent tout simplement pas à consommer tous les aliments nécessaires.

Les sujets qui s'aventurent à de hautes altitudes pendant plusieurs jours sont donc contraints à une perte de poids quasi inévitable (Butterfield, 1999). Il n'est pas clair que les variations observées au niveau de la composition corporelle soient principalement dues à la perte de masse grasse, de masse maigre ou d'une combinaison des deux (Tanner et Stager, 1998). Par contre, une perte de poids importante sera un obstacle à l'atteinte du sommet et compromettra la santé et la sécurité des sujets.

Comment pouvons-nous expliquer que les alpinistes ou les soldats soient en balance énergétique négative, lorsque exposés à ces conditions? Un des facteurs affectant la prise alimentaire est le manque d'appétit, communément nommé *l'anorexie de l'altitude* (Richalet et Herry, 2003). Les autres facteurs mis de l'avant pour expliquer la balance énergétique négative sont entre autres le mal de l'altitude, l'augmentation de la dépense énergétique causée par l'exercice même, le poids de l'équipement et de l'habillement, le froid et/ou l'augmentation du métabolisme de base (MB), la déshydratation, la malabsorption, la diminution de la disponibilité des aliments palatables, le manque de confort ou une combinaison de ces facteurs (Askew, 1995; Gullledge et coll., 2003).

Les études faites à ce jour montrent qu'il est possible de diminuer la perte de poids en altitude en fournissant suffisamment d'aliments aux sujets sans toutefois l'éviter complètement (Butterfield et coll., 1992). Le but de ce projet consistait donc à éviter la perte de poids en haute montagne et au froid en fournissant aux aventuriers un menu adapté à leurs besoins, palatable et facile à préparer.

A. REVUE DE LITTÉRATURE

1. Malaises causés par l'hypoxie

Les athlètes qui s'aventurent à des altitudes de plus de 2000 mètres (m) ne sont pas à l'abri des malaises engendrés par le manque d'oxygène, communément appelé l'hypoxie (Barry et Pollard, 2003). Chaque personne réagit différemment à cette raréfaction en oxygène; mais en général, à des altitudes inférieures à 1000 m, aucun effet n'est ressenti, que ce soit au repos ou à l'effort. En moyenne altitude, entre 1000 et 2000 m, on observe déjà un effet sur la performance maximale dû à une diminution de la consommation maximale d'oxygène. Néanmoins, il semble y avoir un avantage pour les sports de vitesse du fait que la densité et la pression de l'air diminuent, ce qui entraîne une diminution de la résistance à la pénétration dans l'air. En haute altitude, entre 2000 et 5500 m, les conséquences physiologiques sont plus marquées (Richalet et Herry, 2003). Les sujets plus sensibles souffriront d'hyperventilation ou encore de tachycardie à 2000 m. En général, c'est surtout autour de 3000 mètres que ces effets seront observés. Au-delà de 5500 m (très haute altitude), il semble que la vie humaine permanente soit impossible et les alpinistes s'exposent à la pathologie de haute altitude surtout si l'ascension a lieu trop rapidement. Malgré cela, de rares expériences durant de quelques mois à 2 ans ont été réalisées à ce jour.

La mauvaise acclimatation liée à l'altitude se manifeste de diverses façons : mal aigu des montagnes bénin (MAM), œdème localisé de haute altitude (OLHA), mal des montagnes compliqué : œdème pulmonaire de haute altitude (OPHA) ou œdème cérébral de haute altitude (OCHA), accidents ischémiques, hémorragiques et thromboemboliques de haute altitude et polyglobulie chronique de haute altitude ou maladie de Monge (Richalet et Herry, 2003).

On observe, après plusieurs semaines passées au-delà de 5500 m, une altération de l'état physique et psychologique des sujets qui se traduit par une perte importante de masse corporelle, principalement la masse maigre (Richalet et Herry, 2003). Les symptômes du mal aigu de l'altitude disparaissent habituellement en trois jours et se traduisent par des maux de tête, des nausées, des vomissements, de l'anorexie, de l'insomnie, des oedèmes périphériques et des faiblesses. Si les malaises persistent ou s'aggravent, l'apport alimentaire peut diminuer considérablement. Il est donc conseillé de redescendre, ne serait-ce que de 300 à 600 m, pour éviter les complications (Barry et Pollard, 2003; Lickteig, 2000). À titre préventif, à partir de 3 000 m d'altitude, l'ascension ne devrait pas dépasser 300 à 500 m de dénivelé entre deux nuits (Richalet et Herry, 2003).

La réponse individuelle à de hautes altitudes tient compte de trois principaux facteurs qui sont d'ordre génétique, physiologique et culturel. Les changements physiologiques du corps à l'altitude ont pour but de maintenir l'homéostasie. L'exposition à l'hypoxie met en jeu toute une série de mécanismes de réflexes et de réponses hormonales afin de rétablir un environnement en oxygène au niveau cellulaire qui soit compatible avec un métabolisme normal. L'hyperventilation, la tachycardie, l'érythropoïèse accrue sont des exemples de mécanismes d'acclimatation (Richalet et Herry, 2003).

2. Types d'études

Dans l'analyse des données portant sur l'alimentation en altitude, il est important de considérer les différents types d'études, car le lieu et les conditions varient. Les recherches sont effectuées dans un laboratoire en montagne, dans une chambre hypobare, où l'on recrée l'atmosphère retrouvée en altitude, en cours d'expédition en montagne ou encore en cours d'exercices sur le terrain de groupes de militaires (Cymerman, 1996; Gullledge et coll., 2003). Le tableau I montre les avantages et les inconvénients des différents types d'études. Dans une chambre hypobare, il est possible d'avoir un meilleur contrôle des effets de la basse pression d'oxygène sur le statut nutritionnel. Par contre, il est plus difficile de reproduire les conditions extrêmes des expéditions tels que la grande dépense énergétique, l'exposition prolongée au froid et les facteurs psychologiques engendrés par le danger ou l'isolation (Reynolds, 1996). D'un autre côté, il est plus difficile d'avoir un bon contrôle de tous les facteurs à l'étude lorsque ce sont des études faites sur le terrain. Les études dans une chambre hypobare ou en laboratoire doivent donc compléter les études faites sur le terrain (Reynolds, 1996).

Tableau I : Avantages et inconvénients des différents types d'études

Expédition en montagne	Laboratoire en montagne	Chambre hypobare
Conditions réelles d'une expédition	Contrôle de l'approvisionnement en eau et en nourriture	Études et méthodes de mesures hautement perfectionnées
Possibilité de contamination alimentaire	Température stable et contrôlée	Stress dû à la réclusion
Insomnie	Insomnie	Insomnie
Déroulement de l'expédition dépendant de la température	Contrôle de l'exercice	Contrôle de la nutrition et de l'exercice
Disponibilité incertaine en eau potable et en nourriture	Exposition à l'altitude constante	Contrôle des conditions environnementales: température, pression et humidité
Problèmes avec l'équipement et les vêtements		
Changements de terrain fréquents : neige dure, glace, plat, pente, etc.		

Adapté de Cymerman (1996).

3. Perte de poids en altitude

3.1 Problématique

La perte de poids en altitude est un problème rencontré par plusieurs aventuriers, militaires ou sujets d'études (Bales et coll., 1993; Boyer et Blume, 1984; Butterfield et coll., 1992; Fulco et coll., 1985; Fulco et coll., 1992; Fusch et coll., 1996; Guillard et Klepping, 1985; Kayser et coll., 1992; Kayser et coll., 1993; Krzywicki et coll., 1969; Mawson et coll., 2000; Pulfrey et Jones, 1996; Reynolds et coll., 1998; Rose et coll., 1988; Surks et coll., 1966; Tanner et Stager, 1998; Westerterp-Plantenga et coll., 1999; Westerterp et coll., 1992; Westerterp et coll., 1994; Worme et coll., 1991; Zamboni et coll., 1996). La figure 1 résume les facteurs qui ont un rôle possible dans le processus de perte de poids en altitude. Ils sont regroupés en trois catégories à savoir ceux qui auront pour effet d'augmenter la dépense énergétique, d'entraîner des apports alimentaires inférieurs aux besoins ou de conduire à une déshydratation. Les éléments de cette figure seront discutés plus en détails dans cette section.

La perte de poids en début d'exposition à l'altitude est considérée comme inévitable pour certains, car elle est due à la plus grande perte en eau et à l'insuffisance des apports alimentaires relative à l'augmentation de la dépense énergétique (Cymerman, 1996). Les études scientifiques faites à ce jour démontrent que la perte de poids est d'abord causée par une déshydratation (Brouns, 1992; Kayser, 1992; Kayser et coll., 1992) et ensuite par l'*anorexie de l'altitude*, ce qui entraîne une diminution de la masse grasse (Bailey et coll., 2004a) et de la masse maigre (Fusch et coll., 1998; Westerterp et coll., 1994; Westerterp et coll., 1996). Il n'est pas clair si la perte de poids atteint surtout la masse grasse, la masse maigre ou une combinaison des deux. Les études qui rapportent une plus grande perte de la masse maigre impliquent davantage des sujets sédentaires pendant la période d'observation, alors que les études

qui montrent une plus grande perte de la masse grasse impliquent des sujets actifs physiquement pendant l'étude (Tanner et Stager, 1998).

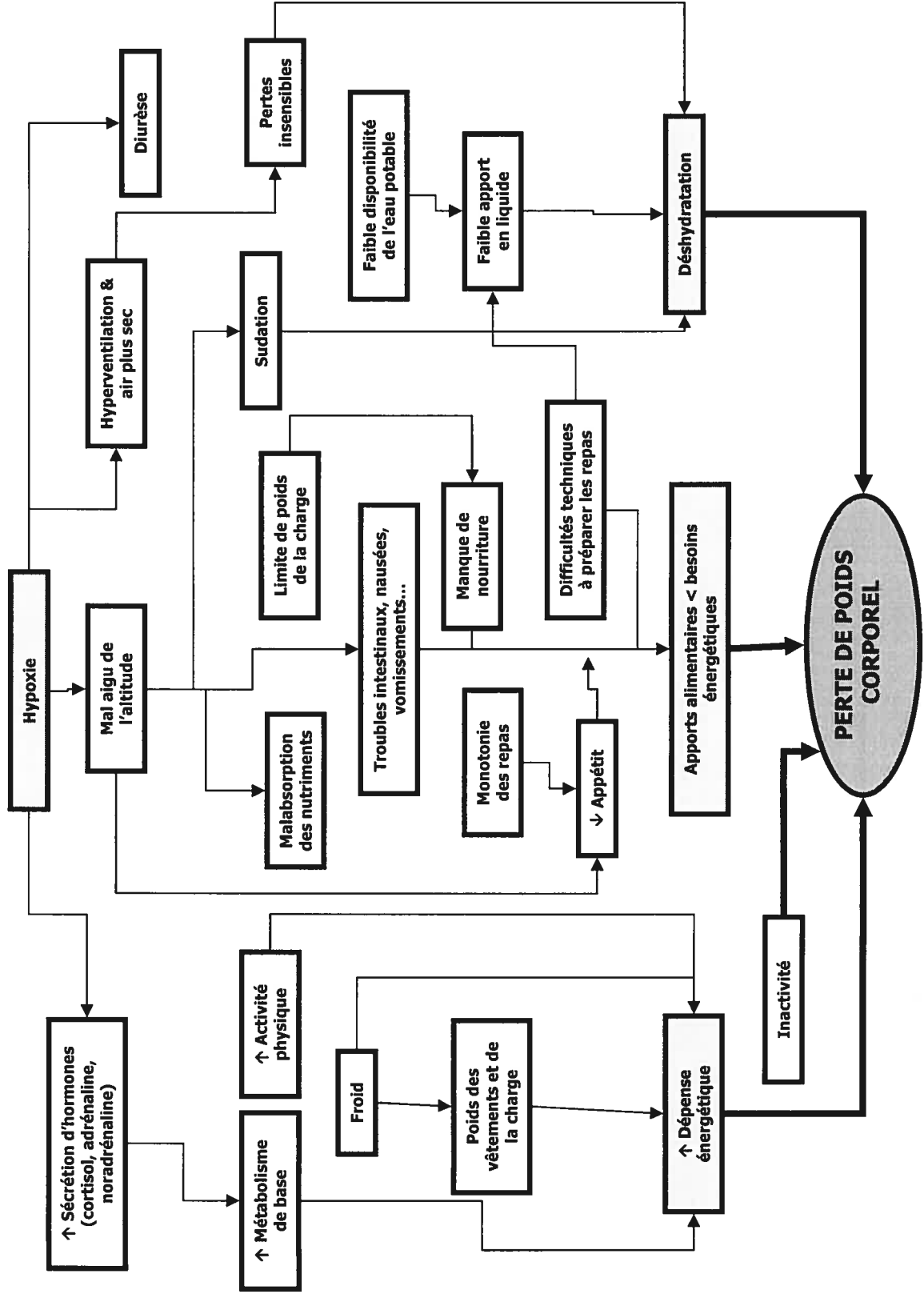


Figure 1: Facteurs impliqués dans la perte de poids en altitude

De plus, il semble que la perte de poids soit plus marquée pendant la première semaine de l'exposition en altitude (Butterfield et coll., 1992).

Les tableaux II et III rassemblent les études où le poids et, dans certains cas, la composition corporelle ont été mesurés. Le tableau II contient les études menées en laboratoire ou en chambre hypobare, alors que le tableau III résume celles effectuées sur le terrain. Le degré de perte de poids semble dépendre de la durée de l'exposition à l'altitude, des conditions d'expédition et de l'altitude atteinte. De plus, la méthode servant à mesurer la composition de la masse grasse influencera le résultat obtenu (Fulco et coll., 1992). La perte de masse corporelle varie entre 91 et 368 g/jour pour les études en laboratoire ou en chambre hypobare et entre 46 et 529 g/jour pour les études sur le terrain. Parmi les études où les sujets étaient nourris pratiquement à volonté, la perte de poids est d'environ 155 g/jour. Cela équivaut à un déficit énergétique de 1195 kcal/jour en supposant que la perte de poids est entièrement sous forme de masse grasse ou 853 kcal pour une perte de poids sous forme de masse maigre uniquement.

Guilland et Klepping (1985) ont observé que la perte de poids en altitude entraînait une plus grande perte d'azote dans l'urine, donc un bilan azoté négatif, ce qui suggère une dégradation de la masse musculaire. Dans une étude plus récente, Butterfield et coll. (1992) montrent qu'il est possible d'éviter un bilan azoté négatif en fournissant suffisamment d'énergie de façon à combler la plus grande dépense énergétique. Au cours de la première semaine d'exposition à l'altitude, les sujets présentaient un bilan azoté négatif et une perte de poids corporel résultant d'un apport inadéquat en énergie. Les jours suivants, l'apport énergétique a été augmenté de façon à satisfaire les plus grands besoins causés par le MB élevé, et le bilan azoté est resté positif. D'autres études, effectuées en altitude et où les sujets étaient soumis à des entraînements physiques exigeants, montrent que la masse maigre demeure inchangée même en présence d'un léger déficit énergétique

(Consolazio et coll., 1972; Worme et coll., 1991). Ces études suggèrent que l'exercice physique aurait un effet protecteur sur l'utilisation des protéines en altitude.

Tableau II : Résumé des études effectuées en laboratoire ou dans une chambre barométrique portant sur les changements de la composition corporelle en altitude

Chercheurs	n et sexe	Durée (jours)	Altitude (m)	Perte de poids (%)	Perte de poids (g/jour)	Perte de gras (%)	Méthode utilisée
(Surks et coll., 1966)	5 H	8	4300	3,5	309	100	D
(Krzywicki et coll., 1969)	15 H	12	4300	5,3	318	37	D
(Fulco et coll., 1985)	8 H	18	4300	1,9	122	0	D
(Rose et coll., 1988)	6 H	40	8848	8,9	185	33	D, TAO
(Butterfield et coll., 1992)	7 H	21	4300	2,9	104	NA	NA
(Fulco et coll., 1992)	16 H	16	4300	7,0	368	59	D
						42	PC
						23	BIA
						53	C
(Kayser et coll., 1992)	6 H	21	5000	2,7	91	50	PC
(Kayser et coll., 1993)	8 H	28	5050	3,4	93	25	PC
(Westerterp-Plantenga et coll., 1999)	8 H	31	8848	7,1	170	NA	NA
(Mawson et coll., 2000)	16 F	12	4300	+ 0,66	+ 34	NA	NA

Tableau adapté de Tanner et Stager (1998).

H = homme, F = femme; NA = Non applicable

D = Densitométrie, TAO = Tomographie assistée par ordinateur, PC = Plis cutanés, BIA = Impédance bioélectrique, C = Circonférences du corps

À défaut de consommer des quantités suffisantes d'aliments pour assurer le maintien de la balance énergétique, le corps puisera dans ses tissus afin de fournir le carburant nécessaire au fonctionnement de l'organisme (Butterfield, 1999). En plus de la diminution de l'appétit, les autres facteurs mis de l'avant pour expliquer la balance énergétique négative sont les suivants : 1- l'augmentation de la dépense énergétique causée par l'exercice même, 2- l'augmentation du métabolisme de base, 3- la diminution de la disponibilité des aliments palatables, 4- la déshydratation, 5- la malabsorption digestive, 6- le mal de l'altitude, 7- le manque de confort, 8- l'exposition au froid 9- le

poids de l'équipement et de l'habillement ou 10- une combinaison de ces facteurs (Askew, 1995; Fusch et coll., 1998; Gulledge et coll., 2003; Leblanc, 1975).

Tableau III : Résumé des études effectuées sur le terrain portant sur les changements de la composition corporelle en altitude

Chercheurs	n et sexe	Durée (jours)	Altitude maximale ¹ (m)	Perte de poids (%)	Perte de poids (g/jour)	Perte de gras (%)	Méthode utilisée
(Boyer et Blume, 1984)	13 H	32	5400	2,5	59	89	PC
		47	8848	7,9	126	59	PC
(Guilland et Klepping, 1985)	4 H	28	7102	6,8	170	62	PC
(Worme et coll., 1991)	8 H	31	4300	2,5	61	100	D
(Stager et coll., 1992)	4 H	8	4300	3,1	338	NA	NA
(Westerterp et coll., 1992)	3 H et 2 F	7-10	8872	4	275	67	PC
(Bales et coll., 1993)	28 H et 1 F	24	6193	3,9	121	58	PC, C
(Westerterp et coll., 1994)	6 H et 4 F	33	3600 à 6542	7,5	148	74	PC
(Fusch et coll., 1996)	11 H et 2 F	45 - 48	7600	8,9	135 - 144	NA	NA
(Pulfrey et Jones, 1996)	5 H et 1 F	7	6800 à 8046	5	529	24	PC, C
(Zamboni et coll., 1996)	10 H et 2 F	27	6200 à 7546	5	130	70	BIA
(Reynolds et coll., 1998)	1 H et 4 F	68	5300 à 5600	5,2	46	NA	NA
		68	8848	9,6	120	NA	NA
(Tanner et Stager, 1998)	5 H	21	4300	3,8	140	25	PC
						77	D
						38	IRM
(Reynolds et coll., 1999)	3 F	68	5300 à 5600	6,1	52	100	PC, C
							6 H et 1 F
(Gulledge et coll., 2003)	15 H	14	4360 à 6194	4,4	314	NA	NA

Tableau adapté de Tanner et Stager (1998).

¹ Ces valeurs correspondent aux altitudes notées par les chercheurs au moment de l'étude. Ces altitudes n'ont pas nécessairement été atteintes par tous les membres de l'expédition.

H = homme, F = femme; NA = Non applicable

D = Densitométrie, PC = Plis cutanés, BIA = Impédance bioélectrique, IRM = Imagerie par résonance magnétique, C = Circonférences du corps

3.2 Facteurs affectant la perte de poids en altitude

3.2.1 Anorexie de l'altitude

L'anorexie, définie comme une perte ou une diminution marquée de l'appétit, est un facteur important contribuant au bilan énergétique négatif, surtout en début de l'exposition à l'altitude (Richalet et Herry, 2003). Étant donné qu'il n'existe pas de mesure directe de l'appétit, les études traitant de l'anorexie en altitude découlent principalement de l'analyse de l'apport alimentaire. Butterfield (1996) a compilé une série de données provenant d'études où les sujets mangeaient pratiquement à volonté et dont les bilans alimentaires étaient disponibles autant au niveau de la mer qu'en altitude. Les apports énergétiques entre ces deux milieux étaient étroitement corrélés; les apports en altitude étaient d'environ 180 kcal/jour plus faible qu'au niveau de la mer. Westerterp-Plantenga et coll. (1999) ont émis l'hypothèse selon laquelle le manque d'appétit est à la source de la diminution de l'apport alimentaire et donc de la perte de poids. En effet, il en ressort une diminution significative du poids corporel à chacune des altitudes stimulées en chambre hypobare (5000, 6000, 7000 et 8000 m) comparativement au poids mesuré au niveau de la mer malgré un libre choix d'aliments variés. Les sujets de cette étude étaient pourtant acclimatés à l'altitude et soumis à un faible niveau d'activité. La perte de poids totale était de $5,0 \pm 2,0$ kg à 8848 m, mais après 4 jours de récupération, la masse corporelle a rapidement augmenté pour atteindre une différence moyenne de 2 kg du poids de départ.

D'autres études montrent qu'il est possible de ralentir la perte de poids en altitude en procurant suffisamment d'énergie au corps sans toutefois l'éviter totalement (Boyer et Blume, 1984; Guillard et Klepping, 1985; Krzywicki et coll., 1969; Rose et coll., 1988; Westerterp et coll., 1992). Butterfield et coll. (1992) ont fait l'expérience de fournir suffisamment d'énergie à 7 hommes modérément actifs de façon à rencontrer leurs besoins énergétiques tels que

mesurés au niveau de la mer et ajustés en fonction des changements du MB en altitude. Le poids a décliné de 200 g/jour au cours de la première semaine passée à 4300 m où les besoins en énergie étaient très élevés et les apports seulement équivalents à ceux requis au niveau de la mer. Une fois les apports ajustés en fonction de la plus grande dépense énergétique, la perte de poids a ralenti à un taux d'environ 70 g/jour pour les 2 dernières semaines. Les sujets de cette étude étaient très motivés par les chercheurs et en quelque sorte forcés à consommer les quantités requises en nourriture.

L'anorexie de la haute altitude pourrait être associée avec l'augmentation du dommage causé au tissu squelettique par les radicaux libres (Bailey et coll., 2000; Bailey et coll., 2001), mais également par la libération de cytokines pro inflammatoires (Bailey et coll., 2004b). Les radicaux libres, dont la production est plus importante en situation hypoxique, pourraient conduire à une plus grande expression de cytokines spécifiques (Grimble, 1998) qui peuvent à leur tour conduire à l'anorexie selon divers mécanismes qui ne feront pas l'objet de ce présent travail (Plata-Salaman, 1998). Contrairement à ces données, Bailey et coll. (2004a) ont montré que les radicaux libres ne semblaient pas impliqués dans la réponse inflammatoire et donc dans le phénomène de l'anorexie à la suite d'une expédition en haute altitude.

À la lueur de ces études, l'anorexie semble une conséquence directe et immédiate d'une exposition à l'altitude. La persistance d'un manque d'appétit après plusieurs jours d'exposition en montagne serait donc reliée à d'autres facteurs que l'hypoxie seule.

3.2.2 Augmentation des besoins énergétiques et liquidiens en altitude

Plusieurs études ont démontré qu'il est possible de réduire la perte de poids et donc d'optimiser la performance physique lors d'une expédition en altitude en fournissant suffisamment d'énergie au corps tout en portant une attention particulière à la palatabilité des aliments et à la facilité de préparation des repas. Par contre, il n'est pas toujours évident de combler les grandes dépenses énergétiques de ces athlètes sachant que le poids et le volume des aliments sont des balises techniques à considérer qui affecteront la composition nutritionnelle des aliments et du menu. Les besoins énergétiques des sujets très actifs physiquement en altitude sont évidemment plus élevés que ceux des sujets sédentaires ce qui rend plus difficile l'atteinte d'une balance énergétique positive. De plus, il est possible que les aventuriers ne puissent tout simplement pas apporter les quantités de nourriture nécessaires au corps étant donné la limite de poids à moins, bien sûr, de recruter des porteurs. L'hypoxie semble donc être un facteur unique à l'altitude qui entraîne une augmentation des besoins énergétiques par son effet direct ou indirect sur le MB, la malabsorption des nutriments et l'hydratation. Néanmoins, l'exercice physique, le poids de la charge et des vêtements ainsi que le type de terrain sont d'autres facteurs qui contribuent davantage à l'augmentation de la dépense en énergie (Tharion et coll., 2005).

3.2.2.1 Métabolisme de base

Un des facteurs contribuant à une augmentation des besoins énergétiques en haute altitude est une augmentation du MB. Ce dernier se définit comme étant l'énergie requise pour maintenir les fonctions du corps dans l'état le plus minimal avant le réveil (Butterfield, 1996). Cette augmentation du MB varie entre 7 et 28% selon les méthodes d'estimation utilisées et les sujets (Butterfield et coll., 1992; Gill et Pugh, 1964; Hannon et Sudman, 1973;

Kellogg et coll., 1957; Mawson et coll., 2000; Moore et coll., 1987) et est plus élevé surtout au cours de la première semaine d'exposition (Butterfield, 1999; Hannon et Sudman, 1973; Kayser, 1992; Kellogg et coll., 1957; Mawson et coll., 2000; Moore et coll., 1987). Contrairement à ces données, Armellini et coll. (1997) n'ont observé aucune différence du métabolisme de repos (MR) après 16 jours en altitude. Les résultats des études préliminaires à ce sujet sont controversés du fait que les méthodes de mesure du MB ne sont pas uniformes. En effet, certains mesurent le MR (mesure faite chez un sujet éveillé, au repos), d'autres le MB et d'autres un paramètre au niveau de la mer et un autre en altitude. Il est donc difficile d'en arriver à une conclusion. Néanmoins, l'augmentation du MB serait une réponse du stress causé par l'exposition à l'altitude ou encore du stress d'un apport inadéquat en énergie (Mawson et coll., 2000). Ceci s'explique par un niveau plus élevé en situation d'hypoxie de certaines hormones dont le cortisol, l'adrénaline et la noradrénaline (Mawson et coll., 2000; Mazzeo et coll., 1991; Mazzeo et coll., 1998).

Il semble que le MB tende à revenir aux valeurs de départ après une exposition initiale à l'altitude (Butterfield, 1999; Hannon et Sudman, 1973; Kayser, 1992; Kellogg et coll., 1957; Mawson et coll., 2000; Moore et coll., 1987). Plusieurs hypothèses ont été émises afin d'expliquer ce phénomène. Des apports énergétiques insuffisants entraîneraient une diminution du MB et donc de la dépense énergétique due à une perte de la masse métaboliquement active qu'accompagne la perte de poids ainsi qu'une diminution de la thermogénèse alimentaire (Butterfield, 1999; Kayser, 1992). De plus, le stress lié à l'altitude diminuerait avec le temps (Butterfield, 1999). D'un autre point de vue, certains auteurs expliquent que la balance énergétique s'équilibre avec l'adaptation à l'altitude, car les sujets sont en mesure de consommer de plus grandes quantités d'aliments (Kayser, 1992; Mawson et coll., 2000). Butterfield et coll. (1992) ont trouvé que lorsque les apports énergétiques sont équivalents ou plus grands que ceux nécessaires au niveau de la mer sans, par

contre, rencontrer les besoins réels, le MB augmente pendant les premiers jours (27% plus élevé aux jours 2 et 3). Selon les auteurs, cette observation est directement reliée à l'exposition à l'altitude. Tel qu'observé dans d'autres études, le MB des sujets de l'étude de Butterfield et coll. (1992) est redescendu par la suite tout en restant plus élevé d'environ 17% comparativement au niveau de la mer. Cette différence s'explique par le fait que pour les jours subséquents, les sujets de leur étude consommaient des apports supérieurs aux besoins établis au niveau de la mer de façon à rencontrer les besoins réels. Un apport adéquat en énergie pourrait entraîner une augmentation des besoins en altitude en maintenant élevés les besoins du MB (Butterfield, 1996).

Dans une étude menée sur 16 femmes en santé, le MB est revenu aux valeurs du niveau de la mer après 5 jours d'exposition à 4300 m (Mawson et coll., 2000). D'après ces auteurs, cette observation pourrait être en lien avec la condition physique de la femme. Le MB des femmes en bonne condition physique ($VO_{2max} > 42 \text{ ml/kg/min}$) retournait aux valeurs mesurées au niveau de la mer, tandis qu'il restait élevé de 10% chez les femmes en moins bonne forme ($VO_{2max} < 42 \text{ ml/kg/min}$). Malgré que le MB des sujets féminins soit retourné à la valeur de base après 5 jours d'exposition en altitude, les besoins énergétiques, nécessaires au maintien du poids, demeuraient élevés. L'effet thermique des aliments et l'effet thermique des activités physiques ne semblent pas expliquer ce phénomène.

3.2.2.2 Froid

Pour une personne convenablement vêtue, le fait d'effectuer une activité au froid n'affectera pas nécessairement ses besoins énergétiques (Askew, 1995; Edwards et coll., 1995). Toutefois, si les vêtements ne fournissent pas une isolation adéquate contre le froid (vêtements mouillés, augmentation du vent

ou diminution de la température), une augmentation de la dépense énergétique peut survenir due au frissonnement, un mécanisme d'adaptation servant à maintenir la température corporelle. Le coût approximatif du grelottement est d'environ 425 kcal par heure et peut causer une déplétion précoce des réserves en glycogène de l'organisme (Edwards et coll., 1995). L'augmentation des besoins énergétiques observée en altitude ne semble pas être causé par le froid directement (Askew, 1995; Leblanc, 1975), mais plutôt par le poids des vêtements, l'équipement technique et le type de surface du terrain (glace, neige, crevasse, etc.), et ce pour une même activité (Edwards et coll., 1995). A titre de comparaison, la dépense énergétique d'un homme mesurant 1,70 m et pesant 70 kg qui fait de la raquette avec une charge de 35 kg passe de 10 kcal/min dans 10 cm de neige à 16 kcal/min dans 30 cm de neige soit une différence de 360 kcal/heure (Edwards et coll., 1995).

3.2.2.3 Exercice

Il y a également une augmentation importante de la dépense énergétique due à l'activité même de ce genre d'expédition (Askew, 1995; Butterfield, 1999; Edwards et coll., 1995; Kayser, 1992). Lors d'une expédition en haute montagne, le type d'effort sera inévitablement de longue durée, d'intensité moyenne à élevée accompagné de périodes de repos. Plus on monte en altitude, plus on se rapproche de la VO_{2max} et plus le glycogène sera utilisé comme substrat énergétique. Richalet et Herry (2003) donnent l'exemple suivant pour expliquer ce phénomène : pour un sujet présentant une puissance maximale aérobie de 300 watts au niveau de la mer, un effort physique effectué à 100 watts correspond à 33% de son maximum et donc à un exercice modéré qui peut être tenu un long moment. À 8000 m, la puissance aérobie maximale de ce même sujet ne sera que de 110 watts. Le même effort produit à 100 watts représentera 90% de son maximum, ce qui signifie que le sujet ne

tiendra que quelques minutes à cette intensité et les réserves de glycogène seront la principale source d'énergie.

La dépense énergétique pour un homme lors d'expédition en montagne sera inévitablement augmentée, comme on vient de le voir, à cause du froid, s'il est mal vêtu, du type de terrain (neige, glace) et du dénivelé (Askew, 1995). Une série de recherches effectuées au froid avec le personnel des Corps de l'armée américaine et de la marine américaine indiquent que la dépense énergétique varie de 3950 kcal à 5589 kcal (Edwards et coll., 1995). Dans les forces armées américaines et britanniques, la recommandation énergétique pour un homme est de 4500 kcal par jour (Edwards et coll., 1995). Cet apport assure de rencontrer les besoins de la plupart des activités menées au froid. Dans des circonstances où les activités sont très intenses et au froid, les besoins en énergie passeront de 4200 à environ 5000 kcal/jour ou 54 à 62 kcal/kg de poids corporel, alors que dans des conditions de sédentarité, les besoins varient de 3632 à 4317 kcal/jour ou 46 à 57 kcal/kg de poids corporel (Jones et Lee, 1996). Le tableau IV, adapté de Tharion et coll. (2005) résume bien les études où la dépense énergétique a été mesurée par la technique de l'eau doublement marquée principalement en altitude et au froid.

La dépense énergétique moyenne est de 4338 kcal/jour (variant de 3274 kcal/jour à 7131 kcal/jour) et de 58,3 kcal/kg de poids corporel (variant de 45,5 à 89,4 kcal/kg de poids corporel/jour) selon le type d'activité, le climat et le type de terrain. La plus grande dépense énergétique (7131 ± 215 kcal/jour) a été notée chez un groupe de soldats en entraînement hivernal et particulièrement actifs pendant les 4 premiers jours. La dépense énergétique moyenne pour les 11 jours d'entraînement était plutôt de 4920 ± 908 kcal/jour (Tharion et coll., 2005). Les facteurs d'activité en tant que multiple du MR sont fréquemment utilisés pour estimer la dépense énergétique. Ils définissent les niveaux d'activité d'une personne sédentaire ($\geq 1,0 < 1,4$), faiblement active ($\geq 1,4 < 1,6$), active ($\geq 1,6 < 1,9$) et très active ($\geq 1,9 < 2,5$) (Institute

of Medicine, 2002). Les études utilisant la méthode de l'eau doublement marquée chez des groupes de soldats en montagne montrent que le niveau d'activité est en général plus grand que $2,10 \times MB$ (Hoyt, 1996).

3.2.2.4 Hydratation

Il est reconnu de tous que les pertes en eau augmentent lors d'une activité en endurance dues surtout aux plus grandes pertes par la sueur. Les études révèlent que les pertes liquidiennes en altitude seront principalement causées par l'hyperventilation, la diurèse, l'air plus sec et la sueur (Brouns, 1992; Butterfield, 1999; Fusch et coll., 1996; Kayser et coll., 1992; Kayser, 1994). Le vent, l'exercice prolongé, l'équipement vestimentaire non adéquat, la difficulté pour s'approvisionner en liquides, l'anorexie et les nausées sont d'autres facteurs contribuant à une déshydratation (Richalet et Herry, 2003). Par contre, ces pertes ne seront pas toujours remplacées par des apports hydriques appropriés.

Les besoins en liquide sont de l'ordre de 3 à 5 litres par jour selon l'intensité de l'effort (Butterfield, 1999; Richalet et Herry, 2003). En haute altitude, les pertes d'origine sudorale seront de 0,5 à 1 L/h, alors que les pertes respiratoires pourront atteindre 200 ml/h (Richalet et Herry, 2003). Il semble que ces dernières atteignent un maximum d'environ 1900 ml/jour chez les hommes (Butterfield et coll., 1992) et 850 ml/jour chez les femmes (Mawson et coll., 2000).

L'air inspiré dans les hauteurs est plus sec et plus froid, ce qui entraîne une plus grande perte en eau. En effet, le corps devra alors humidifier et réchauffer chacune des inspirations avant d'envoyer l'air aux poumons. Cette eau et cette chaleur seront ensuite perdus dans l'air expiré (Butterfield, 1999). On nomme cette perte en eau *perte insensible*. Une plus grande

diurèse peut également se manifester en situation d'hypoxie (Butterfield, 1999) et sera d'environ 500 ml/jour chez un sujet de poids stable (Butterfield, 1996). La diurèse secondaire à une exposition aiguë à l'altitude pourrait être minimisée en fournissant suffisamment d'énergie au corps (Roberts et coll., 1996a; Roberts et coll., 1996b). Par contre, certains mentionnent que cette diurèse est un mécanisme d'adaptation positif à l'altitude (Butterfield, 1999).

Les recommandations concernant la prévention d'une déshydratation sont les suivantes : 1) Encourager les participants à boire selon un horaire régulier même si la soif ne se fait pas sentir de façon à consommer au moins 4 L de liquide dans la journée. Pour des activités plus intenses, les besoins en liquide s'approchent davantage de 6 L. 2) En cas de nausées, de petites quantités fréquentes seront mieux tolérées. 3) Choisir des breuvages sans caféine le plus possible. 4) Inclure des breuvages chauds en conditions de froid. 5) Enseigner aux participants à vérifier la couleur et le volume de leur urine. Une urine de couleur jaune foncée et peu abondante est probablement un signe de déshydratation. On visera une urine de couleur pâle (Baker-Fulco et coll., 2001).

Tableau IV : Dépense énergétique totale mesurée par la méthode de l'eau doublement marquée dans différents environnements

Chercheurs	Population	Tâches	n et sexe	Durée (jours)	Climat	T (°C) ^a	Type de terrain et/ou altitude ^a	Dépense énergétique totale (kcal/jour) ^b	Dépense énergétique totale/ kg de poids (kcal/kg/jour) ^a
(Reynolds et coll., 1999)	Personnel du camp de base	Expédition au Mt Everest	3 F	21	Froid	ND	5300 à 5600 m d'altitude	3274 ± 540	56,5
(Bovill et coll., 2002; Tharion et coll., 2004)	Soldats des forces armées américaines	Activités de support en garnison	10 H	9	Tempéré	ND	Forêt et montagne	3445 ± 239	47,1
(Edwards et coll., 1991)	Soldats de l'armée américaine	Construction de route et piste d'atterrissage en Bolivie	11 H	10	Haute altitude, tempéré	ND	Montagne	3549 ± 621	ND
(Hoyt et coll., 1991b)	Marines américains	Entraînement militaire : ski, biathlon, raquette	23 H	7	Froid, neige	-15 à 33	2210 m d'altitude	3632 ± 239	45,5
(Burnstein et coll., 1996)	Soldats israéliens d'infanterie	Entraînement au combat en Israël	12 H	12	Chaud et ensoleillé	23 à 31	Montagne	3937 ± 167	58,1
(Shippee et coll., 1994)	Étudiants commandos de l'armée américaine	Entraînement en montagne de commandos	5 H	19	Tempéré	10 à 29	Montagne	3950 ^c	ND
(Hoyt et coll., 1993; Moore et coll., 1992)	Étudiants commandos de l'armée américaine	Entraînement de commandos	6 H	62	Tempéré à chaud	5 à 33	Forêt, jungle montagne, désert	4010 ± 836	56,5
(Shippee et coll., 1994)	Étudiants commandos de l'armée américaine	Entraînement de commandos	6 H	69	Tempéré à chaud	9 à 33	Forêt, jungle montagne, désert	4090 ± 478	ND
(Bovill et coll., 2002; Tharion et coll., 2004)	Soldats des forces armées américaines	Entraînement de combat en garnison	10 H	9	Tempéré	ND	Forêt et montagne	4099 ± 741	49,3
(Jones et coll., 1993)	Soldats canadiens	Entraînement d'infanterie en arctique	10 H	9	Froid	-40 à 5	Neige et glace	4179 ± 956	ND
(Hoyt et coll., 1991a; Hoyt et coll., 1994)	Soldats des forces armées américaines	Entraînement de combat en hiver au Mt Rainier	6 H	6	Froid, neige et vent	-15 à 5	4392 m d'altitude	4248 ± 574	54,3
(Burnstein et coll., 1993)	Soldats israéliens d'infanterie	Manœuvres de routine sur le terrain	19 H	12	Froid	0 à 12	ND	4249 ± 645	59

(King et coll., 1992)	Unité d'artillerie de l'armée américaine	Entraînement d'artillerie	10 H	10	Froid	-40 à -6	Neige et glace	4253 ± 478	53,8
(Burnstein et coll., 1996)	Soldats israéliens d'infanterie	Entraînement au combat en Israël	18 H	12	Froid et pluie	4 à 12	Montagne	4281 ± 167	60,6
(Jones et coll., 1993)	Soldats canadiens	Entraînement d'infanterie sur l'île de Baffin	10 H	10	Neige et glace	-40 à 5	Neige et glace	4317 ± 932	56,1
(Pulfrey et Jones, 1996)	Alpinistes	Expédition au Mt Shisha Pangma	1 F, 5 H	7	Froid	ND	6800 à 8046 m d'altitude	4637 ± 287	ND
(Hoyt et coll., 1991a; Hoyt et coll., 2002)	Marines américains	Entraînement d'infanterie en montagne	23 H	11	Froid	-15 à 13	2550 m d'altitude	4920 ± 908	61,6
(Edwards et coll., 1992; King et coll., 1992)	Soldats américains	Entraînement d'infanterie en hiver	8 H	9	Froid	-48 à -3	Neige et glace	5170 ^c	ND
(Reynolds et coll., 1999)	Alpinistes	Expédition au Mt Everest	1 F, 6 H	21	Froid	ND	5300 à 8848 m d'altitude	5394 ± 1565	68,6
(Hoyt et coll., 1991b)	Marines américains	Entraînement en ski et en raquette	23 H	4	Froid	-15 à 13	2550 m d'altitude	7131 ± 215	89,4

Adapté de Tharion et coll. (2005)

^a ND, non disponible ou non mesuré.

^b Dépense énergétique totale moyenne ± écart-type.

^c Dédit d'un graphique et/ou non rapporté dans le rapport original.

3.2.2.5 Malabsorption des macronutriments

La malabsorption des macronutriments en lien avec la perte de poids a fait l'objet de plusieurs études (Imray et coll., 1992; Kayser et coll., 1992; Rai et coll., 1975; Westerterp et coll., 1994). Rai et coll. (1975) ont montré qu'un apport de 232 g de gras à une altitude de 4700 m ne gênait pas son utilisation ainsi que sa digestibilité. Imray et coll. (1992) ont également démontré que l'absorption des lipides jusqu'à une altitude de 5500 m demeurait normale. Dans une étude menée par Kayser et coll. (1992), l'absorption des protéines ainsi que la digestibilité énergétique jusqu'à une altitude de 5000 m ne semblent pas jouer un rôle sur la perte de poids. Contrairement à ces résultats, Westerterp et coll. (1994) ont observé une malabsorption énergétique pendant un séjour de 3 semaines à 6500 m. La digestibilité mesurée en altitude était de 85% versus 94% au niveau de la mer. Les études actuelles démontrent que la malabsorption des macronutriments ne semble pas très importante jusqu'à une altitude de 5500 m et, même à des altitudes plus élevées, l'évidence d'une malabsorption reste à démontrer.

4. Apports alimentaires en altitude

4.1 Apports énergétiques

Il semble évident que les besoins en énergie lors d'une expédition en montagne sont plus élevés à cause des facteurs expliqués plus tôt. Qu'en est-il de l'apport réel en énergie ainsi que de la répartition en macronutriments des sujets exposés au froid et en altitude? Gullledge et coll. (2003) ont étudié, sur un groupe de 15 alpinistes expérimentés, les changements quotidiens de l'apport alimentaire lors d'une expédition de 15 jours au mont McKinley. Ils ont observé une augmentation significative au cours des jours 2 et 3 de l'apport en énergie et en macronutriments comparativement aux valeurs de

base. Ce phénomène n'est pas clair pour les auteurs qui l'expliquent par une augmentation de l'appétit due à la plus grande dépense énergétique ou encore parce que les sujets étaient conscients de l'importance de consommer de grandes quantités d'aliments. Les jours suivants, les apports en énergie et en macronutriments ont significativement diminué comparativement aux valeurs des jours 2 et 3. On a également noté que les apports étaient significativement plus bas pour les jours 8 à 11 comparativement aux valeurs de départ. Cette diminution de l'apport énergétique pourrait être en lien avec l'anorexie de l'altitude. Par contre, aucun changement significatif n'a été observé sur la répartition en macronutriments. Les sujets ont également perdu en moyenne $4,4 \pm 1,5$ kg pendant les 14 jours d'expédition, ce qui représente une perte d'environ 314 g/jour.

4.2 Apports en macronutriments

Tel que décrit plus tôt, plusieurs chercheurs ont vérifié l'absorption des macronutriments en altitude sans résultat concluant jusqu'à 5500 m. Y a-t-il une répartition optimale en macronutriments à considérer en altitude? Certaines études montrent que les sujets avaient une préférence pour les aliments plus riches en glucides (Boyer et Blume, 1984; Fenn, 1994). Une des explications tient tout simplement du fait de la plus grande disponibilité de ces aliments (Boyer et Blume, 1984; Fenn, 1994; Rose et coll., 1988). De plus, les glucides demeurent le carburant préféré des muscles à l'effort en haute montagne, car ils fournissent plus de calories pour chaque mole d'oxygène utilisée (Edwards et coll., 1995; Fusch et coll., 1998; Kayser et coll., 1992; Richalet et Herry, 2003). Avec les glucides, il y aura libération de 120 kcal par molécule d'O₂ consommée, 100 kcal pour les lipides et 20 kcal pour les protéines (Richalet et Herry, 2003). Par contre, si l'apport énergétique est insuffisant, il y aura diminution de l'oxydation des glucides au dépend de l'utilisation accrue des protéines comme source d'énergie (Butterfield, 1999).

De plus, les changements hormonaux rencontrés en situation hypoxique favoriseraient le catabolisme protéique tout en diminuant la synthèse de ce macronutriment (Edwards et coll., 1995; Fusch et coll., 1998). Richalet et Herry (2003) suggèrent, comme ration idéale, une répartition énergétique procurant 60% de glucides, 25% de lipides et 15% de protéines pour un apport total de l'ordre de 3 000 à 4 000 kcal. À des intensités plus élevées, les glucides et les protéines seront à privilégier (Butterfield, 1999). Après l'acclimatation, il semble possible de fournir des aliments qui fournissent plus de 40% de l'énergie sous forme de gras (Lickteig, 2000). Ceci est un grand avantage car ces aliments ont une plus grande densité énergétique.

Il n'y a pas d'évidence, jusqu'à présent, qu'une diète particulière soit plus avantageuse pour contrer les effets négatifs d'une exposition à l'altitude (Butterfield, 1999). Ce qui compte, c'est d'encourager les alpinistes à consommer suffisamment d'énergie en accordant une importance particulière aux glucides, le substrat par excellence pour les muscles à l'effort. De cette façon, il sera possible de retarder l'apparition de la fatigue en cours d'expédition ainsi qu'en période de récupération (Richalet et Herry, 2003). Il est donc prudent de s'assurer que l'alimentation rencontre les recommandations énoncées par l'*Institute of Medicine* : 45 à 65% de l'énergie sous forme de glucides, 20 à 35% de l'énergie sous forme de lipides et 10 à 35 % de l'énergie sous forme de protéines (Institute of Medicine, 2002) tout en s'approchant des recommandations émises pour les sports en endurance. En effet, ces athlètes sont, dans la plupart des cas, actifs un long moment dans la journée et ce pendant plusieurs jours. Le menu devrait ainsi fournir environ 7 à 10 g/kg de poids corporel de glucides afin de maintenir les réserves en glycogène, entre 1,2 et 1,4g/kg de poids de protéines et au moins 1g/kg de poids de lipides (Coleman, 2000; DC et coll., 2000).

4.3 Apports en micronutriments

Dans un rapport sur la prise de position des Diététistes du Canada, de l'American Dietetic Association et de l'American College of Sports Medicine sur la nutrition et la performance sportive (DC et coll., 2000), on s'entend pour dire que l'exercice physique peut entraîner une augmentation ou une modification des besoins en micronutriments de par leurs rôles sur la production de l'énergie, le système immunitaire, la protection contre l'oxydation, la formation de l'hémoglobine, l'intégrité de la masse osseuse et la formation et la réparation des tissus. Il est donc recommandé aux athlètes d'adopter une alimentation qui rencontre, du moins, les ANREF (Institute of Medicine, 1997; 1998). Qu'en est-il des besoins en micronutriments des athlètes qui s'aventurent au froid et en altitude pendant plusieurs jours? Peu de données nous permettent d'affirmer que les alpinistes qui s'aventurent dans ces conditions ont des besoins significativement plus élevés en vitamines et minéraux que ceux rencontrés par une diète équilibrée sauf pour les antioxydants (Askew, 1995). Par contre, pour les gens qui s'aventurent en haute altitude et au froid sur une longue période de temps, il semble prudent de consommer des vitamines et minéraux spécifiques en plus grandes quantités que celles établies dans l'*Institute of Medicine* (Reynolds, 1996). Le tableau V, adapté de Reynolds (1996), résume les recommandations en micronutriments en fonction des besoins particuliers d'une expédition au froid et en altitude. Il provient d'un document publié par le Committee on Military Nutrition research du Food and Nutrition Board, *Institute of Medicine* (1996).

Tableau V : Apports recommandés en micronutriments en altitude et au froid

Micronutriment	Unité	Apport cible ^a	ANREF ^b	MRDA ^c
Vitamines liposolubles				
Vitamine A	µg ÉAR ^d	1000	900	1000
Vitamine D	µg	10	5*	—
Vitamine E	mg α-tocophérol	400	15	10
Vitamine K	µg	70-80	120*	—
Vitamines hydrosolubles				
Thiamine	mg	3	1,2	1,6
Niacine	mg	20	16	21
Riboflavine	mg	3	1,3	1,9
Vitamine B ₆	mg	2	1,3	2,2
Vitamine B ₁₂	µg	3	2,4	3
Acide pantothénique	mg	10	5*	—
Biotine	µg	30-100	30*	—
Acide folique	µg	400	400	400
Vitamine C (mg)	mg	250	90	60
Minéraux				
Calcium	mg	800-1200	1000*	800-1,200
Phosphore	mg	800-1200	700	800-1,200
Magnésium	mg	400	400-420	350-400
Fer	mg	15	8	10-18
Zinc	mg	20	11	15
Cuivre	µg	1500-3000	900	—

Source: Adapté de Reynolds (1996).

^a Apport recommandé par l'auteur.

^b Ces données présentent les Apports nutritionnels recommandés (ANR) et les Apports suffisants (AS) pour les données suivies d'un astérisque (*) pour les hommes âgés de 19-30 ans et 31-50 ans (Institute of Medicine, 1997; 1998).

^c Military Recommended Dietary Allowance (U.S. Departments of the Army the Navy and the Air Force, 1985).

^d ÉAR, Équivalents d'activité rétinol.

Les micronutriments pour lesquels un plus grand apport est recommandé sont : la vitamine E, la thiamine, la riboflavine, l'acide pantothénique, l'acide folique, la vitamine C, le fer et le zinc (Reynolds, 1996). Étant donné qu'il existe peu de données à ce jour concernant l'apport en vitamines et minéraux en haute altitude, il est prudent de s'assurer d'un apport rencontrant du moins les recommandations individuelles pour les Canadiens et Américains issues de l'*Institute of Medicine* (1997; 1998).

Il semble qu'un plus grand apport en vitamines du complexe B, vitamines impliquées dans la production d'énergie, soit nécessaire afin de satisfaire les plus grands besoins énergétiques des athlètes. Cependant, de plus grands apports alimentaires, qui assurent un maintien du poids corporel, pourraient combler ces besoins sans la prise de suppléments (Butterfield, 1999).

Plusieurs études se sont penchées sur la stimulation hématopoïétique suite à une exposition à l'altitude. La réponse induite par l'hypoxémie réside en une stimulation de la sécrétion d'érythropoïétine (EPO) par le rein. Cette hormone stimule à son tour la production des globules rouges dans la moelle osseuse. On notera une polyglobulie liée à l'altitude qu'après une période d'environ 5 à 7 jours et sera significative au delà de 1500 m. Une baisse de la concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine peut être notée en début de la phase d'acclimatation à l'altitude, mais elle sera transitoire. On note également une augmentation de l'incorporation du fer (Richalet et Herry, 2003). Il est donc recommandé de vérifier la numération globulaire et la ferritinémie, surtout chez la femme, avant un séjour de plus de 3 semaines en haute altitude. La valeur de référence minimale pour la ferritine sérique est de 50 µg/L (Butterfield, 1999; Richalet et Herry, 2003). Une attention particulière devrait être portée à l'alimentation avant et pendant l'expédition sur son contenu en fer. En cas de déficit en ce minéral avant le départ, un supplément est recommandé (Richalet et Herry, 2003).

Askew (2002) mentionne, dans un résumé d'articles, qu'il est évident que le stress oxydatif est plus important en altitude. Le corps dispose d'une défense naturelle pouvant contrer les effets négatifs des radicaux libres lors d'un effort physique effectué au niveau de la mer ou lors d'une exposition à l'altitude, au repos, mais si l'on combine à l'altitude la pratique d'un exercice, le système de défense antioxydant ne semble plus pouvoir exercer son rôle convenablement (Moller et coll., 2001). Un grand nombre d'études portant sur la prise d'un supplément d'antioxydants pendant l'exercice existe,

mais beaucoup moins de chercheurs se sont penchés sur la question lors d'une exposition à l'altitude (Askew, 2002). Ces études montrent que l'utilisation de suppléments d'antioxydants peut entraîner une diminution des indicateurs du stress oxydatif dans le sang, l'urine et la respiration en altitude chez les sujets (Bailey et Davies, 2001; Chao et coll., 1999; Pfeiffer et coll., 1999) ou chez les sujets présentant une faible capacité antioxydante au départ (Schmidt et coll., 2002). Il semble aussi qu'une combinaison d'antioxydants serait plus efficace contre le stress oxydatif qu'un antioxydant seul (Chao et coll., 1999; Palozza et Krinsky, 1992; Stahl et coll., 1998).

Bien que des études montrent les effets bénéfiques de suppléments d'antioxydants sur la santé, il n'est pas évident de savoir si la protection est assurée par les antioxydants même ou par l'interaction des composés actifs des aliments (McArdle et coll., 2004). Un supplément de vitamine E semble particulièrement bénéfique pour la protection cellulaire et la performance physique en altitude (Simon-Schnass et Pabst, 1988). Dans l'étude de Simon-Schnass et Pabst (1988), on a noté que l'expiration du pentane, un indicateur de la peroxydation lipidique, dans le groupe supplémenté en 2 x 200 mg de vitamine E restait constante, contrairement au groupe contrôle où l'expiration moyenne de pentane augmentait de plus de 100% suite à une exposition prolongée en haute altitude (5100 m).

Il existe peu de données sur l'effet d'un supplément en vitamine C chez les humains qui s'aventurent en altitude et au froid. Schreiber (1992) rapporte qu'un supplément de vitamine C donné à des rats exposés entre 9000 et 12 000 m d'altitude dans une chambre hypobare augmentait leur capacité de survie. L'application de ces données aux humains cause certains problèmes. Premièrement, les humains ne peuvent être exposés à une altitude de 9000 m, sachant que le plus haut sommet du monde se trouve à 8846 m. En deuxième lieu, une dose de 1 mg par g de poids corporel d'acide ascorbique fournie aux rats correspond à une dose de 70 g pour un homme de 70 kg, ce qui est

extrêmement élevé (Butterfield, 1999). Purkayastha et coll. (1999), ont voulu étudier l'utilité d'un supplément de vitamine C et E seuls et une combinaison des deux chez l'humain en mesurant la réponse au test de *cold-induced-vasodilatation (CIVD)*, un indice de la réponse vasculaire périphérique. Cette étude avait pour but d'atténuer le stress causé par le froid et l'hypoxie. On a noté une meilleure réponse aux tests chez les groupes supplémentés en vitamines comparativement au placebo. Par contre, l'administration de 500 mg par jour de vitamine C semblait plus bénéfique selon les résultats obtenus au test de CIVC. La consommation d'un supplément de vitamine E combiné à la vitamine C n'a pas montré d'effets bénéfiques supplémentaires. Les auteurs concluent que l'efficacité de la vitamine C sur la réponse vasculaire périphérique en cours d'acclimatation à l'altitude peut être liée à ces propriétés antioxydantes et à ses diverses fonctions physiologiques incluant ses propriétés thermogènes et métaboliques, son rôle dans la synthèse du collagène, son activité anti-stress, son rôle dans la restauration des substances intercellulaires et son implication dans la maintenance du statut rhéologique du sang.

Bien que chacun des antioxydants aient un rôle précis dans l'organisme, un mélange d'antioxydants semblerait plus efficace pour contrer le stress oxydatif dans un environnement extrême qu'un supplément d'un seul antioxydant (Askew, 1995).

4.4 Grosseur et fréquence des repas

La grosseur et la fréquence des repas sont deux critères à considérer lors de la planification du menu en expédition. Une trop longue période de temps entre les repas peut entraîner une diminution de la concentration, de l'irritabilité ou encore de l'agitation (Hutchinson, 1952; Richalet et Herry, 2003). De plus, divers facteurs donnent lieu à une satiété précoce et à une diminution de l'appétit lors de la prise d'un repas en altitude (Westerterp-Plantenga et coll., 1999). Il est donc recommandé de fractionner la prise alimentaire en plusieurs petits repas. Kreider et Buskirk (1957) ont montré, il y a quelques années déjà, qu'un supplément consommé 10 minutes avant de se coucher dans le sac de couchage à -37°C augmentait la température du corps et réduisait la fréquence des réveils pendant la nuit.

4.5 Choix d'aliments

De nos jours, une grande variété d'aliments existe pour les adeptes de plein air. Pour limiter le plus possible le poids de la charge, les aliments choisis seront préférentiellement déshydratés ou lyophilisés. La palatabilité est un des facteurs à considérer lors du choix des aliments. En effet, il a été démontré que l'apport alimentaire est plus élevé à mesure que la palatabilité augmente (Bellisle et Le Magnen, 1981; Bellisle et coll., 1984; Spiegel et coll., 1989). Les propriétés sensorielles des aliments mesurées pour juger de la palatabilité sont le goût, l'odeur, la texture, l'apparence visuelle, la température, le son et les sensations irritantes (Hyde et Witherly, 1993). De ce fait, un repas comprenant une variété d'aliments, de saveurs et de textures favorisera la prise alimentaire (Hetherington et coll., 2006; Sorensen et coll., 2003).

La monotonie se manifestera rapidement en présence de repas peu variés et répétitifs ce qui risque de conduire à un apport moindre en calories. Rolls et De Waal (1985) ont montré, chez un groupe de réfugiés éthiopiens, qu'une diète monotone à long terme risque de développer une *satiété sensoriel-spécifique*. Ce phénomène se définit comme une réduction de l'appétit pendant un repas relative aux aliments consommés plus tôt dans le même repas (Rolls et coll., 1981a). En parallèle, il a été démontré que les apports alimentaires sont plus grands chez des sujets à qui on présente une plus grande variété d'aliments (Bellisle et Le Magnen, 1981; Rolls et coll., 1981b).

Le phénomène d'*alliesthésie alimentaire négative* prend alors toute son importance. On le décrit comme étant une diminution de l'appétence pour un mets ou une saveur suite à une consommation répétée. En d'autres mots, le plaisir initial que procurait une saveur sucrée, par exemple, peut devenir désagréable lorsque l'organisme en a assez. (Frankham et coll., 2005).

En somme, il est primordial que les mets plaisent à chacun des membres de l'équipe. À ce sujet, il est recommandé de questionner les alpinistes avant l'élaboration du menu sur leurs préférences, aversions, intolérances ou allergies alimentaires. Il n'est pas souhaitable, toutefois, de prévoir des plats qui demandent beaucoup de temps de préparation qui risquent d'épuiser les réserves de carburant et les membres de l'expédition! Des menus adaptés aux goûts de chacun, variés, de haute densité énergétique et demandant peu de temps de préparation contribueront au succès de l'expédition.

B. HYPOTHÈSES ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

1. Hypothèses

- 1) Les besoins énergétiques tels qu'estimés pour des hommes participant à une expédition en montagne à partir d'une mesure directe du métabolisme de repos ainsi que de la dépense énergétique moyenne établie pour ce type d'activité permettront de rencontrer les besoins réels, tel qu'exprimé par le maintien du poids corporel.
- 2) Les besoins en macronutriments tels qu'estimés à partir des recommandations émises pour les sports d'endurance ainsi que pour des expéditions en montagne permettront de rencontrer les besoins réels, tel qu'exprimé par le maintien de la composition corporelle (masse maigre : masse grasse).

2. Objectif général

Ce projet s'inscrit dans une étude plus vaste visant à améliorer les connaissances dans le domaine de l'alimentation lors d'expéditions en montagne. L'objectif principal est de prédire les besoins en énergie et en macronutriments d'hommes participant à une expédition en haute altitude et dans des conditions de froid intense en fonction des caractéristiques physiques de chacun et des conditions d'expédition afin d'assurer le maintien du poids corporel, et d'éviter la fonte musculaire souvent observée dans ces conditions. Un autre projet découlant de cette étude, se penche sur les facteurs psycho environnementaux qui influencent la consommation alimentaire lors de ce genre d'expédition.

3. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce projet sont de : 1) développer une technique d'estimation des besoins nutritionnels des athlètes en prévision d'une expédition en montagne; 2) développer des recettes et un menu qui répondent aux conditions environnementales et aux besoins particuliers des aventuriers et 3) évaluer l'effet de l'expédition sur la composition corporelle.

C. MÉTHODOLOGIE

1. Composition de l'équipe

L'équipe de l'expédition Logan-McKinley se composait de quatre hommes âgés entre 22 et 30 ans, ne présentant aucun problème de santé, non-fumeurs et de poids normal. Le lieu de résidence des membres de l'équipe se situe au niveau de la mer. Les sujets étaient tous actifs physiquement avant le départ pour l'expédition. Ils pratiquaient sur une base régulière des sports tels que la course à pied et le vélo à raison de 3 à 4 heures par semaine dans le but d'entretenir le niveau de forme. À titre d'entraînement plus spécifique pour la montagne, ils ont participé à des expéditions hivernales dans les Green Mountains, les Adirondacks et les White Mountains et pratiqué l'escalade de glace. En plus, trois d'entre eux avaient à leur actif l'ascension de monts de plus de 5000 m au Pérou et en Argentine dont le Mont Aconcagua et le Mont Tocllaraju.

2. Description des monts

Cette recherche s'est effectuée sur un groupe d'hommes participant à une expédition en montagne au mont Logan (5959 m) ainsi qu'au mont McKinley (6193 m). Le mont Logan est le plus haut sommet du Canada et le deuxième en Amérique du Nord après le mont McKinley.

2.1 Mont Logan

Il est situé dans le Parc National de Kluane, au sud-ouest du Yukon. La montagne a été nommée en l'honneur du fondateur montréalais de la commission géologique du Canada : Sir William Edmond Logan.

Tout au long de l'année, cette région est couverte de neige, ce qui explique que c'est à cet endroit que les températures les plus froides du globe ont été enregistrées. Les tempêtes sont fréquentes dans cette région de haute altitude. Elles sont plus que souvent accompagnées de vents soufflant à plus de 100 km/h, de températures extrêmement froides et de chutes de neige durant plusieurs jours. Pendant la saison printanière, le seul moment où il est possible de gravir ces sommets, la température peut atteindre -40°C ou se maintenir au-dessus du point de congélation, selon l'altitude, l'orientation et les conditions atmosphériques.

Il est possible d'accéder à ces chaînons *Icefield* par avion en une heure environ ou par la route en une à deux semaines environ. L'ascension des montagnes les plus élevées exige une longue randonnée sur les glaciers et de 10 à 20 jours d'escalade, selon l'itinéraire choisi, les conditions climatiques et l'état d'enneigement.

2.2 Mont McKinley

Le mont Mckinley aussi connu sous le nom de Denali est la plus haute montagne d'Amérique du Nord. Elle se situe en Alaska, sur le territoire du parc national Denali. On retrouve deux monts sur cette montagne : un au nord conquis pour la première fois en 1910 et un au sud, le véritable sommet, gravit pour la première fois en 1913. On y retrouve un climat hivernal tout au long de l'année. Il n'est pas rare d'enregistrer des vents violents soufflant à 160 km/h. Au printemps, les températures peuvent descendre jusqu'à environ -45°C . Comme pour le mont Logan, l'altitude, le gel, le vent et les températures arctiques sont les principaux dangers auxquels font face les expéditionnaires.

En 1947, une nouvelle voie est proposée : la *West Butrest*. Depuis, de plus en plus d'alpinistes tentent l'ascension. À ce jour, le mont accueille chaque

année environ 1000 alpinistes mais seulement 50 à 60% d'entre eux réussissent à atteindre le sommet. Les mois de mai et de juin sont les mois les plus achalandés, car par la suite, des crevasses et l'instabilité de la neige augmentent considérablement les risques de l'ascension.

3. Déroulement de l'étude

Les sujets devaient se rendre deux fois au laboratoire soit avant et après l'expédition. À la première visite, deux semaines avant le départ pour l'Ouest canadien, les sujets se sont présentés à l'Université de Montréal au département de nutrition et de kinésiologie pour des mesures de la composition corporelle, du métabolisme de repos (MR) et de la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}). À la deuxième visite, trois jours après la fin de l'expédition, les sujets devaient se rendre à l'Université de Calgary pour effectuer les mesures du poids corporel, de la taille et de la composition corporelle. Les participants devaient également tenir un journal alimentaire avant et pendant l'expédition. À leur retour à Montréal, suite à l'expédition, une rencontre a eu lieu avec tous les membres pour recueillir leurs commentaires généraux et personnels sur divers sujets concernant le projet.

4. Paramètres mesurés

4.1 Mesure des apports alimentaires

Les sujets ont d'abord complété un journal alimentaire «pré-départ» pendant cinq jours où ils devaient noter tous les aliments et les boissons consommés au cours de la journée. Ce journal a partiellement servi à estimer les besoins énergétiques. Un document incluant les directives pour remplir le journal et

un espace pour noter les aliments a préalablement été fourni aux sujets (Annexe 2).

En cours d'expédition, les apports alimentaires étaient notés dans le «carnet de voyage» sur une base quotidienne du premier au dernier jour de l'expédition. Ce carnet a été conçu de façon à être complété rapidement tout en ayant le plus petit format possible (Annexe 3). Les sujets devaient d'abord inscrire leurs initiales, la date et le numéro du sac. Les sacs de nourriture étaient numérotés de façon à savoir exactement ce qu'ils contenaient. De ce fait, les sujets devaient tout simplement noter les aliments non consommés dans la section *Reste* du carnet en y indiquant le pourcentage de reste ainsi que la raison explicative. Les aliments ajoutés ou échangés étaient notés dans la section *alim. ajoutés*. Pour leur faciliter la tâche, un choix de raisons expliquant les aliments prévus non consommés était fourni (G = goût, T = texture, A = appétit, P = perdu, E = environnement et X = autre) de même qu'une liste d'abréviations pour les aliments (Annexe 3).

4.2 Mesure des facteurs psycho environnementaux

Dans le même carnet de voyage, les sujets complétaient quotidiennement un questionnaire portant sur divers facteurs psycho environnementaux dont la palatabilité des aliments, les quantités d'aliments consommées, la perception de la faim et de la soif, l'état physique des participants, la durée et l'intensité de l'effort physique ainsi que leur état émotionnel (Annexe 3). Le niveau de satisfaction en lien avec la palatabilité et les quantités d'aliments était mesuré sur une échelle de 1 à 5 où 1 = très insatisfait, 2 = insatisfait, 3 = satisfait, 4 = plus que satisfait et 5 = très satisfait. Afin d'épargner l'espace dans le carnet, cette échelle était notée ainsi : 1 = min, 3 = normal et 5 = max. Les sujets étaient avisés de cette substitution au carnet. De plus, un des quatre membres de l'équipe avait pour tâche de compléter le questionnaire

concernant la géographie (ascension, durée, altitude du campement pour dormir, dénivelé, surface du terrain) et la météorologie (température, vent, neige) (Annexe 3).

4.3 Mesures anthropométriques

Les mesures anthropométriques du poids, de la taille, de la masse maigre et de la masse grasse étaient obtenues avant et après l'expédition. À la première visite au laboratoire, la composition corporelle était mesurée par densitométrie à l'aide d'un *Dual-energy x-ray absorptiometry (DXA)* utilisant un *LUNAR, Prodigy system, version 6.10.019 (General Electric Lunar Corporation, Madison, WI)*. Ce test ne dure qu'environ 10 minutes et permet de déterminer la composition corporelle, soit les masses maigre, grasse et osseuse. Les sujets devaient s'allonger sur la table d'examen et un rayon X de faible intensité balayait leur corps. Une estimation de la composition corporelle était également obtenue par la mesure de 10 plis cutanés selon la formule d'Allen et collaborateurs (1956), telle que modifiée par Zwirren et collaborateurs (1973) en pré et post expédition (Annexe 4). Le poids corporel avant et après l'expédition a été mesuré à jeun le matin. Avec l'aide d'un pèse-personne apporté par les membres de l'équipe, trois autres mesures du poids ont été effectuées : 1) à Montréal, au niveau de la mer, huit jours avant le début de l'expédition, 2) au jour 1, avant l'ascension du mont Logan et 3) au jour 23 (deux sujets) et 25 (deux sujets), au retour de ce mont.

4.4 Mesure du métabolisme de repos

Le MR était mesuré par calorimétrie indirecte à l'aide d'un SensorMedics Delta Track II (Datex-Ohmeda, Helsinki, Finland). Cet appareil est muni d'une hotte ventilée sous laquelle respire le sujet et qui permet de mesurer les concentrations de CO₂ et d'O₂. L'appareil est calibré avant chaque mesure pour la pression et les concentrations des gaz. Les mesures de la concentration des gaz sont ensuite utilisées pour déterminer le MR sur 24 heures par le biais de l'équation de Weir (1949). Les sujets étaient préalablement informés de jeûner et de seulement boire de l'eau 12 heures avant le test. Ils devaient également éviter de pratiquer des activités physiques, de fumer ou de boire de l'alcool dans les 24 heures précédant le test ainsi que d'effectuer le moins d'activité possible le matin des mesures. Les mesures sont effectuées en position couché allongé sans dormir ni parler et en minimisant les mouvements. La température de la pièce est maintenue à environ 22°C. Le test était d'une durée de 40 minutes. Les 10 premières minutes sont considérées comme une période d'adaptation pour les sujets et les 30 dernières minutes comptent dans les analyses.

4.5 Mesure de la capacité physique

Un test direct de la capacité aérobie (VO_{2max}) était effectué en après-midi, à la première visite au laboratoire de physiologie de l'exercice de l'Université de Montréal. Le protocole consistait en un test progressif sur bicyclette ergométrique (Ergomeca GP 440, La Bayette, France) débutant à 80 W avec palier de 40 W à chaque 2 minutes. À partir de 14 minutes de test, la puissance augmentait de 24 W. Les sujets devaient maintenir une vitesse de pédalage constante à 80 rpm tout au long du test. Un tube relié à l'appareil et dans lequel respiraient les sujets servait à mesurer les volumes des gaz (O_2 et CO_2). Le VO_{2max} était définie en fonction de la plus grande consommation d' O_2 moyenne sur 30 secondes. Cette mesure servait à quantifier la capacité physique des participants à l'étude.

5. Évaluation des besoins nutritionnels

5.1 Besoins en énergie

Les besoins en énergie ont été établis à partir des études concernant la dépense énergétique mesurée par la méthode de l'eau doublement marquée chez des sujets en montagne. Le tableau IV, adapté de Tharion et coll. (2005), regroupe une série d'études menées principalement chez des groupes de militaires en mission ou en entraînement en altitude dans un climat tempéré ou froid. Ces études montrent que la dépense moyenne est de 4338 kcal/jour (variant de 3274 kcal/jour à 7131 kcal/jour) soit 58,3 kcal/kg de poids corporel (variant de 45,5 à 89,4 kcal/kg de poids corporel/jour). De plus, il semble que le niveau d'activité des soldats est en général plus grand que 2,10 x MB dans les études où la dépense énergétique est mesurée par la méthode de l'eau doublement marquée (Hoyt, 1996). Il a donc été convenu de fournir un menu pour les jours actifs et de sommet qui correspond à environ 4500 kcal

par jour, soit 2,5 x MR ou 61 kcal/kg de poids corporel. Cette estimation est aussi en accord avec la recommandation des forces armées américaines et britanniques qui est de fournir en moyenne 4500 kcal/jour dans des conditions environnementales semblables (Edwards et coll., 1995).

Pour les jours de repos, le menu fournissait 3008 ± 197 kcal/jour soit 1,7 x MR ou 41 kcal/kg de poids corporel. Cet apport correspond à un niveau d'activité «actif» et permet de combler la plus grande dépense énergétique en altitude due à une augmentation du MB qui varie entre 7 et 28% (Butterfield et coll., 1992; Gill et Pugh, 1964; Hannon et Sudman, 1973; Kellogg et coll., 1957; Mawson et coll., 2000; Moore et coll., 1987). En supposant que le MB augmente de 17% en altitude, tel qu'observé dans l'étude de Butterfield et coll. (1992) chez des sujets consommant suffisamment d'énergie, le niveau d'activité correspond à 1,5 x MR de nos sujets. Un tel apport pour les jours de repos assurait de satisfaire les besoins de tous les participants.

Sur un total de 35 jours, le menu procurait en moyenne 4050 kcal/jour, soit 53 kcal/kg de poids corporel. Cet apport est calculé en fonction du nombre de jours estimé pour chaque type d'activité : actif, repos et sommet.

5.2 Besoins en macronutriments

Les besoins en macronutriments ont quant à eux été établis à partir des recommandations émises pour les sports d'endurance qui semblent tout aussi juste pour une expédition en montagne où l'effort physique est maintenu pendant plusieurs jours. Le menu doit rencontrer les recommandations suivantes : 7 à 10 g/kg de poids corporel de glucides, 1,2 à 1,4 g/kg de poids de protéines et au moins 1 g/kg de poids de lipides (Coleman, 2000; DC et coll., 2000). Ces recommandations assurent de rencontrer les apports nutritionnels de référence (ANREF) émis pour les Canadiens et Canadiennes,

soit 45 à 65% de l'énergie sous forme de glucides, 20 à 35% de l'énergie sous forme de lipides et 10 à 35 % de l'énergie sous forme de protéines (Institute of Medicine, 2002). Ils s'approchent également de la ration idéale suggérée par Richalet et Herry (2003) pour les expéditions en montagne qui est de 60% de glucides, 25% de lipides et 15% de protéines. Le détail du contenu moyen en énergie et en macronutriments du menu est donné au tableau VI.

Tableau VI: Contenu moyen des sacs en énergie et en macronutriments

Sacs	Moyenne ± écart-type										
	Énergie Kcal	Glucides			Protéines				Lipides		
		g	%	g/kg	g	%	g/kg MCT ²	g/kg MM ³	g	%	g/kg
Jours de repos	3008 ± 197	549,3 ± 33,4	73,1 ± 1,8	7,5 ± 0,4	71,8 ± 5,9	9,6 ± 0,9	1,0 ± 0,05	1,14 ± 0,07	58,2 ± 9,9	17,3 ± 2,2	0,8 ± 0,04
Jours actifs	4515 ± 151	662,3 ± 24,1	62,7 ± 2,0	9,0 ± 0,5	119,5 ± 8,3	11,3 ± 0,9	1,6 ± 0,1	1,90 ± 0,11	121,8 ± 13,9	26,0 ± 2,1	1,7 ± 0,1
Jours de sommet	4579 ± 83	756,8 ± 11,0	66,1 ± 0,5	10,3 ± 0,5	113,7 ± 6,5	9,9 ± 0,6	1,5 ± 0,1	1,81 ± 0,11	121,9 ± 4,9	23,9 ± 0,5	1,7 ± 0,1
Moyenne/jour ¹	4050	638	66,4	8,7	104	10,6	1,4	1,6	102	23,0	1,4

¹ Déterminée en fonction du nombre de sacs prévus pour chacun des types de jours (actifs - intensité élevée, de repos et de sommet). ² MCT = masse corporelle totale; ³ MM = masse maigre mesurée au DXA.

5.3 Besoins en liquide

L'apport hydrique recommandé en altitude est de 4 à 6 litres par jour selon les activités de la journée (Baker-Fulco et coll., 2001; Butterfield, 1999; Institute of Medicine, 1996; Richalet et Herry, 2003) afin de fournir au corps suffisamment de liquides pour couvrir les plus grandes pertes causées par l'hyperventilation, la diurèse, l'air plus sec et la sueur (Brouns, 1992; Butterfield, 1999; Fusch et coll., 1996; Kayser et coll., 1992; Kayser, 1994).

6. Planification alimentaire

6.1 Répartition des repas

Les sujets consommaient deux repas chauds (le déjeuner et le souper) et des vivres de course pour le dîner de façon à épargner du temps de préparation et du carburant. À chaque matin, ils devaient fondre la neige et/ou la glace pour préparer le lait accompagnant les céréales ou le gruau ainsi que le *Gatorade* consommé au cours de la journée. Les sujets disposaient de barres énergétiques et de fruits, de gorp et de pemmican qu'ils consommaient à leur guise au cours de la journée. Un repas lyophilisé leur était fourni le soir accompagné d'un bouillon, d'un dessert et de chocolat chaud. C'est à ce repas que les sujets disposaient de plus de temps pour la préparation des aliments.

6.2 Choix des aliments

Le menu devait rencontrer les besoins nutritionnels et les critères imposés par les sujets. Les critères de choix des aliments étaient : 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 ainsi que la durée de l'expédition et les conditions climatiques et environnementales. Le tableau VII résume l'ensemble des paramètres qui avaient un impact sur le choix des aliments. Les aliments choisis devaient contenir le moins d'eau possible pour éviter un surplus de poids. Les aliments étaient donc déshydratés, séchés, en poudre ou lyophilisés. Par souci du poids, les aliments présentant une grande valeur nutritive par rapport au poids étaient sélectionnés tout en prenant garde d'éviter les aliments trop riches en lipides qui sont plus difficiles à digérer à l'effort physique et à de hautes altitudes (Richalet et Herry, 2003).

Tableau VII: Paramètres à considérer pour le choix des aliments

Durée de l'expédition	Mont Logan: 21 jours (prévoir 5 à 6 jours supplémentaires) Mont McKinley (si bonnes conditions) : 10 jours
Températures	- 5 à - 50 °C
Budget pour la nourriture	10 à 15 \$ par jour par personne
Restriction de poids pour la nourriture	1 kg par personne par jour
Altitude	pas plus de 5 jours à plus de 5000 m
Équipement de cuisine	2 réchauds pour le groupe 2 gamelles de 2 litres pour le groupe 2 gourdes <i>Nalgènes</i> de 1 litre par personne 1 cuillère, 1 canif et 1 bol par personne
Points à considérer	Mettre tous les aliments pour la journée dans un même sac Faire un sac par personne par jour Inclure des repas simples et rapides Choisir des sacs pour les mets lyophilisés qui tiennent debout et dans lesquels il est possible de verser directement le liquide Inclure une variété de mets (aliments salés et sucrés) Ajouter des sauces pour accompagner les mets Inclure des plus gros repas au lieu de petits desserts Inclure des fruits et des légumes...si possible Ajouter des aliments surprises!
Composition des repas selon les préférences des sujets	
Déjeuner	Céréales chaudes ou froides Gruau Liquides (lait, chocolat chaud)
Dîner	Barres d'énergie (barres maison, <i>Harvest PowerBar</i> , <i>Peak Bar</i> , <i>Gatorade</i> , etc.) Liquides (boisson énergétique, eau)
Souper	Soupe ou bouillon Mets lyophilisés Dessert (fruits séchés, barres d'énergie, biscuits, gâteaux) Liquides (boisson énergétique, chocolat chaud, bouillon)

6.3 Composition du menu

Le tableau VIII contient la liste des aliments choisis pour l'élaboration du menu alors que le tableau IX montre les exemples de menu pour trois types de journées. Le déjeuner consistait en des céréales de type *Vector* ou *Croque Nature* ou du gruau instantané accompagné de Déjeuner instant. Une variété

de barres énergétiques et de fruits composait le dîner avec ajout d'un mélange de noix et de pemmican pour les jours où l'intensité de l'exercice prévu était plus importante. Les mets lyophilisés de marque *Lyosan* ont été sélectionnés pour les repas du soir accompagnés de saucissons (journées actives) et d'un dessert sous forme de biscuits ou de gâteau. Le choix des liquides s'est arrêté sur du Déjeuner instant pour le matin, du *Gatorade* pour le jour et des bouillons ainsi que du chocolat chaud pour le soir. Des aliments autres tels que des nougats, des bonbons et des grignotises de type *Mix Cheerios* étaient ajoutés certains jours.

Tableau VIII : Liste des aliments choisis pour l'expédition

ALIMENTS	ALIMENTS
Déjeuner	Souper
Croque Nature Recette originale	Mets lyophilisés (Lyosan)
Vector	Couscous Sultana
Gruau	Chili d'ici
Érable et cassonade	Chaudrée Nordique
Pommes et cannelle	Riz Méli-mélo
Brioche à la cannelle	Casserole mexicaine
Régulier	Dal-Bhat
Baies sauvages	Saucisson
Miel doré	Desserts
Dinosoeufs	Biscuits Chewy Chips Ahoy!
Déjeuner instant	Biscuits feuilles d'érable
Dîner	Biscuits crème fudge
Marco Bar (barre maison)	Barres (Newton) bleuets
Peak Bar	Barres (Newton) fraises
Cliff Bar	Gâteau Annapurna
Energie to Go	Carrés au chocolat
kettle valey fruit snack	Boules aux céréales
Sunkist	Rouleau à la guimauve
Gorp (mélange de noix salés + sucrés)	Barre Pria
Pemmican	Autres
Liquides	Bonbons (chocolat, jujubes)
Bouillon (poulet, oignon, boeuf)	Gel Carb Boom
Chocolat chaud	Nougat
Gatorade	Mix cheerios

Tableau IX : Exemples de menus selon le type de journée

	Jour de repos			Sac # 3006			Jour actif			Sac # 5003			Jour de sommet			Sac # 61		
	Aliments	Portion	Poids	Aliments	Portion	Poids	Aliments	Portion	Poids	Aliments	Portion	Poids	Aliments	Portion	Poids			
Déjeuner	Croque nature Recette originale	265 ml	100 g	Gruau :			Érable et cassonade	1 sachet	43 g	Gruau :			Érable et cassonade	1 sachet	43 g			
	Déjeuner instant	90 ml poudre	35 g	Dinosoeufs	1 sachet	50 g	Baies sauvages	1 sachet	40 g	Dinosoeufs	1 sachet	50 g	Baies sauvages	1 sachet	40 g			
				Déjeuner instant	90 ml poudre	35 g							Déjeuner instant	90 ml poudre	35 g			
	Marco Bar	1 barre	117 g	Marco Bar	1 barre	117 g							Marco Bar	1 barre	117 g			
	Peak Bar	1 barre	77 g	Peak Bar	1 barre	77 g							Peak Bar	1 barre	77 g			
	Cliff Bar	1 barre	68 g	Cliff Bar	1 barre	68 g							Cliff Bar	1 barre	68 g			
	Sunkist	1 sachet	50 g	Energie to Go	1 barre	40 g							Energie to Go	1 barre	40 g			
Dîner				Gorp (arachides et amandes)	2 sachets	150 g							Gorp (amandes, arachides, graines de tournesol)	2 sachets	150 g			
				Pemmican	1 paquet	45 g							Pemmican	1 paquet	45 g			
				Mets lyophilisés (Lyosan): Chaudière Nordique	1 sachet	156 g	Mets lyophilisés (Lyosan): Chili d'ici	1 sachet	141 g				Mets lyophilisés (Lyosan): Casserole mexicaine	1 sachet	143 g			
				Biscuits crème fudge	3 biscuits	57 g	Carrés aux céréales	1 carré	60 g				Biscuits feuilles d'érable	3 u	50 g			
Autres				Bonbons (chocolat)	35 g	35 g	Bonbons (chocolat)	35 g	35 g				Bonbons (chocolat)	35 g	35 g			
				Saucisson	50 g	50 g							Gel Carb Boom	2 sachets	41 g			
													Nougat	1 unité	14 g			
Liquides				Bouillon	2 x 10 g	20 g	Bouillon	2 x 10 g	20 g				Bouillon	2 x 10 g	20 g			
				Chocolat chaud	2 x 25 g	50 g	Chocolat chaud	2 x 25 g	50 g				Chocolat chaud	2 x 25 g	50 g			
				Gatorade	2 x 35 g	70 g	Gatorade	2 x 50 g	100 g				Gatorade	2 x 50 g	100 g			
Énergie	3198 kcal			Répartition énergétique		4517 kcal						4687 kcal			Répartition énergétique			
Glucides	549 g				68,7%	691 g						772 g				65,9%		
Protéines	75 g				9,4%	138 g						111 g				9,5%		
Lipides	78 g				21,9%	134 g						128 g				24,7%		
Poids	800 g					1121 g						1118 g						

6.4 Préparation et emballage des aliments

Les aliments ont été emballés de façon à simplifier le travail des membres de l'équipe. Tous les aliments d'une même journée se trouvaient dans un même sac pour chaque personne. Trois types de sacs ont été élaborés : 1) journée active (intensité élevée); 2) journée de repos et 3) journée de sommet. Un système de codage simple permettait aux sujets de bien sélectionner les sacs selon le type de journée :

- ⊕ 5001 à 5020 : jours actifs (intensité élevée);
- ⊕ 3001 à 3011 : jours de repos;
- ⊕ 61 à 64 : jours de sommet.

Un total de 35 sacs différents ont été élaborés par sujet pour l'expédition entière en fonction de l'itinéraire des membres de l'équipe. Les expéditionnaires prévoyaient 4 jours de repos, 11 jours actifs et 1 jour de sommet pour le mont Logan et, pour le mont McKinley, 1 jour de repos, 4 jours actifs et 1 jour de sommet. Dans l'éventualité d'un blizzard et/ou d'un problème de santé, 13 sacs de plus par personne ont été prévus dont 5 de type actif, 6 de repos et 2 de sommet.

On retrouvait donc, pour chaque jour d'expédition, quatre sacs portant le même code et le même menu (à quelques exceptions près). À chaque jour, les participants devaient inscrire le numéro du sac choisi dans le questionnaire prévu à cet effet. De cette façon, nous pouvions savoir exactement ce que le sujet consommait dans la journée. Il leur était permis de faire des échanges d'aliments avec les autres membres de l'équipe ou d'un sac à l'autre; par contre, il était important de noter les changements effectués dans le questionnaire.

Les quantités moyennes d'énergie et de macronutriments contenues dans les sacs sont décrites au tableau VI.

L'ensachage et l'emballage des aliments ont eu lieu au département de nutrition. La première tâche consistait à peser et emballer les aliments en poudre (bouillon, lait, Gatorade, chocolat chaud) individuellement selon la quantité nécessaire par jour et par sujet. Des petits sacs avec fermoir ont été utilisés pour cette tâche. L'autre étape consistait à emballer tous les aliments pour une même journée dans un même sac et les numéroter.

Tous les aliments et le matériel d'emballage ont préalablement été testés pour vérifier la conservation et la réaction au froid ainsi qu'aux conditions d'expédition (ex : qualités organoleptiques des aliments et résistance des sacs).

7. Analyses statistiques

Les tests T de Student bilatéral pour mesures répétées ont été effectués afin de vérifier la présence de différence significative entre les mesures réalisées sur la composition corporelle avant l'expédition, la composition corporelle pré et post-expédition exprimée par le poids corporel, le pourcentage de masse grasse et de masse maigre ainsi que sur le poids corporel mesuré avant et après l'ascension du mont Logan. Ce même test a également été utilisé pour comparer la diète des sujets avant et pendant l'expédition et les apports prévus à ceux réellement consommés. Le niveau de signification a été établi à $p < 0,05$ pour toutes les analyses statistiques.

D. RÉSULTATS

1. Caractéristiques des sujets

Le tableau X résume les caractéristiques des membres de l'expédition. Les 4 sujets présentent un poids santé et un VO_{2max} moyen de $59,6 \pm 5,4$ ml/kg/min. Le VO_{2max} de nos expéditionnaires se situe au dessus du 90^{ième} percentile pour des hommes de leur groupe d'âge (ACSM, 2005).

Tableau X : Caractéristiques des sujets

Sujet	Âge année	Poids kg	Taille cm	IMC	VO_{2max} ml/kg/min	Métabolisme de repos kcal/24h
1	26	76,8	180,1	23,7	56	1778
2	24	73,8	178,8	23,1	66,2	2010
3	30	75,5	178,2	23,8	54,5	1678
4	22	68,6	177,0	21,9	61,8	1620
Moyenne ± écart-type	25,5 ± 3,4	73,7 ± 3,6	178,5 ± 1,3	23,1 ± 0,9	59,6 ± 5,4	1772 ± 172

2. Déroulement de l'expédition

Les membres de l'expédition ont quitté Montréal en voiture 8 jours avant le début de l'expédition pour arriver à Whitehorse, au Yukon, 4 jours plus tard. Ils ont passé deux jours à cet endroit pour finaliser certains détails nécessaires à l'expédition et finalement se rendre à Kluane Base Camp situé à 795 m d'altitude (Falling Rain Genomics, 1996-2004a) d'où un avion les amenait au camp de base du mont Logan. Le vol a été repoussé de 2 jours (jour 1) à cause de la mauvaise température. Le tableau XIa résume le déroulement de l'expédition pour le mont Logan.

Les sujets 1 et 2 ont pu quitter la montagne en avion au jour 23 pour retourner à Kluane Base Camp, alors que les sujets 3 et 4 ont dû attendre le jour 25 en raison du mauvais temps. De Kluane, les hommes se sont dirigés en voiture jusqu'à Anchorage, en Alaska, situé à 29 m d'altitude (Falling Rain Genomics, 1996-2004b) où ils ont pris la journée pour faire du lavage et des courses pour ensuite se rendre à Talkeetna (105 m d'altitude (Falling Rain Genomics, 1996-2004c)). C'est à cet endroit qu'ils ont pris l'avion pour le camp de base du mont McKinley. Ils sont donc arrivés au jour 27 vers 12h00 au camp de base, après 30 minutes d'avion, et ils se sont reposés toute la journée pour repartir en forme le soir vers 22h00 en direction du camp 2. Le tableau XIb explique le déroulement de l'ascension du mont McKinley.

À leur retour à Talkeetna, les quatre hommes se sont reposés 3 jours pour ensuite se diriger à Calgary, au jour 38, pour la prise des mesures post expédition.

Tableau X1a : Déroulement de l'expédition au mont Logan

Jour	Température (°C)		Dénivelé m	Ascension m	Altitude dormi m	Type d'activité
	Max	Min				
1	10	-10	Avion	~ 2000	2750	Finaliser les préparatifs, prendre l'avion de Kluane Base Camp pour le camp de base (2750 m) et monter le camp.
2	10	-5	5 à 15	450	3200	Portage en ski de toute la charge au camp 1 (3200m) et construire le camp.
3	10	-10	10 à 25	600	3200	Portage d'environ 36 kg du camp 1 à une cache située à 3800 m, avant le camp 2.
4	10	-5	10 à 25	965	4135	Portage de tout l'équipement du camp 1 au camp 2 (4135 m), environ 8 heures de ski.
5	10	0	0	0	4135	Construction d'un mur coupe vent au camp 2.
6	10	0	10 à 25	335	4135	Aller chercher la nourriture et le carburant à la cache de 3800 m en ski.
7	5	-5	10 à 40	565	4135	Portage à pied de 15 jours de nourriture et de carburant du camp 2 à une altitude de 4700 m et retour au camp 2.
8	0	-10	10 à 40	565	4700	Ascension vers le camp 3 mais arrêt à 4700 m à cause du blizzard.
9	0	-10	10 à 40	150	4850	Deux fois portage du camp situé à 4700 m au camp 3 (4850 m) et construction du camp 3.
10	0	-10	0	0	4850	Repos au camp 3.
11	0	-10	10 à 40	400	4850	Sujet 1 et 3 : descente à 4300 m pour récupérer du matériel et retour au camp 3. Sujets 2 et 4 : portage du matériel près du camp 4 (5200 m) en ski et retour au camp 3.
12	?	?	0	0	4850	Construction d'un mur au camp 3 et repos.
13	0	-10	15 à 30	580	5460	Ascension du camp 3 au camp 4 et construction du camp 4 (5460 m).
14	0	-10	15-30	250	5460	Portage à la marche. Début d'une tempête.
15	0	-10	0	0	5460	Repos forcé au camp 4 (tempête).
16	0	-10	0	0	5460	Repos forcé au camp 4 (tempête).
17	0	-10	0	0	5460	Repos forcé au camp 4 (tempête).
18	-10	-20	0 à 15	40	5500	Longue journée de ski (8 km) sur le plateau sommital du camp 4 au camp 5.
19	-10	-30	10 à 60	460	5500	Sommet à la marche (5959 m) et retour au camp 5.
20	-5	-30	0 à 30	-1365	4135	Descente du camp 5 au camp 2.
21	5	-10	0 à 25	-1385	2750	Descente camp 2 au camp de base en ski.
22	5	-10	0	0	2750	Attente de l'avion pour retourner à Kluane Base Camp.
23- 26						Sortie en avion du mont Logan pour retourner à Kluane : jour 23 pour les sujets 1 et 2 et jour 25 pour les sujets 3 et 4, déplacement en voiture pour se rendre à Talkeetna et attente de l'avion les conduisant au camp de base du mont McKinley.

Tableau Xlb : Déroulement de l'expédition au mont McKinley

Jour	Température (°C)		Dénivelé m	Ascension m	Altitude dormi m	Type d'activité
	Max	Min				
27	10	-10	0 à 20	1100	3100	Arrivée au camp de base en avion vers 12h00 et départ le soir vers 22h00 pour le camp 2 en ski.
28	0	-10	15 à 40	1300	4400	Ascension à la marche du camp 2 au camp 3 de nuit.
29	10	0	0	0	4400	Repos au camp 3.
30	0	-15	30 à 65	800	5200	Ascension à la marche du camp 3 à 4.
31	-10	-15	0	0	5200	Repos au camp 4 (tempête).
32	-10	-15	0	0	5200	Repos au camp 4 (tempête).
33	-10	-15	0	0	5200	Repos au camp 4 (tempête).
34	0	-20	25 à 50	990	Les sujets 2,3 et 4 ont fait le sommet (6193 m) vers 17h15 et sont retournés au camp 4 pour se reposer un peu. Ils sont repartis vers 21h pour rentrer au camp de base. Le sujet 1, en raison de problèmes de santé, n'a pu se rendre jusqu'au sommet. Il a tout de même atteint 5800 m. N.B. Cette journée s'étend jusqu'au lendemain midi.
35	10	-5	0 à 40			Descente au camp de base dans la nuit du jour 34 au jour 35 et sortie de la montagne en avion.

3. Apports alimentaires

3.1 Apport alimentaire avant et pendant l'expédition

Apport énergétique

Le tableau XII compare les valeurs obtenues suite à l'analyse des journaux alimentaires avant et pendant l'étude. Les données inscrites au tableau correspondent à la moyenne de cinq jours de rapport avant le départ et à environ 30 jours de rapport pendant l'aventure. Cinq jours de rapport au cours de l'étude ont été exclus des analyses à cause du manque d'information. L'analyse des journaux alimentaires montre une augmentation de l'apport énergétique pendant l'expédition comparativement à l'apport enregistré avant sans que cette différence soit significative : 2924 ± 277 à 3314 ± 204 kcal/jour ou $39,8 \pm 4,7$ à $45,1 \pm 4,4$ kcal/kg de poids corporel ($p > 0,05$). Nous remarquons une augmentation significative ($p < 0,05$) au cours des jours 2, 5, 11, 27, 28 et 29 ainsi qu'une diminution significative ($p < 0,05$) au jour 17 de l'apport énergétique total comparativement à l'apport avant l'expédition (Fig. 2).

Apport en macronutriments

On constate que l'apport moyen en glucides est significativement plus grand pendant l'expédition comparativement aux apports moyens avant l'étude passant de $380,0 \pm 33,1$ à $530,6 \pm 40,5$ g/jour ou $5,2 \pm 0,6$ à $7,2 \pm 0,8$ g/kg de poids corporel ($p < 0,05$) alors que l'apport en protéines est significativement plus petit, $108,4 \pm 4,4$ à $84,3 \pm 4,9$ g/jour ou $1,5 \pm 0,1$ à $1,1 \pm 0,1$ g/kg de poids corporel ($p < 0,05$). Nous n'avons pas noté de différence significative entre l'apport en lipides avant et pendant l'expédition : $109,4 \pm 14,7$ à $95,0 \pm 4,3$ g/jour ou $1,5 \pm 0,2$ à $1,3 \pm 0,1$ g/kg de poids corporel ($p > 0,05$). Lorsque nous comparons en terme de pourcentage de l'énergie totale, nous observons une augmentation significative de l'apport en glucides passant de $52,2 \pm 1,0$ à $64,9 \pm 1,4$ % ($p < 0,01$) et une diminution significative de l'apport en protéines

passant de $15,2 \pm 2,0$ à $10,2 \pm 0,5$ % ($p < 0,01$) ainsi qu'en lipides passant de $33,1 \pm 1,6$ à $24,9 \pm 1,2$ % ($p < 0,01$) entre les valeurs obtenues avant et pendant l'expédition.

La figure 2 reprend, en partie, les données du tableau XII mais compare cette fois-ci l'apport énergétique moyen ainsi que la répartition moyenne en macronutriments de tous les sujets pour chaque jour de l'expédition. Il n'y a pas de données pour les jours 23 à 26 inclusivement qui correspondent à des jours d'attente entre le retour du mont Logan et le départ pour le mont McKinley.

Figure 2 : Répartition moyenne en macronutriments en fonction de l'énergie

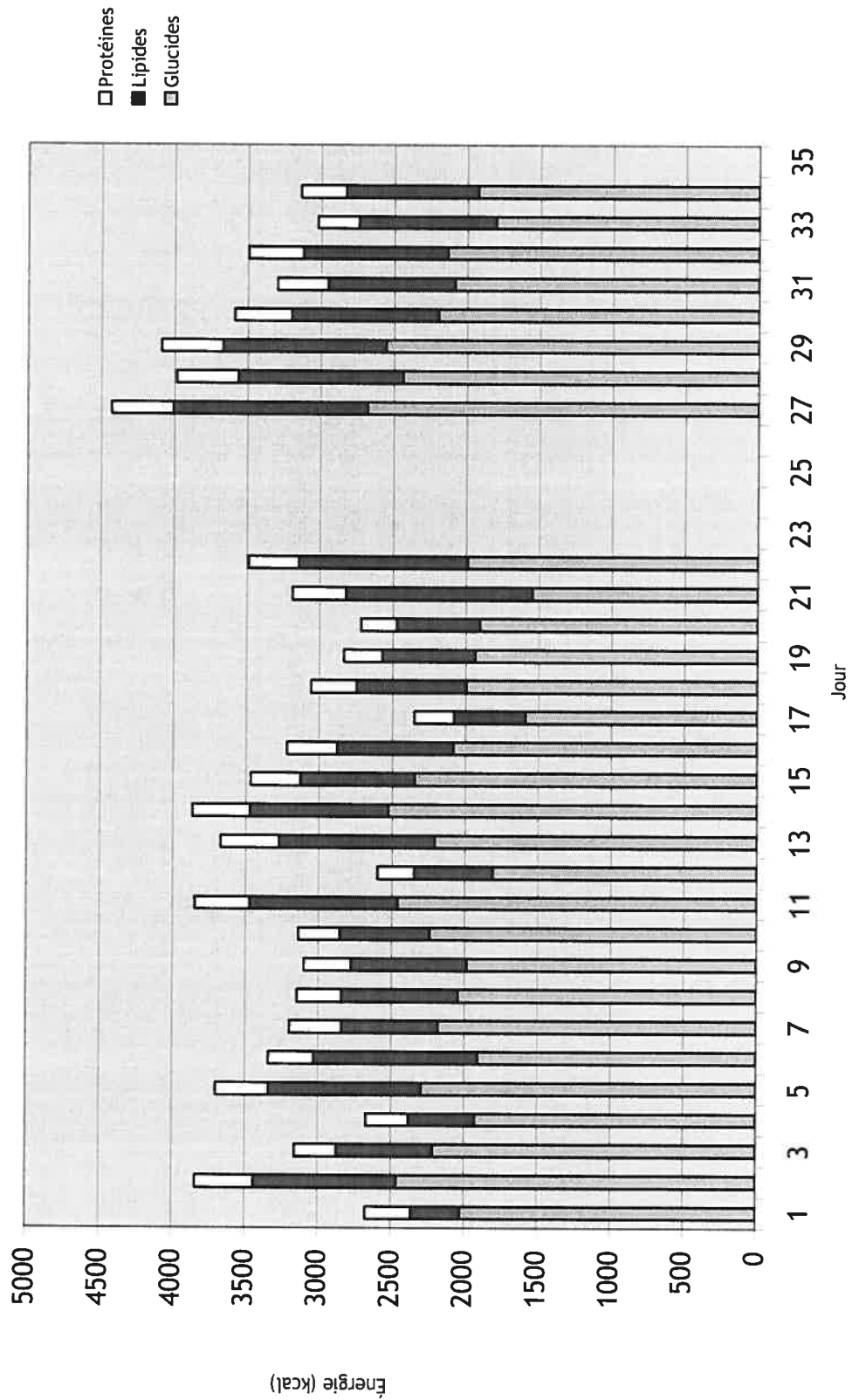


Figure 3: Apport moyen en énergie pour les jours actifs, de repos et de sommet

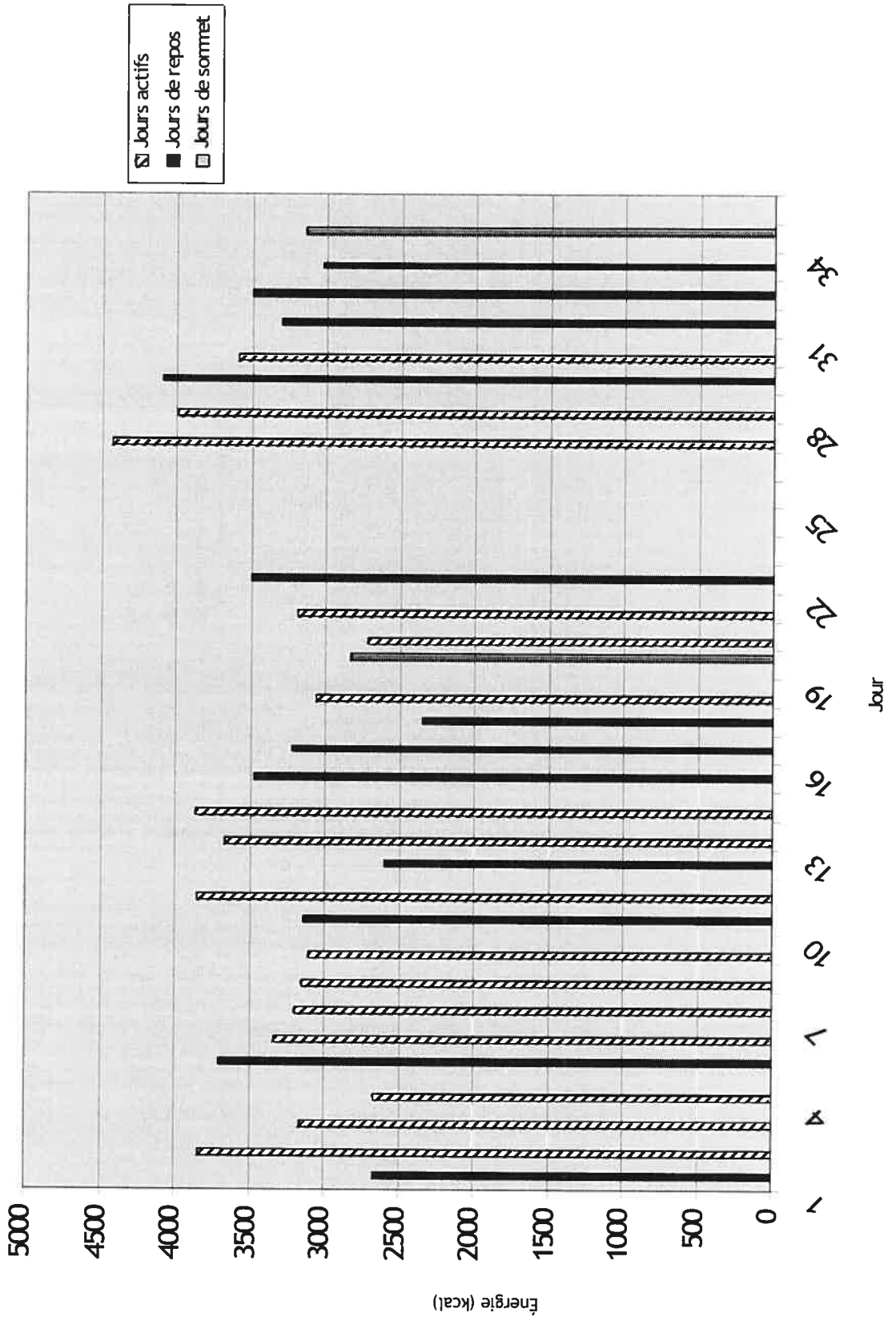


Tableau XII: Apports moyens en énergie, glucides, protéines et lipides avant et pendant l'expédition (moyenne \pm écart-type/jour/sujet)

Sujet	Macronutriments	1		2		3		4		Moyenne	
		Avant	Pendant	Avant	Pendant	Avant	Pendant	Avant	Pendant	Avant	Pendant
Énergie	kcal	3192 \pm 201	3008 \pm 506	2818 \pm 858	3429 \pm 759	2585 \pm 210	3418 \pm 773*	3101 \pm 663	3401 \pm 762	2924 \pm 277	3314 \pm 204
	kcal/kg	41,6 \pm 2,6	39,2 \pm 6,6	38,2 \pm 11,6	46,5 \pm 10,3	34,2 \pm 2,8	45,3 \pm 10,2	45,2 \pm 9,7	49,6 \pm 11,1	39,8 \pm 4,7	45,1 \pm 4,4
Glucides	g	415,6 \pm 41,6	470,2 \pm 87,0	356,8 \pm 102,5	546,5 \pm 99,8*	347,4 \pm 48,8	548,5 \pm 108,9*	400,4 \pm 107,5	557,1 \pm 106,9	380,0 \pm 33,1	530,6 \pm 40,5*
	g/kg	5,4 \pm 0,5	6,1 \pm 2,3	4,8 \pm 1,4	7,4 \pm 2,7	4,6 \pm 0,6	7,3 \pm 2,7	5,8 \pm 1,6	8,1 \pm 3,1	5,2 \pm 0,6	7,2 \pm 0,8*
	%	52,0 \pm 2,9	63,2 \pm 9,9*	51,7 \pm 10,4	64,6 \pm 6,7*	53,7 \pm 5,4	65,2 \pm 7,7*	51,6 \pm 7,3	66,6 \pm 7,1*	52,2 \pm 1,0	64,9 \pm 1,4*
Protéines	g	102,4 \pm 12,0	78,7 \pm 16,2	111,2 \pm 27,6	90,5 \pm 19,4	112,0 \pm 12,6	82,6 \pm 22,0*	107,9 \pm 12,8	85,3 \pm 21,5	108,4 \pm 4,4	84,3 \pm 4,9*
	g/kg	1,3 \pm 0,2	1,0 \pm 0,4	1,5 \pm 0,4	1,2 \pm 0,5	1,5 \pm 0,2	1,1 \pm 0,5	1,6 \pm 0,2	1,2 \pm 0,5	1,5 \pm 0,1	1,1 \pm 0,1*
	%	12,8 \pm 1,1	10,5 \pm 1,7	16,2 \pm 3,4	10,6 \pm 0,9*	17,3 \pm 1,5	9,6 \pm 1,4*	14,5 \pm 4,3	9,9 \pm 1,1	15,2 \pm 2,0	10,2 \pm 0,5*
Lipides	g	121,8 \pm 9,9	90,3 \pm 42,0*	111,1 \pm 64,1	97,9 \pm 40,0	88,4 \pm 11,9	99,3 \pm 40,6	116,4 \pm 39,6	92,4 \pm 35,7	109,4 \pm 14,7	95,0 \pm 4,3
	g/kg	1,6 \pm 0,1	1,2 \pm 0,6	1,5 \pm 0,9	1,3 \pm 0,7	1,2 \pm 0,2	1,3 \pm 0,7	1,7 \pm 0,6	1,3 \pm 0,7	1,5 \pm 0,2	1,3 \pm 0,1
	%	34,3 \pm 1,9	26,3 \pm 9,7*	34,0 \pm 13,4	24,8 \pm 6,9*	30,8 \pm 3,5	25,2 \pm 7,4*	33,1 \pm 8,2	23,5 \pm 6,4*	33,1 \pm 1,6	24,9 \pm 1,2*

* Différence significative entre les valeurs moyennes mesurées avant et pendant l'expédition ($p < 0,05$).

3.2 Apport alimentaire moyen pour les jours de repos, actifs et de sommet

La figure 3 illustre les apports moyens en énergie par jour pour tous les sujets en fonction du type de journée : active, repos ou sommet. Les jours actifs regroupent les journées où les sujets se déplaçaient à ski ou à la marche d'un camp à l'autre. Les jours de repos, quant à eux, définissent les jours où les sujets restaient au camp à se reposer ou à construire des murs de soutien pour le camp. Les jours de sommet, tel que le nom l'indique, correspondent aux jours d'atteinte du sommet. Aucune différence significative n'a été notée entre les apports de chacun des sujets et les apports moyens en énergie, glucides, protéines et lipides pour les jours actifs, de sommet et de repos ($p >$

0,05). Les valeurs obtenues pour le sujet 3 font exception à ces résultats: on remarque un apport significativement plus grand en protéines ($p < 0,05$) et en lipides ($p < 0,05$), un plus grand pourcentage de l'énergie totale en lipides ($p < 0,05$) ainsi qu'un plus petit pourcentage en glucides ($p < 0,05$) les jours actifs comparativement aux jours de repos.

3.3 Apports réels en énergie et en macronutriments comparés aux apports prévus

Les figures 4 à 7 illustrent les apports réels moyens en énergie, glucides, protéines et lipides des membres de l'expédition comparativement aux apports moyens prévus. Les sujets devaient choisir un sac, contenant tous les aliments pour une même journée, selon le type de journée prévu : journée active, de repos ou de sommet. Les apports réels en énergie ($p < 0,01$), glucides ($p < 0,01$) et protéines ($p < 0,01$) sont significativement plus petits que les apports prévus en moyenne ainsi que pour tous les sujets au cours de l'expédition sauf pour le sujet 2 chez qui l'apport réel en protéines ne diffère pas significativement de l'apport prévu. Par contre, l'apport réel en lipides ne diffère pas significativement de l'apport prévu en moyenne ainsi que pour tous les sujets ($p > 0,05$). À l'inverse, si nous comparons le pourcentage réel à celui prévu de l'énergie totale des macronutriments, nous observons une augmentation significative de la répartition des lipides ($p < 0,05$) mais aucune différence significative en ce qui concerne les glucides ($p > 0,05$) et les protéines ($p > 0,05$).

Figure 4 à 7 : Apports en énergie, glucides, protéines et lipides réels comparés aux apports prévus

Figure 4: Apports énergétiques

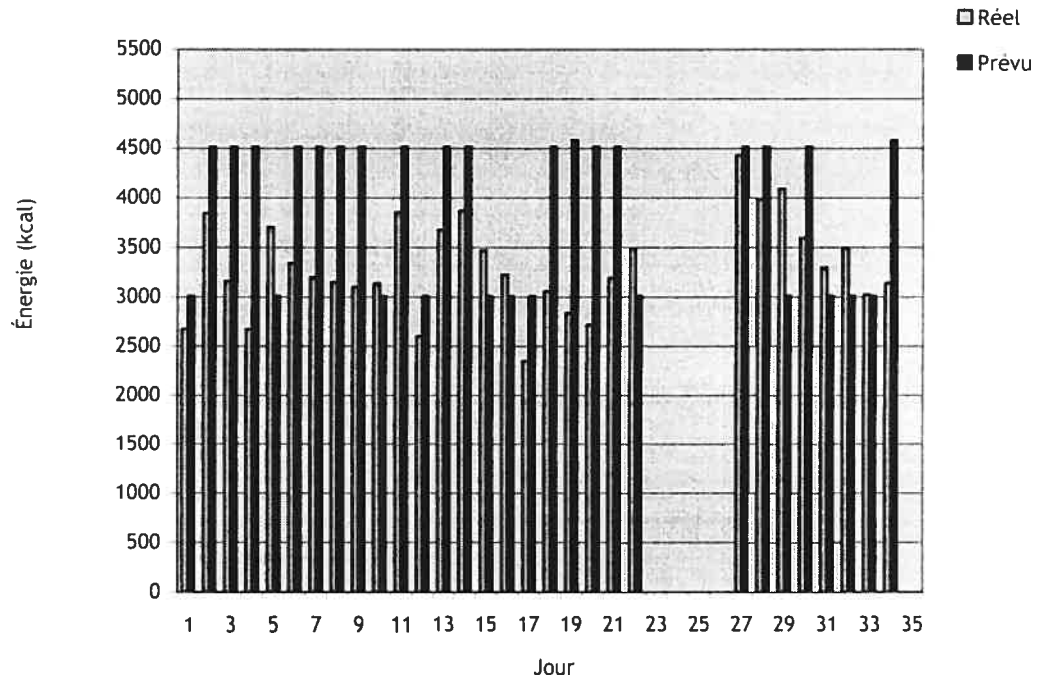


Figure 5: Apports en glucides

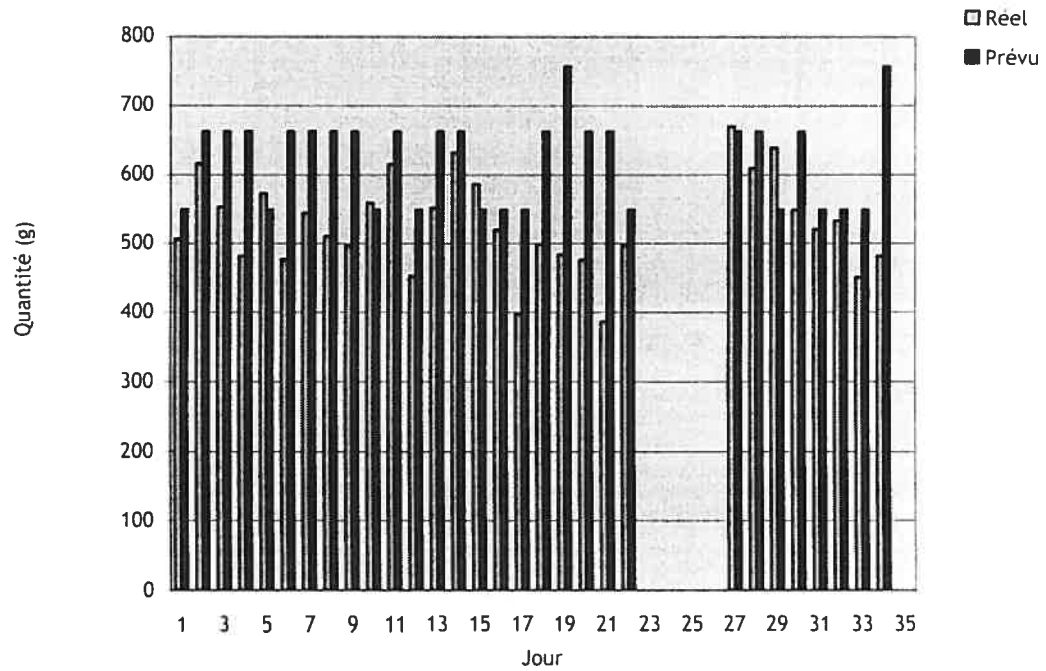


Figure 6: Apports en protéines

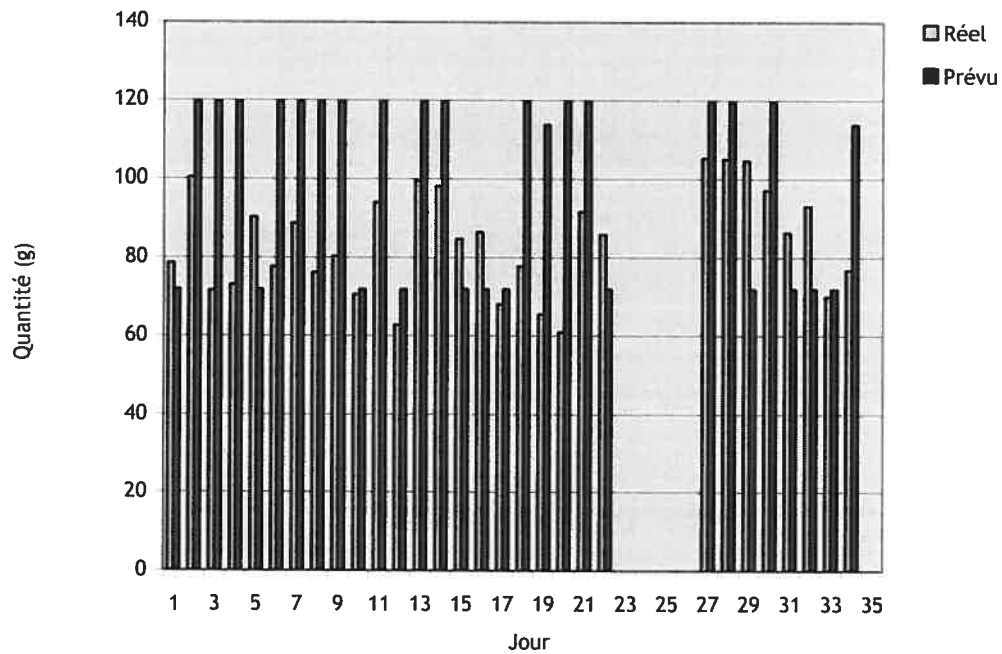
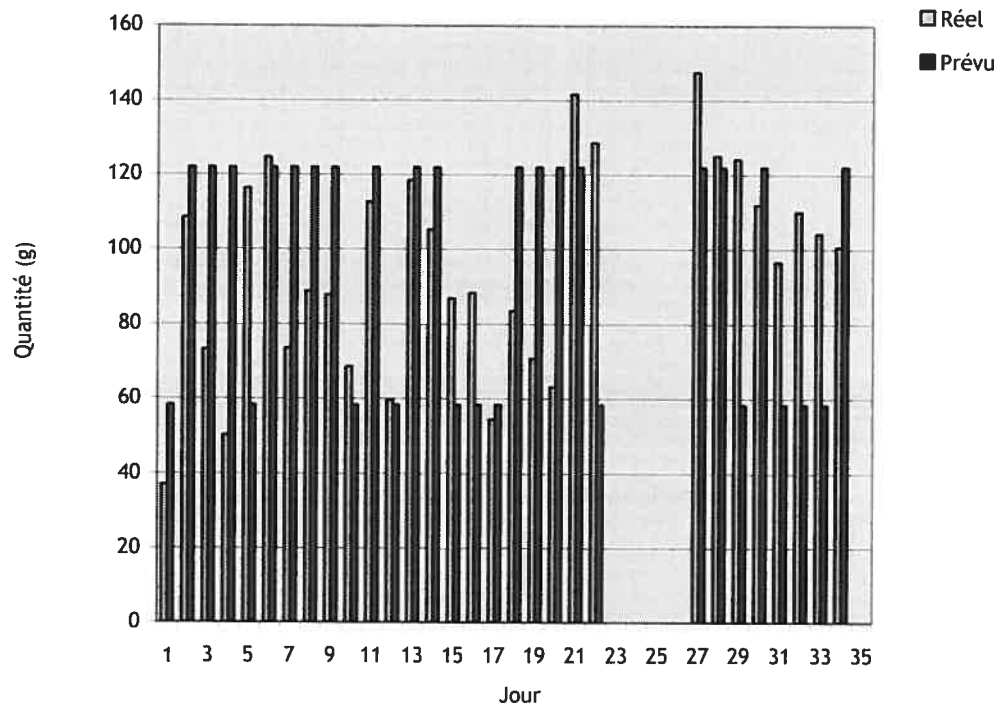
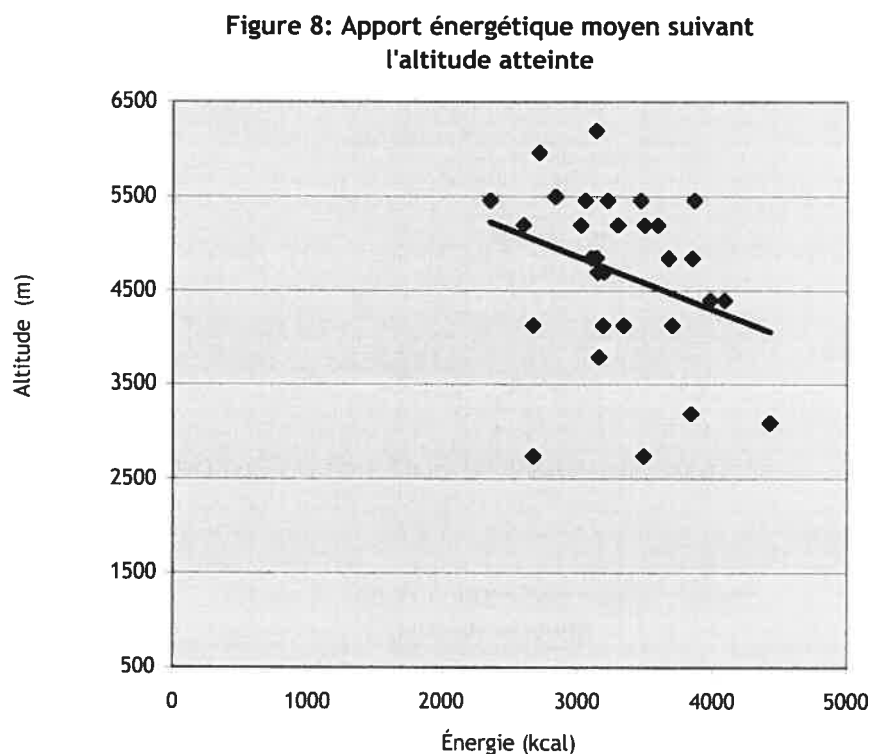


Figure 7: Apports en lipides



3.4 Apport énergétique en fonction de l'altitude atteinte



La figure 8 montre que la relation entre l'altitude atteinte et l'apport en énergie est très faible ($r = -0,30367$) mais qu'il y a tout de même une tendance vers un apport plus faible en énergie lorsque l'altitude est plus élevée.

4. Satisfaction du menu

Le carnet de voyage a permis de recueillir les données sur la satisfaction des sujets en ce qui concerne le menu en général et le goût des aliments ainsi que la satisfaction par rapport aux quantités d'aliments fournies au déjeuner, au dîner et au souper. Sur une échelle de 1 à 5 (1 = très insatisfait, 2 = insatisfait, 3 = satisfait, 4 = plus que satisfait et 5 = très satisfait), les sujets devaient

encercler le chiffre représentant le mieux leur satisfaction à tous les jours de l'expédition. Les figures 9 et 10 montrent les résultats de ce questionnaire.

Figure 9: Niveau moyen de satisfaction du menu

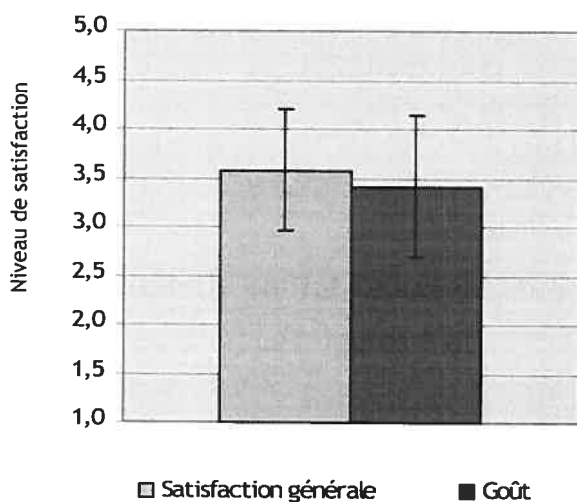
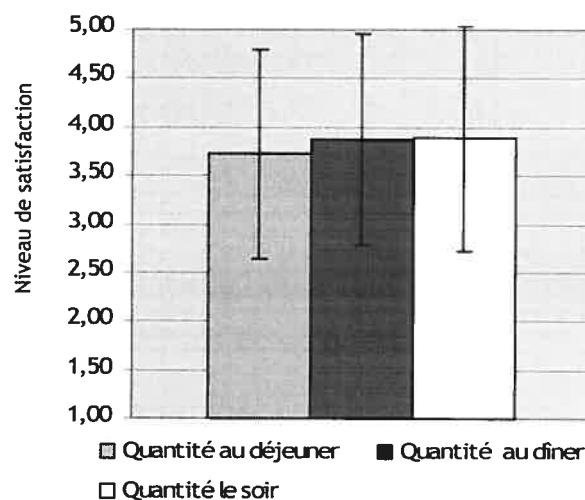


Figure 10: Niveau moyen de satisfaction des quantités d'aliments



5. Apport hydrique

Les membres de l'équipe ont consommé en moyenne $5,0 \pm 0,8$ L par jour, ce qui représente une moyenne de 1,53 ml/kcal et 68,49 ml/kg (tableau XIII). La figure 11 montre l'hydratation moyenne de tous les sujets par jour, alors que la figure 12 compare l'hydratation moyenne le matin, le midi et le soir par jour d'expédition. La ligne tracée horizontalement à la figure 11 correspond à l'apport moyen recommandé. On note une diminution de l'apport en liquides moyen du jour 6 au jour 22, soit jusqu'à la fin de l'ascension du mont Logan, mais l'apport moyen demeure relativement le même au cours de l'ascension du mont Logan et celle du mont McKinley ($p > 0,05$). De plus, on ne note pas de différence significative de l'apport en liquide entre les différents types de jours (actifs, de repos et de sommet) ($p > 0,05$). C'est le midi que l'apport est

le plus élevé suivi par le soir et le matin ($1,9 \pm 0,2$ vs $1,7 \pm 0,3$ vs $1,5 \pm 0,3$ L, respectivement).

Tableau XIII: Apport hydrique total

Sujet	Apport hydrique		
	L \pm écart-type	ml/kcal	ml/kg
1	$5,3 \pm 0,9$	1,75	68,58
2	$4,8 \pm 0,7$	1,40	65,04
3	$5,4 \pm 1,0$	1,57	71,08
4	$4,8 \pm 0,7$	1,40	69,24
Moyenne	$5,0 \pm 0,8$	1,53	68,49

Figure 11: Hydratation moyenne totale de l'équipe par jour

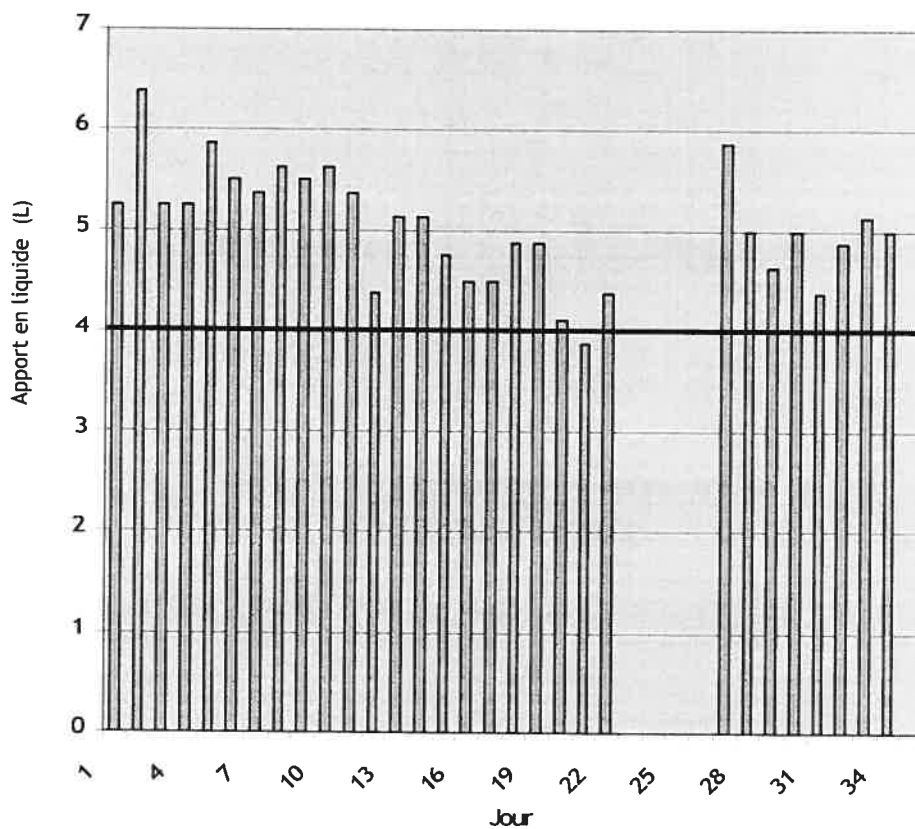
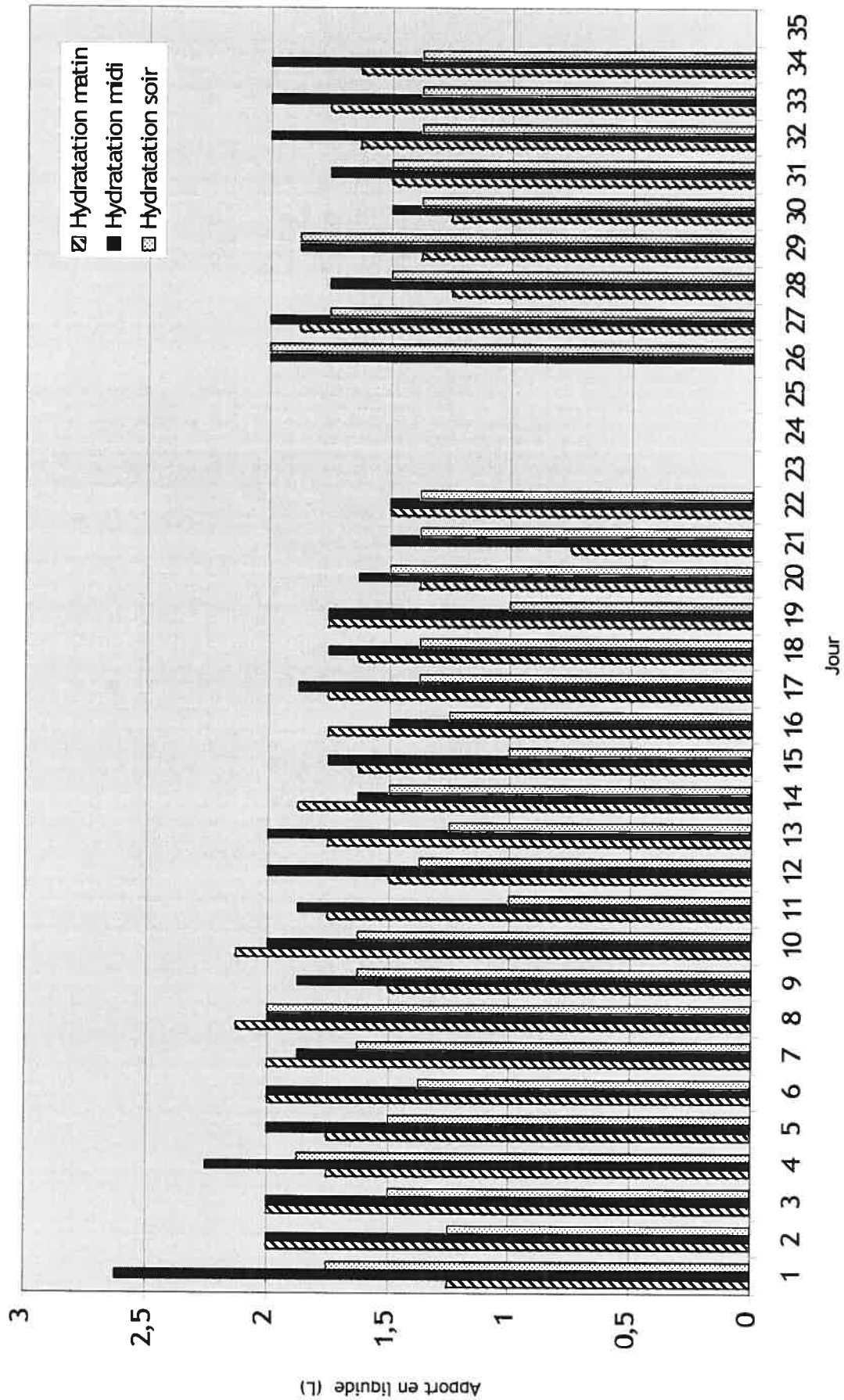


Figure 12: Hydratation moyenne: matin, midi et soir

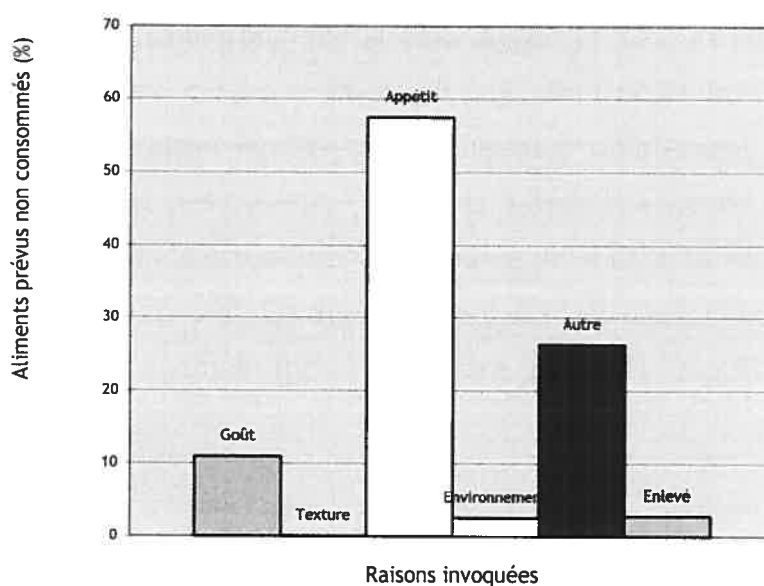


6. Aliments non consommés

6.1 Raisons fournies par les sujets expliquant les aliments prévus non consommés

Le manque d'appétit en haute altitude est la raison la plus souvent signalée contribuant à un apport énergétique insuffisant et par conséquent à une perte de poids. La figure 13 illustre les raisons invoquées par les sujets pour expliquer l'incapacité à consommer tous les aliments prévus. Le manque d'appétit est en tête de liste (57,5 %) suivi par le goût (10,9 %), un aliment enlevé (2,8 %), l'environnement (2,5 %) et la texture (0,1 %). Les autres raisons expliquent quant à elles 26,2 % de l'ensemble des aliments non consommés. La raison «goût» s'explique tout simplement par le fait que le sujet n'appréciait pas ou plus l'aliment; «aliment enlevé» signifie qu'il a été échangé contre un autre aliment ou enlevé pour être consommé un autre jour et «environnement» signifie que l'aliment n'était pas comestible à cause de la température par exemple (gelé) ou encore qu'il a été perdu dans la nature.

Figure 13: Raisons invoquées par les sujets expliquant les aliments prévus non consommés



6.2 Bilan des aliments non consommés

En complément à la figure 13, les figures 14a et b font état de tous les aliments compris au menu en fonction du pourcentage de reste. Afin d'en faciliter la lecture, le tableau a été fractionné en deux. Parmi les plus hauts pourcentages de restes, nous retrouvons les barres énergétiques (Cliff Bar, Marco Bar, Peak Bar) et le bouillon. Le saucisson obtient un grand pourcentage de reste mais cette valeur est biaisée. Cet aliment était tout simplement consommé une autre journée. Les raisons pouvant expliquer ces restes sont présentées à la section 8 des résultats.

Figure 14 a: Bilan des aliments non consommés

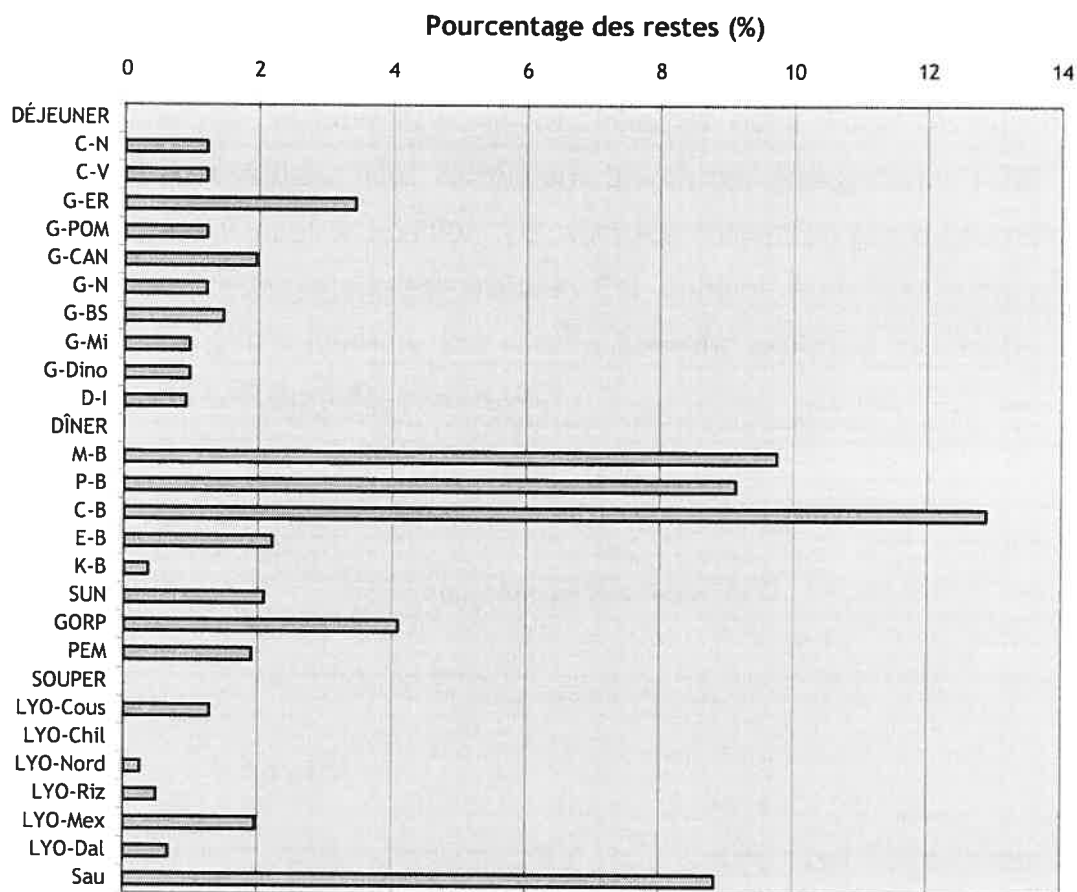


Figure 14 b: Bilan des aliments non consommés

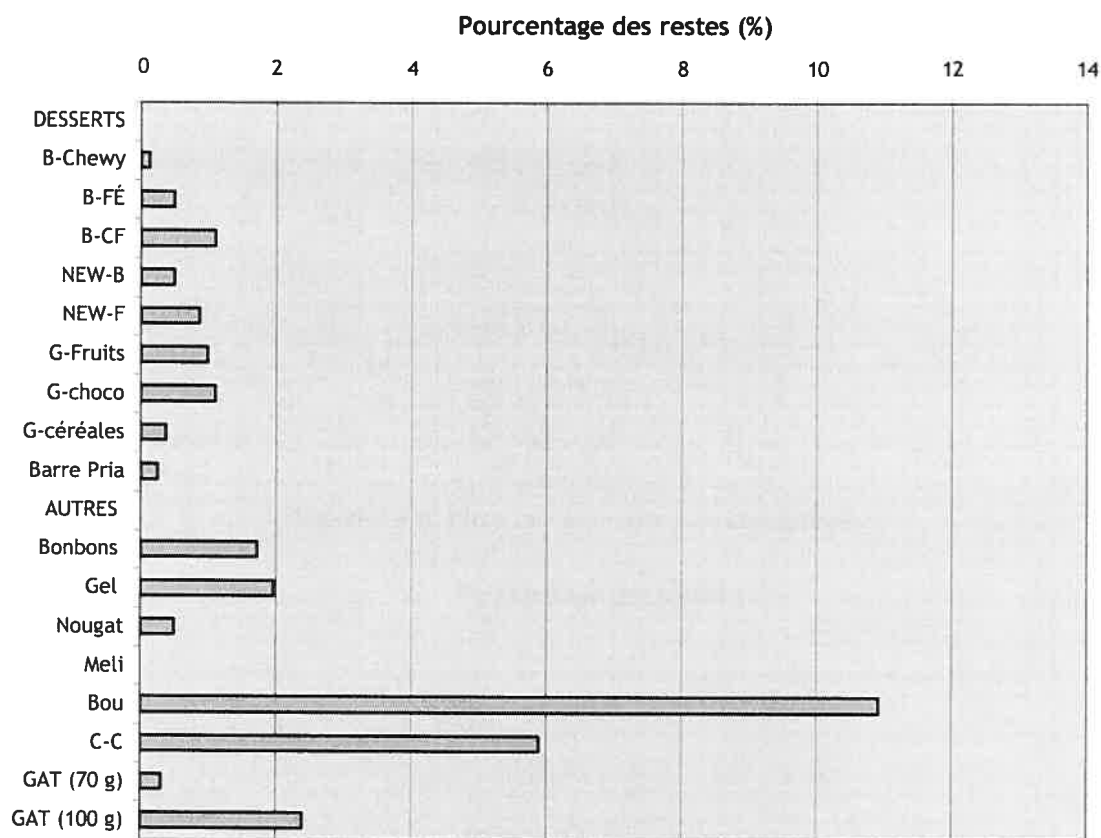


Tableau XIV : Liste des abréviations des aliments

Abréviation	Aliments	Abréviation	Aliments	Abréviation	Aliments
C-N	Céréales Croque Nature	C-B	Cliff Bar	Sau	Saussisson
C-V	Céréales Vector	E-B	Energie to Go	B-Chewy	Biscuits Chewy Chips
G-ER	Gruau érable et cassonade	K-B	Fruit snack	B-CF	Biscuits crème fudge
G-POM	Gruau pommes et cannelle	SUN	Barre Sunkist	B-FÉ	Biscuits feuilles d'érable
G-CAN	Gruau brioches cannelle	PEM	Pemmican	New-B	Barre newton bleuets
G-N	Gruau nature	LYO-...	Lyophilisés...	New-F	Barre newton Fraises
G-BS	Gruau baies sauvages	Cous	Couscous	G-	Gâteau
G-Mi	Gruau miel doré	Chil	Chili d'ici	Méli	Méli-mélo
G-Dino	Gruau Dinosaures	Nord	Chaudrée Nordique	Bou	Bouillon
D-I	Déjeuner instant	Riz	Riz Méli	C-C	Chocolat chaud
M-B	Marco Bar	Mex	C. Mexicaine	GAT	Gatorade
P-B	Peak Bar	Dal	Dal-Bhat		

7. Changements au niveau de la composition corporelle

7.1 Composition corporelle avant, pendant et après l'expédition

Tableau XV: Suivi du poids corporel avant, pendant et après l'expédition

Jour	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Moyenne \pm écart-type
-23	76,8	73,8	75,5	68,6	73,68 \pm 3,60
-8	76,8	73,2	74,5	68,2	73,18 \pm 3,64
1	75,5	73,6	77,3	67,3	73,43 \pm 4,35
23 et 25 ¹	69,5	67,3	70,9	62,3	67,50 \pm 3,77 [†]
38	72,1	71,1	73,8	65,6	70,65 \pm 3,55*

¹ Poids corporel mesuré au jour 23 de l'expédition pour les sujets 1 et 2 et au jour 25, pour les sujets 3 et 4. * Différence significative avec le poids du départ (jour -23) ($p < 0,05$);

[†] Différence significative avec le poids mesuré au jour 1 de l'expédition ($p < 0,05$).

Le tableau XV montre qu'il y a eu une diminution significative du poids corporel après l'ascension du mont Logan, soit au jour 23 ou 25 ($p < 0,01$) ainsi qu'après 35 jours (poids mesuré au jour 38) ($p < 0,05$) d'expédition en montagne comparativement au poids mesuré 23 jours avant le départ. Il y a également eu une diminution significative du poids corporel entre avant (jour 1) et après l'ascension du mont Logan (jours 23 et 25) ($p < 0,01$) plus grande qu'après celle du Mont McKinley (jour 38). Le changement de poids total équivaut à une perte de 4,1% par rapport au poids initial et une diminution moyenne d'environ 87 g/jour pour les 35 jours d'expédition.

Le tableau XVI résume les données sur la composition corporelle avant (jour -23) et après (jour 38) l'expédition. On note une diminution de la masse grasse ($p < 0,01$) et une augmentation de la masse maigre ($p < 0,01$) après l'expédition (jour 38) toutes deux significativement différentes aux valeurs mesurées avant le départ (jour -23). Les mesures du pourcentage de gras, de la masse grasse et de la masse maigre effectuées avec le DXA ne diffèrent pas significativement de celles mesurées par la méthode des plis cutanés avant le début de l'expédition.

Tableau XVI: Composition corporelle avant et après l'expédition

Sujet		1	2	3	4	Moyenne ± Écart-type	
Poids corporel (kg)	Avant	76,8	73,8	75,5 ¹	68,6	73,7 ± 3,6	
	Après	72,1	71,1	73,8	65,6	70,7 ± 3,5*	
Tissu adipeux (%)	PC ¹	Avant	17,45	17,10	17,29	17,44	17,3 ± 0,2
		Après	10,96	12,34	13,86	11,25	12,1 ± 1,3*
	DXA ²	Avant	16,9	12	16	14,4	14,8 ± 2,1
Masse grasse (kg)	PC	Avant	13,4	12,62	13,05	11,96	12,8 ± 0,6
		Après	7,902	8,774	10,23	7,38	8,6 ± 1,2*
	DXA	Avant	12,94	9,003	12,32	9,743	11,0 ± 1,9
Masse maigre (kg)	PC	Avant	63,40	61,18	62,45	56,64	60,9 ± 3,0
		Après	64,20	62,30	63,57	58,22	62,1 ± 2,7*
	DXA	Avant	63,54	65,95	64,53	57,82	63,0 ± 3,8

¹ PC = plis cutanés; ² DXA = *Dual-energy x-ray absorptiometry*

* Différence significative entre les valeurs mesurées avant et après l'expédition ($p < 0,05$).

7.2 Déficit énergétique et composition corporelle avant et après l'expédition

Tableau XVII: Changement de poids et de la composition corporelle en lien avec le déficit énergétique réel et estimé

Sujet		Différence observée entre les données recueillies avant et après l'expédition				Moyenne ± Écart-type
		1	2	3	4	
Déficit énergétique réel	kcal	27 188	14 632	14 959	15 393	18 043 ± 6105
Perte de poids estimée ¹	kg	3,53	1,90	1,94	2,00	2,34 ± 0,79
Perte de poids réelle	kg	4,70	2,70	1,70	3,00	3,03 ± 1,25
Perte de MG ²	kg	5,50	3,85	2,82	4,58	4,19 ± 1,14
Gain MM ³	kg	0,80	1,12	1,12	1,58	1,16 ± 0,32
Équivalent MG en énergie	kcal	42 361	29 610	21 727	35 302	32 250 ± 8742
Équivalent MM en énergie	kcal	4420	6156	6162	8716	6363 ± 1770
Déficit énergétique estimé ⁴	kcal	37 941	23 455	15 565	26 586	25 887 ± 9278*

¹ D'après le déficit énergétique réel. ² MG = masse grasse. ³ MM = masse maigre. ⁴ D'après les changements de la composition corporelle. * Différence significative entre le déficit énergétique estimé et réel ($p < 0,05$).

Le tableau XVII résume les changements de la composition corporelle après l'expédition ainsi que les données concernant le déficit énergétique, c'est-à-dire la différence entre l'apport énergétique estimé et l'apport énergétique réellement consommé. En d'autres mots, l'apport estimé représente ce que les sujets auraient dû consommer suivant le type d'activité (actif, repos ou sommet). La perte de poids estimée a été calculée en divisant le déficit énergétique par l'équivalent en énergie de 1 kg de masse grasse, soit 7 700 kcal tout en supposant que la perte de masse corporelle est uniquement sous forme de masse grasse. La perte de poids réelle est étroitement reliée à celle estimée à partir du déficit énergétique. En effet, il n'y a pas de différence significative entre ces valeurs moyennes ($p > 0,05$). On note également qu'il y a eu perte de poids sous forme de masse grasse et non de masse maigre. La masse grasse a diminué de $4,19 \pm 1,14$ kg en moyenne, alors que la masse maigre a augmenté de $1,16 \pm 0,32$ kg.

En supposant que 1 kg de masse grasse correspond à 7 700 kcal et que 1 kg de masse maigre, à 5 500 kcal, le déficit énergétique estimé a pu être calculé de façon à le comparer au déficit énergétique réel, qui diffèrent significativement ($p < 0,05$).

7.3 Déficit énergétique et perte de poids avant et après l'ascension du Mont Logan

Le tableau XVIII démontre la perte de poids réelle mesurée après l'ascension du mont Logan soit au jour 23 pour les sujets 1 et 2 et au jour 25 pour les sujets 3 et 4. On remarque que la perte de poids calculée à partir du déficit énergétique réel est significativement différente de la perte de poids réelle ($p < 0,01$).

Tableau XVIII: Perte de la masse corporelle totale réelle et estimée en lien avec le déficit énergétique réel

Sujet		Avant et après l'ascension du mon Logan				Moyenne ± Écart-type
		1	2	3	4	
Déficit énergétique réel	kcal	21 802	14 359	16 551	15 622	17 083 ± 3271
Perte de poids estimée	kg	2,83	1,86	2,15	2,03	2,2 ± 0,42
Perte de poids réelle	kg	6	6,3	6,4	5	5,9 ± 0,64*

* Différence significative entre la perte de poids réelle et estimée ($p < 0,05$).

7.4 Apport en protéines

Tableau XIX : Apports en protéines réels et prévus et les apports par masse corporelle et par masse maigre mesurés avant et après 35 jours d'expédition

Sujet	Poids kg	MM ² kg	Apport en protéines					
			Réel			Prévu		
			g	g/kg MCT ¹	g/kg MM ²	g	g/kg MCT ¹	g/kg MM ²
1	76,8	63,5	78,7	1,02	1,24	107,5	1,40	1,69
2	73,8	66,0	90,5	1,23	1,37	103,3	1,40	1,57
3	75,5	64,5	82,6	1,09	1,28	105,7	1,40	1,64
4	68,6	57,8	85,3	1,24	1,48	96,0	1,40	1,66
Moyenne	73,7	63,0	84,3 ± 4,9	1,15 ± 0,11	1,34 ± 0,11	103,1 ± 5,0 *	1,40* ± 0	1,64 ± 0,05*

¹ MCT = masse corporelle totale; ² MM = masse maigre, mesurée au DXA.

* Différence significative avec entre l'apport réel et prévu ($p < 0,05$)

Le tableau XIX fait état des résultats de l'apport en protéines prévu et réel. Pour faciliter la comparaison entre les sujets, les données sont indiquées en gramme ainsi qu'en gramme par kilogramme de masse corporelle et en gramme par kilogramme de masse maigre. Les valeurs de masse maigre sont le résultat des analyses au DXA. L'apport réel est significativement différent de l'apport prévu en gramme ($p < 0,05$) et donc significativement différent en gramme par kilogramme de poids ($p < 0,05$) et en gramme par kilogramme de masse maigre ($p < 0,05$).

8. Commentaires des participants au retour de l'expédition

8.1 Quantités

- ⊙ Ils consommaient de plus grandes quantités d'aliments en début d'expédition et avaient donc un plus grand appétit qui s'estompait au fil des jours.
- ⊙ Au mont Logan, ils auraient sans doute mangé davantage s'ils avaient eu plus de nourriture.
- ⊙ Selon eux, il y avait trop de nourriture dans les sacs portant le code 5000 (jours actifs - intensité élevée). Le plus souvent, ils conservaient les bonbons pour d'autres jours.
- ⊙ Ils auraient peut-être mangé davantage en présence d'une plus grande variété d'aliments.
- ⊙ Ils mangeaient davantage les jours de repos que les jours de sommet et très actifs. Ils auraient donc aimé avoir plus de nourriture pour ces jours.
- ⊙ Suggestion : faire seulement des sacs de 3000 ou 4000 kcal et fournir d'autres grignotises qu'ils ajoutent à leur guise.

8.2 Variété

- ⊙ Inclure plus de variété d'aliments. Éviter de mettre les mêmes aliments à tous les jours. Par exemple, mettre 2 fois la même barre une journée et un autre type de barre l'autre jour.
- ⊙ Au mont McKinley, un autre menu aurait été très apprécié ou tout simplement varier les produits.

8.3 Ensachage

- ⊙ Le mode d'emballage des aliments soit un sac de nourriture par sujet par jour est une méthode unanimement approuvée de tous les sujets.

8.4 Repas

8.4.1 Déjeuner

- ⊙ Ils le trouvaient trop sucré certains jours, sans doute à cause du Déjeuner instant qui a un goût plus sucré que le lait en poudre.
- ⊙ En général, les 3 sachets de gruau convenaient pour le déjeuner.
- ⊙ Éviter de mélanger trois saveurs de gruau différentes et inclure des sacs de gruau nature afin d'atténuer le goût sucré.
- ⊙ Augmenter la grosseur de portion des céréales.
- ⊙ Inclure d'autres sortes de céréales moins sucrées.
- ⊙ Mélanger d'emblée le lait aux céréales ou au gruau et mettre les 3 sachets de gruau ensemble.

8.4.2 Vivres de course

Barres et gels énergétiques :

- ⊙ Les *Marco Bar* deviennent trop dures pour les dents au froid.
- ⊙ Ajouter d'autres saveurs de *Marco Bar*. Par exemple, avec des fruits séchés.
- ⊙ Deux barres énergétiques au lieu de trois auraient été suffisantes.
- ⊙ Varier d'une journée à l'autre les barres.
- ⊙ Les barres énergétiques *Cliff Bar* sont trop sucrées à leur goût. Ils auraient préféré des barres *Harvest PowerBar* ou *Gatorade*.
- ⊙ Les barres *Pria* n'étaient pas très aimées.
- ⊙ Mettre une plus grande quantité de gels énergétiques en remplacement des barres.
- ⊙ Ils ont bien aimé les gels de marque *Carb Boom*.
- ⊙ Inclure des barres salées.
- ⊙ Trop de saveurs de chocolat.
- ⊙ Inclure des barres de type granola ou tendre.

Barres de fruits :

- ⊙ En général, ces barres étaient bien appréciées.
- ⊙ Les barres *Sunkist* étaient moins aimées car très acides et très dures au froid.
- ⊙ L'emballage des barres *Energy to Go* gèle au froid.

Autres commentaires

- ⊙ Inclure des fruits séchés ou en mettre dans le Gorp.
- ⊙ Les noix enrobées de chocolat sont plus difficiles à digérer.

8.4.3 Souper**Mets lyophilisés :**

- ⊙ Le couscous était facile à manger mais moins calorifique.
- ⊙ Inclure des mets d'autres compagnies.
- ⊙ La Chaudrée Nordique est le plus apprécié des mets, mais plus long à réhydrater.

Saucissons :

- ⊙ Très appréciés.
- ⊙ Inclure plus de saucissons et d'autres saveurs.
- ⊙ Éviter les saucissons trop épicés.

Grignotises :

- ⊙ Inclure de plus grandes quantités de grignotises salées de type *méli-mélo*, qu'ils consomment à leur guise les jours de repos.

Bonbons :

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

8.5 Hydratation

- ⊙ Ils avaient toujours 2 L de liquide avec eux.
- ⊙ Ils buvaient surtout le soir pour atteindre 4 ou 5 litres car l'eau n'était pas accessible le jour.
- ⊙ Inclure du thé ou de la tisane.
- ⊙ Inclure du vrai jus en poudre (type *Zuko*).
- ⊙ Ajouter d'autres saveurs pour le Gatorade ou d'autres sortes de boissons énergétiques.
- ⊙ Bouillons :
 - Diluer davantage la poudre : 20 g pour 4 L au lieu de 20 g pour 2 L.
 - La saveur de poulet est acceptable au goût mais pas les saveurs de bœuf et d'oignon.
 - Inclure des soupes déshydratées à la place.

8.6 Desserts

- ⊙ Les biscuits Newtons n'étaient pas bons au goût et tout en morceaux.
- ⊙ Ils ont aimé les desserts faits maison et les biscuits à l'érable.
- ⊙ Les gâteaux sont restés plus intacts que les biscuits secs.

8.7 Menu en général

- ⊙ Selon eux, une plus grande proportion de lipides aurait été bien tolérée en altitude, surtout les jours de repos.
- ⊙ Inclure de la viande lyophilisée et du fromage certains jours.
- ⊙ Ils n'ont pas eu de journées très froides (maximum -20°C). S'il avait fait plus froid, ils auraient sans doute mangé plus.

8.8 Autres commentaires

- ⊙ Inclure dans le carnet de voyage un espace pour le nombre d'heures de sommeil et les pulsations.
- ⊙ Ils avaient moins d'appétit les journées où les activités étaient plus intenses.

E. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'établir les besoins en énergie et en macronutriments d'un groupe d'hommes participant à une expédition en haute altitude afin d'en assurer le maintien du poids et de la composition corporelle, et donc de la répartition masse grasse et masse maigre. Les éléments présentés dans cette section concernent d'abord les changements de poids et de la composition corporelle. Ensuite, il sera question des facteurs pouvant expliquer la perte de poids en altitude. Ils seront abordés en trois parties : les apports alimentaires en fonction des besoins énergétiques, la déshydratation et l'augmentation de la dépense énergétique. Pour conclure cette section, quelques recommandations sont présentées pour des projets futurs.

1. Poids et composition corporelle

Les données recueillies pour ce projet coïncident étroitement avec celles des études antérieures qui rapportent un changement du poids corporel lors d'expédition en altitude (Alessio, 1993; Bales et coll., 1993; Boyer et Blume, 1984; 2000; Fulco et coll., 1992; Guillard et Klepping, 1985; Kayser et coll., 1992; Kayser et coll., 1993; Krzywicki et coll., 1969; Pulfrey et Jones, 1996; Reynolds et coll., 1999; Rose et coll., 1988; Surks et coll., 1966; Tanner et Stager, 1998; Westerterp et coll., 1992; Westerterp et coll., 1994; Worme et coll., 1991; Zamboni et coll., 1996). Trois principales causes, résultant de facteurs rencontrés en altitude et au froid, sont mises de l'avant pour expliquer cette perte de poids. Ces causes sont : 1) des apports énergétiques inadéquats, 2) l'augmentation de la dépense énergétique et 3) l'incapacité à maintenir un état hydrique adéquat (Askew, 1995; Fusch et coll., 1998; Gullledge et coll., 2003; Leblanc, 1975). Cette étude a permis de vérifier directement et indirectement certains de ces facteurs à savoir : l'appétit, la

palatabilité et la disponibilité des aliments, la malabsorption digestive, l'apport en liquides et la dépense énergétique due à l'activité.

Tanner et Stager (1998) ont constaté que les résultats varient beaucoup d'une étude à l'autre utilisant les mêmes méthodes d'évaluation mais également d'une méthode à l'autre chez un même sujet. Il en ressort que contrairement aux études menées en laboratoire ou en chambre hypobare, les études menées sur le terrain indiquent généralement que la masse maigre est moins affectée que la masse grasse. Nos résultats vont dans le même sens que les études de (Bales et coll., 1993; Boyer et Blume, 1984; Guillard et Klepping, 1985; Reynolds et coll., 1998; Westerterp et coll., 1992; Westerterp et coll., 1994; Worme et coll., 1991; Zamboni et coll., 1996) où on note une perte de masse grasse principalement. En effet, la masse grasse a significativement diminué après l'expédition. Par contre, la masse maigre a significativement augmenté. On peut expliquer ce résultat, en partie, par l'impact de l'effort physique engendré sur le maintien de la masse musculaire. Cet impact a également été observé par Reynolds et coll. (1999).

Bien qu'une perte de poids fut notée, les apports moyens réels en énergie et en macronutriments rencontraient pourtant les recommandations de l'*Institute of Medicine* ainsi que les recommandations minimales émises pour les sports d'endurance (DC et coll., 2000; Institute of Medicine, 2002).

La perte de poids moyenne des sujets de notre étude est de 4,1% ou 87 g/jour. Elle s'approche de celles observées antérieurement par plusieurs auteurs qui démontrent une variation entre 1,9 et 8,9% pour les études menées en laboratoire (Butterfield et coll., 1992; Fulco et coll., 1985; Fulco et coll., 1992; Kayser, 1992; Kayser et coll., 1993; Krzywicki et coll., 1969; Rose et coll., 1988; Surks et coll., 1966; Westerterp-Plantenga et coll., 1999) et entre 2,1 et 9,6% pour les études sur le terrain (Bales et coll., 1993; Boyer et Blume, 1984; Fusch et coll., 1996; Guillard et Klepping, 1985; Gullledge et coll., 2003;

Pulfrey et Jones, 1996; Reynolds et coll., 1998; Reynolds et coll., 1999; Stager et coll., 1992; Tanner et Stager, 1998; Westerterp et coll., 1992; Westerterp et coll., 1994; Worme et coll., 1991; Zamboni et coll., 1996). En valeurs absolues, ces données représentent une perte de 91 à 368 g/jour et de 46 à 529 g/jour pour les études en laboratoire et sur le terrain, respectivement. Contrairement à ces résultats, l'expérience de Mawson et coll. (2000) montre une augmentation du poids chez un groupe de femmes de l'ordre de 0,66% ou 34 g/jour. Ce groupe était étudié en laboratoire dont 12 jours au niveau de la mer et 12 jours à 4300 m d'altitude. Par contre, ces femmes étaient adéquatement nourries de façon à combler la plus grande dépense énergétique et donc à assurer le maintien du poids corporel. De plus, seul le poids corporel était mesuré. Il n'est donc pas possible de quantifier les changements au niveau de la composition corporelle (masse grasse : masse maigre) pour cette étude.

La méthode de mesure de la composition corporelle utilisée pour notre étude consistait en la prise des plis cutanés avant et après 35 jours d'expédition. Ainsi, lorsque la composition corporelle est évaluée par la même méthode que la nôtre et que la durée de l'expédition varie de 24 à 33 jours (Bales et coll., 1993; Boyer et Blume, 1984; Guiland et Klepping, 1985; Westerterp et coll., 1994), la perte de poids demeure très variable. Elle est de l'ordre de 2,5 à 7,5% du poids corporel de départ, soit 59 à 170 g/jour alors que le pourcentage de perte sous forme de graisse varie quant à lui de 58 à 89%. La perte de poids notée dans notre étude se compare à celle observée par Bales et coll. (1993). Ce groupe a noté une perte moyenne de 3,9% du poids corporel sur un groupe de 29 personnes en expédition au mont McKinley pendant environ 24 jours.

L'interprétation de ces données demeure limitée. En effet, les mesures de la composition corporelle (masse grasse, masse maigre) par la méthode des plis cutanés sont facilement influencées par l'état d'hydratation des sujets (Fulco

et coll., 1985). Les mesures effectuées chez un sujet déshydraté, auront tendance à sous-estimer la composition du corps en gras. Comme dans notre étude, les mesures anthropométriques en post expédition ont été prises 3 jours après la fin de l'expédition, ce qui a laissé le temps aux sujets de bien se réhydrater. Les mesures obtenues correspondent donc aux valeurs réelles. De plus, les membres de l'expédition étaient informés de l'importance d'une bonne hydratation autant sur la performance physique que sur la validité des mesures anthropométriques. Il faut noter cependant que l'évaluation de la composition corporelle par les mesures de plis cutanés et de circonférences demeurent les outils les plus accessibles lors d'une expédition en montagne.

2. Apports alimentaires en fonction des besoins énergétiques

2.1 Apports énergétiques

Les résultats de notre étude montrent que l'apport énergétique était plus élevé pendant l'expédition d'environ 400 kcal/jour qu'au niveau de la mer sans que ce soit significatif sauf au cours des jours 2, 5, 11, 27, 28 et 29 où l'apport énergétique était significativement plus élevé. Dans une revue de littérature, Butterfield (1996) a observé que les apports en altitude étaient d'environ 180 kcal/jour plus faibles qu'au niveau de la mer. Elle tire cette valeur d'une compilation d'études effectuées en altitude où les apports alimentaires étaient assurés à volonté. Les plus grands apports étaient notés pour les sujets soumis à un entraînement physique régulier au niveau de la mer et en altitude, alors que les plus petits apports provenaient des études où les sujets étaient sédentaires. Les sujets de notre étude n'étaient pas exposés à un libre choix d'aliments comme ce fut le cas dans les études rapportées par Butterfield (1996), mais ils savaient que pour satisfaire leurs plus grands besoins, ils devaient consommer tout le contenu des sacs.

Malgré un plus grand apport énergétique des sujets en cours d'expédition comparativement au niveau de la mer, cet apport a été insuffisant pour combler leur plus grand besoin en énergie. Les résultats montrent clairement que l'apport réel en énergie était significativement différent de l'apport prévu en fonction du type de journée ($45,1 \pm 4,4$ vs $53,3 \pm 10,3$ kcal/kg de poids corporel). Le déficit énergétique réel pour la totalité de l'expédition est de $18\ 043 \pm 6105$ kcal ou 515 kcal/jour. Ce résultat provient de la différence entre l'apport énergétique, estimé en fonction de ce que les sujets devaient consommer selon le type de journée, et l'apport énergétique réel. Ce déficit diffère significativement de celui estimé à partir de la perte de masse grasse et du gain de masse maigre qui correspond à $25\ 887 \pm 9278$ kcal ou 740 kcal/jour. Par contre, la perte de poids estimée ne diffère pas significativement de la perte réelle. Le déficit énergétique réel représente une perte de poids d'environ 470 g/semaine en supposant que la perte de poids est uniquement sous forme de masse grasse, alors que la perte de poids réelle est de 600 g/semaine sachant qu'il y a eu un gain de masse maigre.

Les résultats montrent que la perte de poids réelle est supérieure à la perte de poids estimée pour les sujets 1, 2 et 4. Nous pouvons donc supposer que certains sujets ont surestimés leurs apports alimentaires ou encore que les apports énergétiques prévus au départ en fonction du type de journée ne rencontraient pas les besoins réels des alpinistes. Ainsi, le déficit énergétique réel serait plus grand, et l'écart entre le déficit énergétique réel et estimé, moins élevé.

En conséquence, le fait que les sujets n'aient pas consommé tout ce qui était prévu au départ a entraîné un déficit énergétique et donc une perte de poids corporel. À la lueur de ces résultats, nous pouvons spéculer qu'un apport adéquat en énergie, tel que prévu au départ, aurait permis de modérer ou même d'éviter la perte de poids en altitude chez nos 4 alpinistes.

2.2 Apports en macronutriments

Certaines études ont déjà montré que les alpinistes avaient une plus grande préférence pour les aliments riches en glucides en altitude (Boyer et Blume, 1984; Fenn, 1994). Cette observation tient sans doute de la plus grande disponibilité de ces aliments (Boyer et Blume, 1984; Fenn, 1994; Rose et coll., 1988). C'est ce que nous constatons dans notre étude. L'apport moyen en glucides était significativement plus élevé en expédition qu'au niveau de la mer ($380,0 \pm 33,1$ vs $530,6 \pm 40,5$ g/jour), alors que l'apport en protéines a significativement diminué ($108,4 \pm 4,4$ vs $84,3 \pm 4,9$ g/jour). Aucune différence significative ne fut notée pour l'apport en lipides. En terme de pourcentage de l'énergie totale, nous notons une plus grande proportion de glucides et ainsi une plus petite proportion de protéines et de lipides pendant l'expédition comparativement aux valeurs de base. Il est peu probable que la plus grande consommation de glucides tienne uniquement du libre choix des sujets, car un menu précis en terme de quantités et de type d'aliments leur était fourni. Néanmoins, ils avaient la possibilité d'échanger ou d'enlever des aliments.

Les sujets de notre étude ont consommé en moyenne $7,2 \pm 0,8$ g/kg de poids/jour de glucides et $1,1 \pm 0,1$ g/kg de poids/jour de protéines, ce qui est significativement différent des apports moyens prévus qui étaient de $623,4 \pm 65,8$ g/jour ($8,5 \pm 2,9$ g/kg de poids) et $100,0 \pm 23,5$ g/jour ($1,4 \pm 0,5$ g/kg de poids), respectivement. L'apport moyen réel en lipides était légèrement plus faible que l'apport moyen prévu ($95,0 \pm 4,3$ g/jour vs $96,4 \pm 31,7$ g/jour) sans différence significative. Les apports prévus correspondent à ce que les sujets devaient consommer en fonction du type de journée (active - d'intensité élevée, repos ou sommet) et du nombre de journée type. En comparant en terme de pourcentage, seule la répartition de lipides réelle était significativement plus élevée que la répartition prévue ($24,9 \pm 1,2$ % vs $22,4 \pm$

4,3 %). Ces différences tiennent du fait que les sujets ne parvenaient pas à consommer tous les aliments nécessaires dans la journée. Dans le bilan des aliments non consommés, ce sont les barres énergétiques de type *Cliff Bar*, *Marco Bar* et *Peak Bar* qui ont obtenu les plus grands pourcentages de reste (si on ne tient pas compte des liquides). Le retrait de ces barres, principalement riches en glucides et bonnes sources de protéines, explique les moins grands apports en ces macronutriments comparativement aux apports prévus.

La perte de masse maigre a souvent été observée en altitude (Tanner et Stager, 1998). Il en ressort tout de même qu'il est possible de fournir suffisamment d'énergie de façon à combler la plus grande dépense énergétique et ainsi éviter un bilan azoté négatif qui reflète une dégradation de la masse musculaire (Butterfield et coll., 1992). D'autres études ont montré que la masse maigre était conservée en présence d'un léger déficit énergétique chez des sujets soumis à des entraînements physiques exigeants en altitude (Consolazio et coll., 1972; Worme et coll., 1991). On explique ce phénomène par l'effet protecteur que procure l'exercice physique sur l'utilisation des protéines en altitude chez des sujets présentant un apport adéquat en protéines tel que démontré au niveau de la mer (Todd et coll., 1984). Nous observons un phénomène similaire dans notre étude; l'analyse des mesures anthropométriques montre une augmentation significative de la masse maigre après l'expédition.

L'apport nutritionnel recommandé en protéines chez une personne sédentaire est de 0,8 g/kg de poids corporel alors qu'il est de 1,2 à 1,4 g/kg de poids corporel pour les athlètes qui s'entraînent en endurance et de 1,6 à 1,7 g/kg de poids corporel pour les athlètes qui s'entraînent en résistance (DC et coll., 2000; Institute of Medicine, 2002). Ces besoins plus élevés chez les athlètes ne sont pas unanimement admis par les scientifiques (Institute of Medicine, 2002). Les techniques de mesure des besoins en protéines sont à la source de la confusion quant aux plus grands besoins en protéines des athlètes. Nous

pouvons donc émettre l'hypothèse que les apports en protéines réels (1,15 g/kg de poids corporel) suffisaient à satisfaire les besoins des sujets exposés en altitude et soumis à des activités physiques intenses malgré un déficit énergétique. Un apport adéquat en glucides est tout aussi important pour préserver la masse musculaire (McArdle et coll., 2004). À cet égard, l'apport réel moyen en glucides correspondait à l'apport recommandé pour les sports d'endurance, c'est-à-dire entre 500 et 600 g de glucides par jour ou l'équivalent de 7 à 10 g/kg de poids (Coleman, 2000; DC et coll., 2000).

Pour maintenir le poids ainsi que la composition corporelle, Worme et coll. (1991) concluent qu'il est souhaitable de viser un apport énergétique se situant entre 3500 et 4500 kcal selon le niveau d'activité et fournir environ 7 g de glucides par kg de poids par jour. Ils recommandent également de substituer la quantité supplémentaire de glucides par des matières grasses de façon à presque doubler la quantité d'énergie par gramme et minimiser les problèmes gastro-intestinaux que peuvent engendrer un grand apport en glucides (Worme et coll., 1991). Les alpinistes de notre étude mentionnent justement qu'un plus grand pourcentage de lipides dans le menu aurait sans doute été bien toléré, surtout les jours de repos.

2.3 Causes d'un apport alimentaire inférieur aux besoins

L'anorexie est souvent mise en cause et est généralement rencontrée en début d'exposition à l'altitude (Richalet et Herry, 2003). Dans notre étude, les sujets ne parvenaient pas à consommer tous les aliments nécessaires pour combler leurs plus grands besoins énergétiques et ce, tout au long de l'expédition. L'analyse des carnets de bord montre que dans une échelle dont les scores allaient de 1 à 5, (1 = très insatisfait, 2 = insatisfait, 3 = satisfait, 4 = plus que satisfait et 5 = très satisfait), le niveau de satisfaction moyen pour le menu en général était de $3,6 \pm 0,6$ et de $3,4 \pm 0,7$ pour le goût ainsi que de

3,8 ± 0,4 pour les quantités moyennes d'aliments. Les sujets étaient donc satisfaits du goût des aliments et plus que satisfaits du menu en général ainsi que des quantités. En complément à ces résultats, il est important de mentionner que dans 57,5% des cas, le manque d'appétit était la principale raison expliquant les aliments prévus non consommés. Le manque d'appétit a donc été le facteur limitant le plus important au niveau de la prise alimentaire en cours d'expédition.

Le changement d'appétit en situation hypoxique a aussi été mis en cause dans l'étude de Westerterp-Plantenga et coll. (1999). Ces auteurs suggèrent que la diminution des apports alimentaires et donc la perte de poids observées sont associées à l'hypoxie. Leur conclusion tient du fait que l'étude a été conduite dans une chambre hypobare où ils ont pu isoler les autres facteurs impliqués dans la perte de poids.

Les sujets de notre étude mentionnaient qu'ils avaient un plus grand appétit en début d'expédition et qu'il s'estompait au fil des jours. En d'autres mots, ils n'arrivaient pas à consommer tout le contenu des sacs au fur et à mesure que l'expédition avançait. Tel que mentionné plus tôt, l'apport énergétique était significativement plus élevé au cours des jours 2, 5, 11, 27, 28 et 29 qu'au niveau de la mer. Gullledge et coll. (2003) ont également observé une augmentation significative des apports énergétiques au cours des premiers jours (2 et 3) de l'expédition comparativement aux apports de base. Ils expliquent cette différence par l'augmentation de la dépense énergétique et de la conscientisation des sujets à consommer de grandes quantités d'aliments pour éviter une perte de poids. L'anorexie de l'altitude a été mise en cause les jours suivants alors qu'une diminution significative des apports alimentaires a été notée. Dans notre recherche, les jours 2 et 11 correspondent à des journées où les sujets étaient très actifs, alors que le jour 5 faisait suite à une journée intense, ce qui pourrait expliquer la plus grande consommation alimentaire ces jours-là. Les jours 27 à 29 sont les trois

premières journées de l'ascension du mont McKinley. Nous pouvons donc expliquer cette différence par le fait que les sujets venaient de prendre quelques jours de repos, mais surtout qu'ils avaient substitué des aliments au menu prévu par d'autres aliments de façon à le varier et éviter la monotonie.

On a voulu vérifier si les apports énergétiques avaient un lien avec l'altitude atteinte. La courbe de régression montre que la relation est très faible ($r = -0,30367$). Par contre, il semble y avoir une tendance vers un moindre apport en énergie lorsque l'altitude est plus élevée.

Le manque d'appétit est la source principale des apports insuffisants en énergie mais il semble que d'autres facteurs entrent en jeu. La deuxième explication repose sur le fait que les sujets aient choisi un sac inapproprié pour le type de journée encouru. Par exemple, au lieu de prendre un sac portant un code 5000 pour une journée active qui fournit environ 4500 kcal, le sujet peut, par mégarde ou par choix, avoir sélectionné un sac codé 3000 et procurant seulement 3000 kcal.

Les participants ont reçu un enseignement avant leur départ sur l'importance de bien s'alimenter de façon à éviter une perte de poids tout en insistant sur le fait qu'il n'est pas normal et souhaitable de perdre du poids en altitude. Malgré ce fait, il est plausible que nos sujets se soient volontairement restreints en nourriture par crainte d'en manquer en cours d'expédition advenant le cas où ils demeurent prisonniers de la montagne pendant quelques jours supplémentaires. C'est une troisième explication d'apports insuffisants.

Les aliments contenus dans les sacs auraient sans doute suffi à fournir toute l'énergie nécessaire aux alpinistes, à condition de tout consommer. La monotonie des repas est une quatrième explication en lien avec le manque d'appétit et donc avec des apports insuffisants. En effet, les sujets ont mentionné que le menu variait peu d'un jour à l'autre et que les repas, le

déjeuner en particulier, contenait trop de saveurs sucrées. Le menu avait néanmoins été conçu de façon à fournir une grande variété d'aliments dans une même journée. De plus, il répondait à la demande des sujets qui envisageaient sans problème un menu contenant le même type d'aliments jour après jour pour l'entièreté de l'expédition.

Il semble qu'après 20 jours d'expédition, la monotonie ait pris le dessus sur la faim chez nos sujets. Le fait de fournir une variété d'aliments, de saveurs et de textures à l'intérieur d'un même repas semble agir sur l'état de satiété pour ainsi contribuer à augmenter la durée et la grosseur du repas (Hetherington et coll., 2006; Sorensen et coll., 2003). Bien que les repas fournissaient une grande variété d'aliments, trop de saveurs sucrées les composaient. Il est démontré que l'appétence pour un mets diminue suite à une consommation répétée de ce mets ou de la saveur, à cause d'une habitude au goût (Frankham et coll., 2005). Ce phénomène porte le nom d'*alliesthésie alimentaire négative*. Par exemple, un des sujets a développé une aversion à un type de barre énergétique qui était pourtant apprécié avant le départ. À chaque jour où ce type de barre apparaissait au menu, cet aliment n'était pas consommé et pas toujours remplacé. Un déficit d'environ 500 kcal était donc prévisible pour cette journée.

Il aurait donc été favorable de varier les saveurs (salées, acides, sucrées) à l'intérieur d'un même repas afin d'assurer un apport alimentaire optimal à tous les jours.

Certaines études montrent qu'il est possible de ralentir la perte de poids en altitude en procurant suffisamment d'énergie (Boyer et Blume, 1984; Guiland et Klepping, 1985; Krzywicki et coll., 1969; Rose et coll., 1988; Westerterp et coll., 1992). Une attention particulière doit tout de même être portée à l'acclimatation, à la palatabilité des aliments et à la facilité de préparation des repas. Malgré un accès presque illimité et une grande variété d'aliments,

les sujets des ces études présentaient tout de même une perte de poids. Westerterp-Plantenga et coll. (1999) ont observé une perte de poids après 31 jours de simulation de l'ascension du mont Everest malgré un libre choix d'aliments et des quantités consommées. Une grande variété de mets leur était présentée mais le menu était similaire d'un jour à l'autre. Seuls les choix de viandes et de légumes variaient. Dans une étude similaire d'une durée de 21 jours, Butterfield et coll. (1992) ont observé une plus grande perte de poids la première semaine de l'étude (200 g/jour) et un ralentissement de cette perte les jours suivants (environ 70 g/jour) chez un groupe de 7 hommes modérément actifs. Cependant, au cours de la première semaine, les apports alimentaires équivalaient aux besoins estimés au niveau de la mer, ce qui est évidemment insuffisant dû à la plus grande dépense en altitude liée à l'augmentation du métabolisme de base. Les jours suivants, les apports étaient ajustés en fonction des besoins réels.

Pour les projets futurs, l'une ou l'autre des recommandations suivantes peut encourager les alpinistes à consommer d'avantage en cours d'expédition et à éviter la monotonie: inclure des barres énergétiques de différentes sortes d'un jour à l'autre, planifier un menu différent pour chacune des semaines, faire une rotation d'un menu de 3 semaines ou fournir un tout autre menu pour l'ascension du second mont et varier les saveurs (sucrées, acides, amers et salées) à l'intérieur d'un même repas.

3. Déshydratation

La déshydratation est souvent mise en cause en tant que facteur impliqué dans la perte de poids en altitude. L'hyperventilation, la diurèse, l'air plus sec et la sudation seront les principaux éléments affectant l'état d'hydratation en montagne (Brouns, 1992; Butterfield, 1999; Fusch et coll., 1996; Kayser et

coll., 1992; Kayser, 1994). D'autres facteurs tels que l'exercice prolongé, l'équipement vestimentaire non adéquat, la difficulté à s'approvisionner en eau, l'anorexie et les troubles digestifs auront également un impact sur l'état d'hydratation (Richalet et Herry, 2003). Les sujets de notre étude consommaient en moyenne 5 L de liquides par jour sous forme de Déjeuner instant, de Gatorade, de chocolat chaud, de bouillon et de thé. Sachant que les besoins estimés en altitude sont de l'ordre de 3 à 6 litres par jour selon le type et l'intensité de l'effort (Butterfield, 1999; Richalet et Herry, 2003), les apports de nos sujets semblent donc adéquats.

Le type de journée (active, de repos, de sommet) n'avait pas d'influence sur l'apport hydrique, ce qui laisse croire que peu importe la journée, les sujets accordaient une grande importance à l'hydratation. C'est le midi que les apports étaient les plus élevés suivi par le soir et le matin ($1,9 \pm 0,2$ vs $1,7 \pm 0,3$ vs $1,5 \pm 0,3$ L, respectivement), sans que les différences soient marquées. Les sujets ont pourtant mentionné qu'ils buvaient davantage le soir de façon à compléter les 4 à 5 L de liquides nécessaires. C'est à ce moment qu'ils disposaient de plus de temps pour fondre la neige et la glace et en faire de l'eau. Néanmoins, ils s'assuraient de toujours transporter avec eux, au cours de la journée, 2 L de liquide.

Il est peu probable que la perte de poids totale découlant des mesures effectuées avant et 3 jours après la fin de l'expédition, résulte d'une déshydratation. Effectivement, les aventuriers ont adopté un protocole d'hydratation très strict tout au long de l'expédition de façon à consommer 4 à 5 L de liquides/jour. En plus, ils ont passé 3 jours en ville avant de reprendre les mesures à Calgary, ce qui leur a permis de se réhydrater convenablement et de manger au-delà de leurs besoins!

En ce qui concerne le poids mesuré après l'ascension du Mont Logan, plus précisément au jour 23 ou 25, celui-ci a significativement diminué

comparativement à la mesure prise au jour 1 et de façon plus importante que la perte encourue à la fin de l'expédition (8,1% vs 4,1%). De plus, la perte de poids estimée à partir du déficit énergétique réel du jour 1 au jour 23 ou 25, est significativement différente de la perte de poids réelle. Cette différence de poids corporel est probablement le reflet de la réalité. En effet, le poids corporel a été mesuré à la sortie du mont Logan en avion après 2 jours d'attente pour 2 des sujets et 4 jours d'attente pour les 2 autres sujets, ce qui laissait le temps aux sujets de se réhydrater. Par contre, ne sachant pas à quel moment l'avion viendrait les chercher, il est tout de même plausible qu'ils se soient restreints en nourriture et en eau de façon à épargner le carburant et les vivres pour les jours à venir.

4. Augmentation de la dépense énergétique en altitude

Le métabolisme de base, la dépense énergétique due à l'activité même, la malabsorption des nutriments et les conditions climatiques sont les principaux facteurs qui auront une influence sur les besoins énergétiques en altitude. Suite à l'analyse des carnets et des commentaires recueillis, nous pouvons mentionner que nos sujets n'ont pas souffert de problèmes digestifs majeurs (nausées, vomissements, diarrhées) sauf le sujet 4 qui a été victime de vomissements au cours de la nuit du jour 11 à 12. Après une journée de repos, tout était rétabli. La source de ce problème digestif n'est pas claire étant donné que tous les sujets consommaient les mêmes aliments. L'hypothèse d'une malabsorption digestive tel que rapporté par Westerterp et coll. (1994) ne peut expliquer cette situation puisqu'elle s'est produite uniquement au jour 11 de l'expédition et a duré moins de 24 heures.

Le type de journée ne semble pas avoir eu de répercussions sur les apports en énergie et en macronutriments. Assurément, aucune différence significative n'a été notée entre les apports des jours actifs, de sommet et de repos sauf

pour le sujet 3. Les quantités de protéines et de lipides en valeurs absolues ainsi que le pourcentage de l'énergie totale en lipides étaient significativement plus grand et le pourcentage de glucides, significativement plus petit les jours actifs comparativement aux jours de repos pour ce sujet. Ces observations sont probablement dues aux aliments enlevés ou ajoutés au cours de ces jours.

Les sacs ont été conçus de façon à fournir plus d'énergie les jours actifs et de sommet, mais les sujets ne parvenaient pas à consommer tout le contenu de façon à satisfaire la plus grande dépense énergétique. Les participants mentionnent qu'ils avaient moins d'appétit les jours actifs et mangeaient davantage les jours de repos où ils disposaient de plus de temps. Les sujets étaient sans doute trop épuisés pour manger et investir du temps à la préparation des repas.

Selon Jones et Lee (1996), la quantité d'énergie à fournir par jour pour des activités très intenses au froid se situe entre 4200 et 5000 kcal/jour ou 54 à 62 kcal/kg de poids corporel. Les sujets de notre étude consommaient en moyenne 3314 ± 204 kcal/jour ($45,1 \pm 4,4$ kcal/kg), ce qui est en deçà des recommandations sachant que sur un total de 35 jours, 18 étaient de type actifs, 3 semi actifs et 14 de repos (sédentaires). De plus, l'analyse des résultats montre que le déficit énergétique était de l'ordre de 515 kcal/jour. Nous pouvons donc conclure qu'un apport d'environ 3800 à 4000 kcal/jour aurait suffi à rencontrer les besoins des expéditionnaires et éviter la perte de poids. Cet apport s'approche de la dépense énergétique moyenne établie à partir d'une série d'études en montagne et/ou au froid (Bovill et coll., 2002; Burnstein et coll., 1993; Burnstein et coll., 1996; Edwards et coll., 1991; Edwards et coll., 1992; Hoyt et coll., 1991a; Hoyt et coll., 1991b; Hoyt et coll., 1993; Hoyt et coll., 1994; Hoyt et coll., 2002; Jones et coll., 1993; King et coll., 1992; Moore et coll., 1992; Pulfrey et Jones, 1996; Reynolds et coll., 1999; Shippee et coll., 1994; Tharion et coll., 2004). La dépense énergétique

moyenne pour ces études, mesurée par la méthode de l'eau doublement marquée, est de 4338 kcal/jour ou de 58,3 kcal/kg.

Il serait donc plus approprié, pour les expéditions futures, de fournir des sacs qui contiennent la même quantité d'énergie par jour soit environ 4000 kcal et inclure d'autres aliments dans des sacs à part que les expéditionnaires seraient libres de choisir pour compléter à 4500 kcal selon les besoins. De cette façon, le menu serait plus varié et plus susceptible de rencontrer les besoins de la plupart des activités menées au froid et en altitude.

5. Recommandations pour les projets futurs

En somme, en se basant sur les résultats des mesures anthropométriques, nous pouvons conclure que l'hypothèse selon laquelle le maintien du poids et de la composition corporelle reflètent l'atteinte des besoins en énergie et en macronutriments est infirmée. Une analyse plus poussée des résultats laisse croire que les sujets n'ont tout simplement pas consommé les quantités d'aliments préalablement établies. La perte de poids est-elle réellement inévitable en altitude? Est-il possible de réduire ou même éviter la perte de poids par l'adjonction d'un menu varié, facile à préparer, de faible poids et rencontrant les besoins nutritionnels?

Pour les recherches futures, il serait intéressant de mettre en application les données et commentaires recueillis ici afin de vérifier leur impact. De cette façon, il sera possible d'établir un menu qui soit mieux adapté aux goûts et aux besoins des aventuriers et ainsi assurer un apport énergétique optimal. Une tâche importante pour les chercheurs sera de motiver les alpinistes à consommer suffisamment d'énergie; la perte de poids n'est pas souhaitable ni obligatoire en altitude.

D'un point de vue technique, les recommandations suivantes seront utiles pour les expéditionnaires : tester tous les aliments ainsi que les emballages pour vérifier la conservation et la réaction aux conditions d'expédition (ex : qualités organoleptiques des aliments, résistance des sacs, l'état de l'aliment au froid, etc.), faire des sacs contenant tous les aliments devant être consommés dans la journée pour chacun des sujets, viser un poids de 1 kg pour les sacs, fournir des sacs contenant chacun un menu d'environ 4000 kcal que les sujets complètent avec d'autres aliments aux choix fournis en complément au menu principal, inclure des grignotises salées de type méli-mélo afin de varier avec les aliments qui sont le plus souvent sucrés et fournir une variété

de boisson pour assurer une hydratation adéquate : jus, boissons énergétiques, thé, tisane, chocolat chaud, bouillons, etc.

CONCLUSION

L'objectif premier de cette étude qui était de prévenir la perte de poids en altitude n'a pas été rencontré. En effet, en dépit d'une planification rigoureuse, une perte de poids significative a été notée à la fin de l'expédition. Cependant, il semble que les besoins estimés au départ auraient suffi à maintenir le poids des alpinistes si ces derniers avaient consommé la totalité du contenu des sacs et fait le bon choix de sac selon le type de journée. En théorie, si l'expédition s'était déroulée selon les conditions prévues au départ, il aurait donc été possible de limiter ou même d'éviter cette perte de poids.

Les besoins en énergie ainsi qu'en macronutriments ont bien été établis, mais les sujets ne parvenaient pas à consommer la totalité des aliments. L'anorexie de l'altitude, en lien direct avec l'hyposmie mais aussi avec la monotonie des repas, est l'un des principaux facteurs qui a contribué à des apports inadéquats en énergie.

Le fait d'accepter que la perte de poids est inévitable en altitude peut avoir des répercussions sur le niveau de performance physique mais également sur la santé et la sécurité des alpinistes. Cet aspect prend plus d'ampleur pour les gens qui ont à séjourner ou à travailler une longue période de temps en altitude. Une perte de poids importante entraînera une perte de la masse musculaire et donc une diminution de la force. Il semble possible de prévenir la perte de poids en encourageant les sujets à bien s'alimenter et s'hydrater, en fournissant des aliments palatables en quantités suffisantes et un menu varié.

RÉFÉRENCES

ALESSIO H.M. (1993). Exercise-induced oxidative stress. *Med Sci Sports Exerc*, 25(2):218-224.

ALLEN T.H., PENG M.T., CHEN K.P., HUANG T.F., CHANG C., and FANG H.S. (1956). Prediction of total adiposity from skinfolds and the curvilinear relationship between external and internal adiposity. *Metabolism*, 5(3):346-352.

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (2005). Cardiorespiratory fitness measurement: step tests and field tests to predict cardiorespiratory fitness. In: *ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment Manual*. Edited by Dwyer G.B., and Davis S.E. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins; 87-94.

ARMELLINI F., ZAMBONI M., ROBBI R., TODESCO T., BISSOLI L., MINO A., ANGELINI G., MICCIOLO R., and BOSELLO O. (1997). The effects of high altitude trekking on body composition and resting metabolic rate. *Horm Metab Res*, 29(9):458-461.

ASKEW E.W. (1994). Nutrition and performance at environmental extremes. In: *Nutrition in exercise and sport*. Edited by Wolinsky I., and Hickson J.F.J., 2nd ed. edn. FL: Boca Raton: CRC Press; 508.

ASKEW E.W. (1995). Environmental and physical stress and nutrient requirements. *American journal of the clinical nutrition*, 61(suppl):631S-637S.

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

BAILEY D.M., DAVIES B., MILLEDGE J.S., RICHARDS M., WILLIAMS S.R., JORDINSON M., and CALAM J. (2000). Elevated plasma cholecystokinin at high altitude: metabolic implications for the anorexia of acute mountain sickness. *High Alt Med Biol*, 1(1):9-23.

BAILEY D.M., and DAVIES B. (2001). Acute mountain sickness; prophylactic benefits of antioxidant vitamin supplementation at high altitude. *High Alt Med Biol*, 2(1):21-29.

BAILEY D.M., DAVIES B., YOUNG I.S., HULLIN D.A., and SEDDON P.S. (2001). A potential role for free radical-mediated skeletal muscle soreness in the pathophysiology of acute mountain sickness. *Aviat Space Environ Med*, 72(6):513-521.

BAILEY D.M., AINSLIE P.N., JACKSON S.K., RICHARDSON R.S., and GHATEI M. (2004a). Evidence against redox regulation of energy homeostasis in humans at high altitude. *Clin Sci (Lond)*, 107(6):589-600.

BAILEY D.M., KLEGER G.R., HOLZGRAEFE M., BALLMER P.E., and BARTSCH P. (2004b). Pathophysiological significance of peroxidative stress, neuronal damage, and membrane permeability in acute mountain sickness. *J Appl Physiol*, 96(4):1459-1463.

BAKER-FULCO C.J., PATTON B.D., MONTAIN S.J., and LIEBERMAN H.R. (2001). *Nutritional Guidance for Military Operations in Temperate and Extreme Environments: Military Nutrition Division; 77.*

BALES B., HACKNEY A.C., COYNE J.T., SHAW E., MCANINCH G., KRAMER A., and BROWNSBERGER R. (1993). *Mountaineering sojourn: effects on body*

composition of prolonged exposure to high altitude in a cold environment. *Journal of Wilderness Medicine*, 4:32-39.

BARRY P.W., and POLLARD A.J. (2003). Altitude illness. *Bmj*, 326(7395):915-919.

BELLISLE F., and LE MAGNEN J. (1981). The structure of meals in humans: eating and drinking patterns in lean and obese subjects. *Physiol Behav*, 27(4):649-658.

BELLISLE F., LUCAS F., AMRANI R., and LE MAGNEN J. (1984). Deprivation, palatability and the micro-structure of meals in human subjects. *Appetite*, 5(2):85-94.

BOVILL M.E., BAKER-FULCO C.J., THARION W.J., CHAMPAGNE C.M., ALLEN H.R., and DELANY J.P. (2002). Nutritional requirements of United States Army Special Forces soldiers. *Federation of American Societies for Experimental Biology Journal* 16:A252 (Abstract).

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

BROUNS F. (1992). Nutritional aspects of health and performance at lowland and altitude. *Int J Sports Med*, 13 Suppl 1:S100-106.

BURNSTEIN R., EPSTEIN Y., COWARD A.W., SAWYER M.B., MORAN D., IRVING C.F., SHPILBERG O., ASKEW E.W., LEV B., and WIENER M. (1993). Energy balance in subjects performing physical efforts in a cold climate. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25:S43 (Abstract).

BURNSTEIN R., COWARD A.W., ASKEW W.E., CARMEL K., IRVING C., SHPILBERG O., MORAN D., PILARSKY A., GINOT G., SAWYER M., GOLAN R., and EPSTEIN Y. (1996). Energy expenditure variations in soldiers performing military activities under cold and hot climate conditions. *Military Medicine* 161:750-764.

BUTTERFIELD G.E., GATES J., FLEMING S., BROOKS G.A., SUTTON J.R., and 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. (1996). Maintenance of body weight at altitude: in search of 500 kcal/day. In: *Nutritional needs in cold and high-altitude environments: applications for military personnel in field operation*. Edited by Marriott B.M., and Carlson J.C., NATIONAL ACADEMY PRESS edn. Washington, D.C.

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., and PERKINS J.B. (1999). Oxidative stress in humans during work at moderate altitude. *J Nutr*, 129(11):2009-2012.

COLEMAN E. (2000). Ultraendurance sports In: *Sports nutrition*. Edited by Rosenbloom C.A., 3 edn. Chicago: The American dietetic association; 485-492.

CONSOLAZIO C.F., JOHNSON H.L., KRZYWICKI H.J., and DAWS T.A. (1972). Metabolic aspects of acute altitude exposure (4,300 meters) in adequately nourished humans. *Am J Clin Nutr*, 25(1):23-29.

CYMERMAN A. (1996). The Physiology of high-altitude exposure. In: *Nutritional needs in cold and high-altitude environments: applications for military personnel in field operation* Edited by Marriott B.M., and Carlson J.C., NATIONAL ACADEMY PRESS edn. Washington, D.C.

DC, ADA, and ACSM (2000). Position of Dietitians 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.

EDWARDS J.S., ASKEW E.W., and 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., HOYT R.W., and DELANY J.P. (1991). An assessment of the nutritional intake and energy expenditure of unacclimatized US Army soldiers living and working at high altitude. Natick, MA: United States Army Research Institute of Environmental Medicine Technical Report No. T10-91.

EDWARDS J.S.A., ROBERTS D.E., and MUTTER S.H. (1992). Rations for use in a cold environment. *Journal of Wilderness Medicine* 3:27-47.

FALLING RAIN GENOMICS (1996-2004a).

<http://www.fallingrain.com/world/CA/12/Kluane.html>

FALLING RAIN GENOMICS (1996-2004b).

<http://www.fallingrain.com/world/US/2/Anchorage.html>

FALLING RAIN GENOMICS (1996-2004c).

<http://www.fallingrain.com/world/US/2/Talkeetna.html>

- FENN C.E. (1994).** Energy and nutrient intakes during high-altitude acclimatization. *Journal of Wilderness Medicine*, 5:318-324.
- FRANKHAM P., GOSSELIN C., and CABANAC M. (2005).** Diet induced weight loss accelerates onset of negative alliesthesia in obese women. *BMC Public Health*, 5:112.
- FULCO C.S., CYMERMAN A., PIMENTAL N.A., YOUNG A.J., and MAHER J.T. (1985).** Anthropometric changes at high altitude. *Aviat Space Environ Med*, 56(3):220-224.
- FULCO C.S., HOYT R.W., BAKER-FULCO C.J., GONZALEZ J., and CYMERMAN A. (1992).** Use of bioelectrical impedance to assess body composition changes at high altitude. *J Appl Physiol*, 72(6):2181-2187.
- FUSCH C., GFRORER W., KOCH C., THOMAS A., GRUNERT A., and MOELLER H. (1996).** Water turnover and body composition during long-term exposure to high altitude (4,900-7,600 m). *J Appl Physiol*, 80(4):1118-1125.
- FUSCH C., GFRORER W., DICKHUTH H.H., and MOELLER H. (1998).** Physical fitness influences water turnover and body water changes during trekking. *Med Sci Sports Exerc*, 30(5):704-708.
- GILL M.B., and PUGH L.G. (1964).** Basal metabolism and respiration in men living at 5,800 m (19,000 ft). *J Appl Physiol*, 19:949-954.
- GRIMBLE R.F. (1998).** Nutritional modulation of cytokine biology. *Nutrition*, 14(7-8):634-640.

GUILLAND J.C., and 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., and COYEN J.T. (2003). Dietary macronutrient and caloris intake during prolonged exposure to a high altitude-cold environment. *Medycyna Sporttowa*, 19(5):173-180.

HANNON J.P., and SUDMAN D.M. (1973). Basal metabolic and cardiovascular function of women during altitude acclimatization. *J Appl Physiol*, 34(4):471-477.

HETHERINGTON M.M., FOSTER R., NEWMAN T., ANDERSON A.S., and NORTON G. (2006). Understanding variety: Tasting different foods delays satiation. *Physiol Behav*.

HOYT R.W., JONES T.E., SCHWARTZ R., SCHOENE R.B., SCHOELLER D.A., ASKEW E.W., and CYMERMAN A. (1991a). Doubly labeled water (DLW) measurement of human energy expenditure (EE) during a winter climb on Mount Rainier. *Federation of American Societies for Experimental Biology Journal*, 5:A1127 (Abstract).

HOYT R.W., JONES T.E., STEIN T.P., MCANINCH G.W., LIEBERMAN H.R., ASKEW E.W., and CYMERMAN A. (1991b). Doubly labeled water measurement of human energy expenditure during strenuous exercise. *J Appl Physiol*, 71(1):16-22.

HOYT R.W., MOORE R.J., DELANY J.P., FRIEDL K.E., and ASKEW E.W. (1993). Energy balance during 62 days of rigorous physical activity and calorie deprivation. *Federation of American Societies for Experimental Biology Journal* 7:A726 (Abstract).

HOYT R.W., JONES T.E., BAKER-FULCO C.J., SCHOELLER D.A., SCHOENE R.B., SCHWARTZ R.S., ASKEW E.W., and CYMERMAN A. (1994). Doubly labeled water measurement of human energy expenditure during exercise at high altitude. *Am J Physiol*, 266(3 Pt 2):R966-971.

HOYT R.W. (1996). Energy and macronutrient requirements for work at high altitudes. In: *Nutritional needs in cold and high-altitude environments: applications for military personnel in field operation* Edited by Marriott B.M., and Carlson J.C., NATIONAL ACADEMY PRESS edn. Washington, D.C.

HOYT R.W., THARION W.J., SANTEE W.R., MATTHEW W.T., and DELANY J.P. (2002). Water turnover of soldiers and Marines in the field using doubly labeled water (DLW). *Federation of American Societies for Experimental Biology Journal* 16:A41-A42 (Abstract).

HUTCHINSON R.C. (1952). Meal habits and their effects on performance. *Nutr Abstr Rev Ser Hum Exp*, 22(2):283-297.

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

IMRAY C., CHESNER I., WINTERBORN M., WRIGHT A., NEOPTOLEMOS J.-P., and BRADWELL A.R. (1992). Fat absorption at altitude, a reappraisal. *Int J Sports Med*, 13:87.

INSTITUTE OF MEDICINE (1996). *Nutritional needs in cold and high-altitude environments: applications for military personnel in field operation*, NATIONAL ACADEMY PRESS edn. Washington, D.C.: Marriott BM and Carlson JC, Editors.

INSTITUTE OF MEDICINE (1997). Dietary reference intakes. Calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D, and fluoride. Washington: National Academy Press.

INSTITUTE OF MEDICINE (1998). Dietary reference intakes. Thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B-6, folate, vitamin B-12, pantothenic acid, biotin, and choline. Washington: National Academy Press.

INSTITUTE OF MEDICINE (2002). Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (macronutrients). Washington: National Academy Press.

JONES P.J., JACOBS I., MORRIS A., and DUCHARME M.B. (1993). Adequacy of food rations in soldiers during an arctic exercise measured by doubly labeled water. *J Appl Physiol*, 75(4):1790-1797.

JONES P.J., and LEE I.K.K. (1996). Macronutrient requirement for work in cold environments. In: *Nutritional needs in cold and high-altitude environments: applications for military personnel in field operation* Edited by Marriott B.M., and Carlson J.C., NATIONAL ACADEMY PRESS edn. Washington, D.C.

KAYSER B. (1992). Nutrition and high altitude exposure. *Int J Sports Med*, 13 Suppl 1:S129-132.

KAYSER B., ACHESON K., DECOMBAZ J., FERN E., and CERRETELLI P. (1992). Protein absorption and energy digestibility at high altitude. *J Appl Physiol*, 73(6):2425-2431.

KAYSER B., NARICI M., MILESI S., GRASSI B., and CERRETELLI P. (1993). Body composition and maximum alactic anaerobic performance during a one month stay at high altitude. *Int J Sports Med*, 14(5):244-247.

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

KELLOGG R.H., PACE N., ARCHIBALD E.R., and VAUGHAN B.E. (1957). Respiratory response to inspired CO₂ during acclimatization to an altitude of 12, 470 feet. *J Appl Physiol*, 11(1):65-71.

KING N., MUTTER S.H., ROBERTS D.E., ASKEW E.W., YOUNG A.J., JONES T.E., MAYS M.Z., SUTHERLAND M.R., DELANY J.P., CHEEMA B.E., and TULLEY R. (1992). Nutrition and hydration status of soldiers consuming the 18-man arctic tray pack ration module with either the meal, ready-to-eat or the long life ration packet during a cold weather field training exercise. Natick, MA: United States Army Research Institute of Environmental Medicine, Technical Report No. T4-92.

KREIDER M.B., and BUSKIRK E.R. (1957). Supplemental feeding and thermal comfort during sleep in the cold. *J Appl Physiol*, 11(3):339-343.

KRZYWICKI H.J., CONSOLAZIO C.F., MATOUSH L.O., JOHNSON H.L., and BARNHART R.A. (1969). Body composition changes during exposure to altitude. *Fed Proc*, 28(3):1190-1194.

LEBLANC J. (1975). *Man in the cold.* Springfield, Ill: Thomas.

LICKTEIG J.A. (2000). Exercise at high altitudes. In: *Sports nutrition*. Edited by Rosenbloom C.A., 3 edn. Chicago: The American dietetic association; 485-492.

MAWSON J.T., BRAUN B., ROCK P.B., MOORE L.G., MAZZEO R., and BUTTERFIELD G.E. (2000). Women at altitude: energy requirement at 4,300 m. *J Appl Physiol*, 88(1):272-281.

MAZZEO R.S., BENDER P.R., BROOKS G.A., BUTTERFIELD G.E., GROVES B.M., SUTTON J.R., WOLFEL E.E., and REEVES J.T. (1991). Arterial catecholamine responses during exercise with acute and chronic high-altitude exposure. *Am J Physiol*, 261(4 Pt 1):E419-424.

MAZZEO R.S., CHILD A., BUTTERFIELD G.E., MAWSON J.T., ZAMUDIO S., and MOORE L.G. (1998). Catecholamine response during 12 days of high-altitude exposure (4,300 m) in women. *J Appl Physiol*, 84(4):1151-1157.

MCARDLE W.D., KATCH F.I., and KATCH V.L. (2004). *Nutrition et performances sportives*, 1 edn. Bruxelles: De Boeck; 686 p.

MOLLER P., LOFT S., LUNDBY C., and OLSEN N.V. (2001). Acute hypoxia and hypoxic exercise induce DNA strand breaks and oxidative DNA damage in humans. *Faseb J*, 15(7):1181-1186.

MOORE L.G., CYMERMAN A., HUANG S.Y., MCCULLOUGH R.E., MCCULLOUGH R.G., ROCK P.B., YOUNG A., YOUNG P., WEIL J.V., and REEVES J.T. (1987). Propranolol blocks metabolic rate increase but not ventilatory acclimatization to 4300 m. *Respir Physiol*, 70(2):195-204.

MOORE R.J., FRIEDL K.E., KRAMER T.R., MARTINEZ-LOPEZ L.E., HOYT R.W., TULLEY R.E., DELANY J.P., ASKEW E.W., and VOGEL J.A. (1992). Changes in soldier nutritional status and immune function during the Ranger Training Course. Natick, MA: United States Army Research Institute of Environmental Medicine, Technical Report No. T13-92.

PALOZZA P., and KRINSKY N.I. (1992). Beta-Carotene and alpha-tocopherol are synergistic antioxidants. *Arch Biochem Biophys*, 297(1):184-187.

PFEIFFER J.M., ASKEW E.W., ROBERTS D.E., WOOD S.M., BENSON J.E., JOHNSON S.C., and FREEDMAN M.S. (1999). Effect of antioxidant supplementation on urine and blood markers of oxidative stress during extended moderate-altitude training. *Wilderness Environ Med*, 10(2):66-74.

PLATA-SALAMAN C.R. (1998). Cytokines and Feeding. *News Physiol Sci*, 13:298-304.

PULFREY S.M., and 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., and 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.

RAI R.M., MALHOTRA M.S., DIMRI G.P., and SAMPATHKUMAR T. (1975). Utilization of different quantities of fat at high altitude. *Am J Clin Nutr*, 28(3):242-245.

REYNOLDS R. (1996). Effects of Cold and Altitude on Vitamin and Mineral Requirements. In: Marriott BM and Carlson JC, Eds. Nutritional needs in cold and high-altitude environments: applications for military personnel in field operation NATIONAL ACADEMY PRESS edn. Washington, D.C.: Marriott BM and Carlson JC, Editors.

REYNOLDS R.D., LICKTEIG J.A., HOWARD M.P., and 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., and 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.

RICHALET J.P., and HERRY J.P. (2003). Médecine de l'alpinisme et des sports de montagne, 3 edn. Paris: Masson; 320 p.

ROBERTS A.C., BUTTERFIELD G.E., CYMERMAN A., REEVES J.T., WOLFEL E.E., and BROOKS G.A. (1996a). Acclimatization to 4,300-m altitude decreases reliance on fat as a substrate. *J Appl Physiol*, 81(4):1762-1771.

ROBERTS A.C., REEVES J.T., BUTTERFIELD G.E., MAZZEO R.S., SUTTON J.R., WOLFEL E.E., and BROOKS G.A. (1996b). Altitude and beta-blockade augment glucose utilization during submaximal exercise. *J Appl Physiol*, 80(2):605-615.

ROLLS B.J., ROLLS E.T., ROWE E.A., and SWEENEY K. (1981a). Sensory specific satiety in man. *Physiol Behav*, 27(1):137-142.

ROLLS B.J., ROWE E.A., ROLLS E.T., KINGSTON B., MEGSON A., and GUNARY R. (1981b). Variety in a meal enhances food intake in man. *Physiol Behav*, 26(2):215-221.

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

ROSE M.S., HOUSTON C.S., FULCO C.S., COATES G., SUTTON J.R., and 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., and HESSLINK R.E., JR. (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.

SCHREIBER M. (1992). Protective effect of ascorbic acid in high altitude hypoxia in the rat. *Physiol Res*, 41(5):403-405.

SHIPPEE R.L., FRIEDL K.E., KRAMER T., MAYS M., POPP K., W. A.E., FAIRBROTHER B., HOYT R., VOGEL J., MARCHITELLI L., FRYKMAN P., MARTINEZ-LOPEZ L., BERNTON E., KRAMER M., TULLEY R., ROOD J., DELANY J., JEZIOR D., and ARSENAULT J. (1994). Nutritional and immunological assessment of Ranger students with increased caloric intake. Natick, MA: United States Army Research Institute of Environmental Medicine, Technical Report No. T95-5.

SIMON-SCHNASS I., and 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., and 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.

SPIEGEL T.A., SHRAGER E.E., and STELLAR E. (1989). Responses of lean and obese subjects to preloads, deprivation, and palatability. *Appetite*, 13(1):45-69.

STAGER J.M., LINDEMAN A.K., and EDWARDS J.E. (1992). Energy intake and energy expenditure during a high altitude expedition on Mt. McKinley, Alaska. *Int J Sports Med*, 13(1):89.

STAHL W., JUNGHANS A., DE BOER B., DRIOMINA E.S., BRIVIBA K., and SIES H. (1998). Carotenoid mixtures protect multilamellar liposomes against oxidative damage: synergistic effects of lycopene and lutein. *FEBS Lett*, 427(2):305-308.

SURKS M.I., CHINN K.S., and MATOUSH L.R. (1966). Alterations in body composition in man after acute exposure to high altitude. *J Appl Physiol*, 21(6):1741-1746.

TANNER D.A., and 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., BAKER-FULCO C.J., BOVILL M.E., MONTAIN S.M., DELANY J.P., CHAMPAGNE C.M., HOYT R.W., and LIEBERMAN H.R. (2004). Adequacy of Garrison feeding for Special Forces soldiers during training. *Mil Med*, 169(6):483-490.

THARION W.J., LIEBERMAN H.R., MONTAIN S.J., YOUNG A.J., BAKER-FULCO C.J., DELANY J.P., and HOYT R.W. (2005). Energy requirements of military personnel. *Appetite*, 44(1):47-65.

TODD K.S., BUTTERFIELD G.E., and CALLOWAY D.H. (1984). Nitrogen balance in men with adequate and deficient energy intake at three levels of work. *J Nutr*, 114(11):2107-2118.

U.S. DEPARTMENTS OF THE ARMY THE NAVY AND THE AIR FORCE (1985). Army Regulation 40-25/Naval Command Medical Instruction 10110.1/ Air Force Regulation 160-95. Nutrition Allowances, Standards, and Education: Washington, D.C.

WEIR J.B. (1949). New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*, 109(1-2):1-9.

WESTERTERP-PLANTENGA M.S., WESTERTERP K.R., RUBBENS M., VERWEGEN C.R., RICHELET J.P., and GARDETTE B. (1999). Appetite at "high altitude" [Operation Everest III (Comex-'97)]: a simulated ascent of Mount Everest. *J Appl Physiol*, 87(1):391-399.

WESTERTERP K.R., KAYSER B., BROUNS F., HERRY J.P., and SARIS W.H. (1992). Energy expenditure climbing Mt. Everest. *J Appl Physiol*, 73(5):1815-1819.

WESTERTERP K.R., KAYSER B., WOUTERS L., LE TRONG J.L., and RICHALET J.P. (1994). Energy balance at high altitude of 6,542 m. *J Appl Physiol*, 77(2):862-866.

WESTERTERP K.R., ROBACH P., WOUTERS L., and 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.

WORME J.D., LICKTEIG J.A., REYNOLDS R.D., and 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(12):1543-1549.

ZAMBONI M., ARMELLINI F., TURCATO E., ROBBI R., MICCIOLO R., TODESCO T., MANDRAGONA R., ANGELINI G., and BOSELLO O. (1996). Effect of altitude on body composition during mountaineering expeditions: interrelationships with changes in dietary habits. *Ann Nutr Metab*, 40(6):315-324.

ZWIREN L., SKINNER J.S., and 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

Journal alimentaire

Directives pour le journal alimentaire:

1. Inscrivez tout ce que vous mangez (incluant les breuvages, les suppléments et autres) dans la journée, en spécifiant autant que possible les quantités en unité (tasse, ml, grammes, cuillère à thé ou à soupe...), l'heure à laquelle vous avez mangé ainsi que le lieu. Procédez de la même façon pour les 5 jours.
2. Pour les produits laitiers, indiquez le pourcentage de matières grasses de l'aliment.
Ex : Lait 2 % M.G., fromage cheddar 30 % M.G.
3. Pour les viandes, indiquez la sorte, le mode de préparation et la teneur en gras de la viande.
Ex : Steak haché mi-maigre, cuit dans 5 ml de beurre
4. Indiquez, si possible, la marque de commerce et la sorte de produit.
Ex : céréales Müslix de Kellogg's, saveur de croustades aux pommes
5. Spécifiez si le produit est frais, en conserve ou congelé (fruits, légumes, jus, poisson...)
6. Pour les mets composés, spécifiez la quantité des ingrédients principaux de la recette.

Ex :

Pâté au poulet ; 2 croûtes
Poulet ; environ 8 morceaux de 2cm X 4 cm
Légumes variés
Sauce blanche (béchamel)

Ne pas oublier ...

- Les condiments et les sauces accompagnant les mets (ketchup, sauce BBQ...)
- Les bonbons, chips et autres grignotises
- Les boissons telles que le café, les boissons gazeuses et l'alcool
- Les suppléments vitaminiques et les produits naturels
- Indiquez pour chaque journée choisie, l'entraînement fait, sa durée et son intensité
Ex : Échauffement 15 minutes
800m intensité modérée
4 X 100m à forte intensité...

Date : _____ Journée de la semaine : _____

Déjeuner	Dîner	Souper
<p>Lieu : _____ Heure : _____</p>	<p>Lieu : _____ Heure : _____</p>	<p>Lieu : _____ Heure : _____</p>
<p>Collation a.m. Lieu : _____ Heure : _____</p>	<p>Collation p.m. Lieu : _____ Heure : _____</p>	<p>Collation soir Lieu : _____ Heure : _____</p>

ANNEXE 3

Carnet de voyage

Contenu du carnet de voyage

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
Esprit	1 2 3 4 5		Moral	1 2 3 4 5
équipe				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

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

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

Commentaires:

Do...
Boire + que normalement (4-6L) Surveiller la couleur de l'urine Ne pas attendre la soif pour boire Surveiller l'alimentation des autres membres de l'expédition Faire un effort même si pas d'appétit Manger du sucre avant de se coucher
Dont...
Forcer à manger si nausées/vomissements Évité de boire pour ne pas uriner la nuit Boire d'alcool Uriner foncé Manger le saucisson si manque d'eau Manger le Gorp si manque d'eau Utiliser le bouillon si manque d'eau Pas normal de perdre du poids!!! Pas manger car pas le temps ou trop froid (le frissonnement brûle directement du glycogène) Boire de l'eau non traitée Manger de la neige

ANNEXE 4

Calcul du pourcentage de gras et de masse maigre par la formule d'Allen et collaborateurs (1956), telle que modifiée par Zwirren et collaborateurs (1973)

Nom		Date
Date de naissance		
Âge		
Taille (cm)		
Poids (kg)		
Surface corporelle (m ²)		

Pince utilisée : G D

Sites des plis	Repères anatomiques	Moyenne des 3 mesures
JOUE	À la hauteur des narines, au-dessous de la tempe	mm
MENTON	À mi-distance entre le menton et le larynx	mm
POITRINE	À mi-distance entre l'aisselle et le mamelon (H) et dans les 2/3 supérieurs (F)	mm
ABDOMEN	À la même hauteur que le nombril, 2 cm à droite	mm
HANCHE	Au-dessus de la crête illiaque, sur la ligne médiane du corps	mm
CÔTES	À mi-distance entre l'aisselle et la crête illiaque, sur la ligne médiane du corps	mm
TRICEPS	À mi-distance entre l'acromion et l'olécrane	mm
MOLLET	À la hauteur de la circonférence maximale, sur la face interne (pied surélevé)	mm
OMOPLATE	À 1 cm au-dessous de l'omoplate, oblique vers le bas	mm
GENOU	Juste au-dessus de la rotule	mm
Somme		

Selon Allen et coll. tel que modifié par Zwirren et coll. :

$$1) \% \text{ graisse} = \frac{\text{graisse (kg)} \times 100}{\text{poids (kg)}}$$

$$2) \text{ graisse (kg)} = 0,7 \times \text{tissu adipeux (kg)}$$

$$3) \text{ TA (kg)} = \text{Poids (kg)} \times \sqrt{\frac{\sum 10 \text{ plis} - 40 \times (\text{surf. Corp. (m}^2) \times 0.739)}{20}} - 0.003$$

Poids (kg)

$$4) \% \text{ TA} = \frac{\text{graisse (kg)} \times 100}{\text{poids (kg)}}$$

$$5) \text{ Masse maigre (kg)} = \text{poids (kg)} - \text{graisse (kg)}$$