





National Library  
of Canada

Acquisitions and  
Bibliographic Services

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque nationale  
du Canada

Acquisitions et  
services bibliographiques

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file* *Votre référence*

*Our file* *Notre référence*

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-56421-5

Canada

## RÉSUMÉ

La présente étude avait comme objectif de mesurer l'impact d'un apport élevé en protéines sur l'apport alimentaire, la satiété et la dépense énergétique dans des conditions de vie normale. Deux groupes de dix sujets (avec et sans surplus de poids) ont été recrutés pour venir manger au laboratoire lors de deux journées qui différaient uniquement au niveau de la quantité de protéines contenue dans les entrées et la collation. Malgré la différence significative dans le contenu en protéines entre les deux diètes, aucune différence n'a été observée pour les deux groupes de sujets, au niveau de l'apport alimentaire, de la satiété ainsi que de l'apport alimentaire de la journée suivante. Cependant, une augmentation significative de la dépense énergétique a été observée lors de la journée riche en protéines. C'est pourquoi de tels aliments hyperprotéiques incorporés dans une alimentation santé auraient comme bénéfice de faciliter l'atteinte d'une balance énergétique négative.

Jean-François Naud

Angelo Tremblay

Directeur de recherche

# TABLE DES MATIERES

	<b>Page</b>
RÉSUMÉ	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	v
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	3
2.1- Impact d'un apport élevé en protéines sur la perte de poids	3
2.1.1- Satiété	3
2.1.2- Apport énergétique	5
2.1.3- Dépense énergétique	9
2.1.4- Perte de poids	11
2.2- Impact d'un apport élevé en protéines sur la santé	12
2.2.1- Perte osseuse et calcique	12
2.2.2- Cancer du rein	15
2.2.3- Fonctions des reins	15
2.2.4- Sensibilité à l'insuline	17
2.2.5- Profil lipidique	19
2.2.6- Pression artérielle	21
2.3- Apport protéique optimal vs maximal	22
CHAPITRE 3 SUJETS ET MÉTHODES	26
3.1- Sujets	26
3.2- Aliments et recettes	27
3.3- Mesures	33

	<b>Page</b>
3.4- Protocole	35
3.5- Analyses statistiques	36
<b>CHAPITRE 4 RÉSULTATS</b>	<b>37</b>
4.1- Apport énergétique et macronutritionnel total	37
4.2- Apport énergétique et macronutritionnel pour chaque repas	38
4.3- Apport énergétique et macronutritionnel de la journée suivant la journée de tests	41
4.4- Dépense énergétique de repos	41
4.5- Quotient respiratoire	43
4.6- Variation du rythme cardiaque	44
4.7- Échelles visuelles analogues (satiété)	45
4.8- Échelles visuelles analogues (appréciation de l'entrée)	55
<b>CHAPITRE 5 DISCUSSION</b>	<b>58</b>
5.1- Résumé des résultats	58
5.2- Interprétation des résultats	59
5.3- Limites de l'étude	64
5.4- Application des résultats	66
<b>CHAPITRE 6 CONCLUSION</b>	<b>69</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>71</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>79</b>
Annexe 1: Questionnaire téléphonique	79
Annexe 2: Lettre de consentement	80
Annexe 3: Quantités d'aliments (entrées) Advitech et réguliers	82
Annexe 4: Échelle visuelle analogue	84
Annexe 5: Protocole lors de chaque journée de test	85

# LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

	<b>Page</b>
<b>SUJETS ET MÉTHODES</b>	
<b>Tableau 1:</b> Caractéristiques des sujets	27
<b>Tableau 2:</b> Menu offert lors des deux journées de tests	30
<b>Tableau 3:</b> Apport calorique et macronutritionnel des entrées et de la collation	31
<b>Tableau 4:</b> Composition des repas à volonté	32
<b>RÉSULTATS</b>	
<b>Tableau 5:</b> Apport énergétique et macronutritionnel total	38
<b>Tableau 6:</b> Apport énergétique et macronutritionnel pour chaque repas	40
<b>Tableau 7:</b> Apport énergétique et macronutritionnel de la journée suivant la journée de tests	41
<b>Tableau 8:</b> Dépense énergétique de repos	42
<b>Tableau 9:</b> Quotient respiratoire	43
<b>Tableau 10:</b> Variation du rythme cardiaque	44
<p>Les figures 1 à 10 présentent les résultats pour les questions 1 à 5 des échelles visuelles analogues pour les deux groupes de sujets</p>	
<b>Figure 1:</b> Échelles visuelles analogues, groupe sans surplus de poids, question 1, Désir de manger (mm)	47
<b>Figure 2:</b> Échelles visuelles analogues, groupe avec surplus de poids, question 1, Désir de manger (mm)	48

	<b>Page</b>
<b>Figure 3:</b> Échelles visuelles analogues, groupe sans surplus de poids, question 2, Impression d'avoir faim (mm)	49
<b>Figure 4:</b> Échelles visuelles analogues, groupe avec surplus de poids, question 2, Impression d'avoir faim (mm)	50
<b>Figure 5:</b> Échelles visuelles analogues, groupe sans surplus de poids, question 3, Sensation d'être rempli (mm)	51
<b>Figure 6:</b> Échelles visuelles analogues, groupe avec surplus de poids, question 3, Sensation d'être rempli (mm)	52
<b>Figure 7:</b> Échelles visuelles analogues, groupe sans surplus de poids, question 4, Consommation de nourriture anticipée (mm)	53
<b>Figure 8:</b> Échelles visuelles analogues, groupe avec surplus de poids, question 4, Consommation de nourriture anticipée (mm)	54
<b>Figure 9:</b> Échelles visuelles analogues, groupe sans surplus de poids, question 5, Appréciation de l'entrée et de la collation (mm)	56
<b>Figure 10:</b> Échelles visuelles analogues, groupe avec surplus de poids, question 5, Appréciation de l'entrée et de la collation (mm)	57





dans les différents macronutriments relativement à leur effet sur la satiété et l'apport alimentaire. De Castro [14] a observé l'effet des différents macronutriments sur l'apport alimentaire dans des conditions de vie normales, où les sujets compilaient leur apport alimentaire eux-mêmes avec un journal alimentaire de sept jours. Il a démontré que le gras était le macronutriment le moins efficace pour inhiber tout apport énergétique subséquent tandis que les protéines étaient les plus efficaces, indépendamment de leur contribution calorique totale. Dans une autre étude, Bingham et al. [6] ont compilé l'apport alimentaire de 160 femmes post-ménopausées habitant à la maison, lors de quatre journées consécutives pour chacune des quatre saisons de l'année, ce qui donne l'analyse de l'apport alimentaire de seize journées au cours d'une année. La proportion de l'apport alimentaire sous forme de gras corrélait positivement avec l'apport énergétique total ( $r=0.18$ ). Les glucides ne corrélaient pas du tout ( $r=0.0$ ) et les protéines corrélaient négativement avec l'apport énergétique total ( $r=-0.45$ ).

Cette hiérarchie dans les différents macronutriments a été beaucoup étudiée comme stratégie pour perdre du poids. De nombreuses études ont noté qu'un régime faible en gras, même à volonté pouvait occasionner une perte de poids [58, 61]. Cependant, peu d'études ont abordé les effets d'un apport élevé en protéines sur la perte de poids, ce qui fera l'objet du présent document.

## CHAPITRE 2

### 2.1 IMPACT D'UN APPORT ÉLEVÉ EN PROTÉINES SUR LA PERTE DE POIDS

#### 2.1.1 Satiété

L'effet rassasiant des protéines est observé depuis longtemps. En 1955, Fryer et al. [23] ont remarqué qu'une diète contenant moins de 13% de protéines laissait les gens sur leur appétit, tandis qu'une diète faible en glucides ou en gras et riche en protéines était plus rassasiante. Depuis, plusieurs études ont effectivement remarqué qu'un apport élevé en protéines avait un effet positif sur la satiété. Hill et Blundel [31] ont noté qu'un repas (497 kcal) riche en protéines (31% de protéines, 22% de glucides et 47% de gras) produisait une plus grande impression d'être rempli et une diminution du désir de manger pour au moins une heure, en comparaison avec un repas riche en glucides (14% de protéines, 52% de glucides et 33% de gras) de même valeur énergétique. Lors d'une autre étude [30], ils ont noté une plus grande diminution de la faim pendant trois heures suivant l'ingestion d'un repas riche en protéines (54% de 475 kcal) que suite à un repas riche en glucides (63%), toujours isocalorique. Poppitt et al. [55] ont comparé les



98% de glucides), en gras (3% de protéines et 97% de gras) ou mixte (5% de protéines, 57% de glucides et 38% de gras). Cependant, aucune différence n'a été observée entre l'effet rassasiant des protéines et des glucides. Stubbs et al. [65] ont démontré que la faim subjective était significativement plus élevée au cours des cinq heures qui suivaient un déjeuner (1240 kcal) riche en gras (21% de protéines, 22% de glucides et 57% de gras) en comparaison avec un déjeuner riche en glucides (18% de protéines, 61% de glucides et 21% de gras) ou en protéines (59% de protéines, 22% de glucides et 19% de gras). Cependant, les protéines étaient plus rassasiantes pendant une période de 24 heures. Finalement, une étude de Johnson et Vickers [37] a démontré que le fait de manger un repas (300 kcal) riche en protéines (76% de protéines et 24% de gras) ou en glucides (13% de protéines, 85% de glucides et 2% de gras) diminue la faim de façon plus importante pendant 90 minutes qu'un repas riche en gras (3% de protéines, 9% de glucides et 88% de gras).

### **2.1.2 Apport énergétique**

Une façon plus objective de voir l'impact des protéines sur la satiété est de mesurer l'apport alimentaire. Plusieurs études chez l'animal et chez l'homme ont noté que les protéines induisaient une diminution de l'apport alimentaire.



l'apport alimentaire lors d'un repas riche en protéines en comparaison avec un repas riche en glucides. Ils ont également noté une réduction supplémentaire de l'apport alimentaire de 26% lors d'un repas mixte servi de deux à trois heures plus tard. Une étude de Hill et Blundell [31] a montré une accentuation de la réduction de l'apport alimentaire de 22% chez des sujets maigres et de 19% chez des sujets obèses lors d'un repas servi trois heures après un repas riche en protéines (54% de 473 kcal) en comparaison avec un repas riche en glucides (63%). Barkeling et al. [3] ont donné à vingt femmes de poids normal un repas (612 kcal) riche en protéines (43% de protéines, 37% de glucides et 22% de gras) ou en glucides (10% de protéines, 69% de glucides et 22% de gras) et ont mesuré l'apport énergétique lors d'un repas servi quatre heures plus tard. Ils ont noté une réduction de l'apport énergétique de 12% suite au repas riche en protéines. Johnson et Vickers [37] ont observé une diminution de l'apport alimentaire lors d'un buffet, 90 minutes après un repas de 300 kcal riche en protéines (76% de protéines et 24% de gras) en comparaison avec un repas riche en glucides (13% de protéines, 85% de glucides et 2% de gras) ou en gras (3% de protéines, 9% de glucides et 88% de gras). Plus récemment, Poppitt et al. [55] ont comparé l'effet des quatre macronutriments sur l'apport alimentaire. Ils ont noté une diminution de l'apport alimentaire lors d'un repas mixte, 90 minutes après un repas (473 kcal) riche en protéines (59% de protéines, 21% de glucides et 20% de gras) par rapport à un repas mixte ingéré suite à la prise d'un repas riche en glucides (11% de protéines, 66% de glucides et 19% de

gras), en gras (11% de protéines, 21% de glucides et 67% de gras) ou en alcool (11% de protéines, 21% de glucides, 20% de gras et 47% d'alcool).

Il semble que dans certaines situations, les protéines n'ont pas d'impact sur l'apport alimentaire. Des études chez l'homme n'ont pas montré de différences dans l'apport alimentaire suivant une diète riche en protéines comparée à une diète riche en glucides ou en gras lorsque le repas riche en protéines précédant le buffet était soit trop petit ou servi sous forme liquide. Rolls et al. [59] ont noté que le poids de la nourriture consommé deux heures après un repas (300 kcal) riche en protéines (75% de protéines et 25% de gras) était significativement plus faible que suite à un repas riche en gras (3% de protéines et 97% de gras), en sucrose (2% de protéines et 98% de glucides) ou mixte (5% de protéines, 57% de glucides et 38% de gras) mais aucune différence significative n'a été observée avec les glucides (9% de protéines, 83% de glucides et 8% de gras). L'apport énergétique était aussi significativement plus faible suite au repas riche en protéines et en glucides. Une étude de De Graff et al. [16] a montré qu'un déjeuner liquide riche en protéines (70% de protéines, 27% de glucides et 3% de gras) de 100, 250 ou 400 kcal n'avait pas d'effets sur le reste de l'apport quotidien à volonté en comparaison avec un déjeuner riche en glucides (1% de protéines et 99% de glucides) ou en gras (3% de protéines, 5% de glucides et 92% de gras). Finalement, Galiebter [25] n'a observé aucune différence

entre l'apport alimentaire 70 minutes après l'ingestion de 283 kcal de protéines, de glucides ou d'huile sous forme liquide.

De plus, un repas riche en protéines ne semble pas affecter l'apport alimentaire à long terme. Stubbs et al. [65] ont montré qu'un déjeuner (1240 kcal) riche en protéines (59% de protéines, 22% de glucides et 19% de gras) n'influçait pas l'apport alimentaire du dîner cinq heures plus tard, en comparaison avec un déjeuner riche en glucides (18% de protéines, 61% de glucides et 21% de gras) ou en gras (21% de protéines, 22% de glucides et 57% de gras). Dans une autre étude, Johnstone et al. [39] n'ont pas vu de différences dans l'apport alimentaire la journée suivant un régime riche en protéines (37% de protéines, 34% de glucides et 28% de gras), par rapport à celle suivant une journée riche en glucides (10% de protéines, 61% de glucides et 29% de gras) ou en gras (10% de protéines, 33% de glucides et 57% de gras) . Les excès de chaque macronutriment à la fin de la journée ont été en partie éliminés par l'augmentation de leur oxydation. Les protéines ont été éliminées de cette façon plus que les glucides et beaucoup plus que le gras.

### **2.1.3 Dépense énergétique**

Il est connu qu'un obstacle majeur à la perte de poids est la diminution du métabolisme énergétique. Leibel et al. [42] ont noté une baisse d'environ 15% de la dépense énergétique quotidienne,



suite à une perte de 10% du poids initial. Cette diminution du métabolisme énergétique influence l'équilibre énergétique et il devient alors très difficile de maintenir un bilan d'énergie négatif. Cependant, la dépense énergétique peut être modifiée par des changements dans la composition en macronutriments du régime alimentaire. Il semblerait qu'un apport élevé en protéines durant une restriction alimentaire aide à maintenir le métabolisme de base à un niveau élevé. Whitehead et al. [72] ont mesuré l'effet de trois diètes de 994 kcal par jour pendant sept jours sur la dépense énergétique. La première diète contenait 36% de protéines et les deux autres 15%, une riche en glucides et l'autre riche en gras. La perte de poids était similaire pour les trois diètes. Le métabolisme de repos et la dépense énergétique de 24 heures ont diminué pour les trois diètes, mais la baisse était significativement moindre suite à la diète riche en protéines. Il semblerait que cette augmentation de la dépense énergétique soit due à l'augmentation de l'oxydation des protéines. Lors d'une étude de Robinson et al. [57], on a donné des repas contenant 70% de protéines à toutes les heures pendant neuf heures. La dépense énergétique et l'oxydation des protéines ont été comparées avec les résultats obtenus avec des repas contenant 70% de glucides (12% de protéines). L'étude a été faite avec des sujets en santé ayant préalablement reçu un apport protéique normal. La quantité de protéines oxydées durant la période de neuf heures a été estimée par la mesure des excréments urinaires en azote. Après la période de neuf heures, 290 g de protéines ont été consommés avec la diète riche en protéines, en comparaison avec 50 g pour le

régime riche en glucides. Dans les deux cas, la quantité d'azote excrété a augmenté pour atteindre un taux correspondant à environ 50% de l'apport protéique pendant neuf heures. L'oxydation des acides aminés a été beaucoup plus importante lors de la journée riche en protéines, ce qui explique pourquoi la dépense énergétique moyenne de cette journée était significativement plus élevée que lors de la journée comportant un régime riche en glucides.

Une augmentation de l'apport protéique entraîne une augmentation de l'oxydation des acides aminés et conséquemment une augmentation de l'excrétion urinaire d'azote et une augmentation de la dépense énergétique [24]. L'oxydation des acides aminés contribue jusqu'à 57% de la dépense énergétique totale avec une alimentation riche en protéines par rapport à 21% avec une alimentation riche en glucides. Après une augmentation de l'apport en protéines, il y a immédiatement une augmentation de l'oxydation des acides aminés et plus d'azote est retenu par le corps. Après quelques jours, il y a une adaptation, c'est-à-dire une augmentation de l'oxydation résultant en une balance protéique normale, presque nulle.

#### **2.1.4 Perte de poids**

Très peu d'études ont été réalisées à ce jour en ce qui a trait aux effets d'un apport élevé en protéines sur la perte de poids.

Skov et al. [62] ont testé l'effet de deux diètes à volonté faibles en gras sur la perte de poids. Un groupe de sujets suivait une diète riche en protéines (25% de protéines, 45% de glucides et 30% de gras), et l'autre groupe, une diète riche en glucides (12% de protéines, 58% de glucides et 30% de gras). Après six mois, les deux groupes ont eu une perte de poids significative, mais la diète riche en protéines a occasionné une perte de poids significativement plus importante (8.9 kg vs 5.1 kg). La perte de masse grasse (7.6 kg vs 4.3 kg) et de graisse viscérale (33.0 cm<sup>2</sup> vs 16.8 cm<sup>2</sup>) ont aussi été significativement plus importantes suite à la diète riche en protéines.

## **2.2 IMPACT D'UN APPORT ÉLEVÉ EN PROTÉINES SUR LA SANTÉ**

### **2.2.1 Perte osseuse et calcique**

On a observé que selon le niveau de calcium et de phosphore ingéré, une augmentation de la consommation de protéines augmentait la perte urinaire en calcium au point de rendre négative la balance nette en calcium [46]. Il a également été suggéré que la perte de calcium lorsque l'apport en protéines est élevé pouvait jouer un rôle dans le développement de l'ostéoporose [38]. Il est possible que cette perte osseuse soit un mécanisme tampon pour contrer l'acidité des protéines. En effet, Lutz [46] a démontré chez

six femmes âgées de 38 à 62 ans qu'un apport élevé en protéines combiné à l'ingestion de bicarbonate de sodium pouvait diminuer la perte urinaire en calcium associée à un apport élevé en protéines, et pouvait rendre la balance nette du calcium positive. Le pH du sang et la concentration des ions bicarbonates n'ont pas été affectés par le traitement.

Les os sont un grand système tampon d'échange d'ions [4]; 80% de tout le carbonate du corps, de même que 80% du citrate et 35% du sodium se retrouvent autour des os. Ceux-ci peuvent servir, après être relâchés par l'os, à tamponner les excès d'acide. En réponse à un stress d'acidité chronique comme dans le cas d'une diète riche en protéines, les os et le calcium sont aussi mobilisés. La nourriture comme le poisson, la viande, plusieurs produits céréaliers et le fromage ont un potentiel d'acidité élevé pour les reins. Le lait et les autres produits laitiers sauf le fromage ont un potentiel d'acidité faible. Les fruits et légumes ont un potentiel d'acidité négatif, c'est-à-dire alcalin. Récemment, Appel et al. [2] ont étudié l'effet d'une diète riche en fruits et légumes chez plus de 350 personnes pendant huit semaines. L'apport en protéines était constant entre les groupes. L'augmentation de la consommation de 3.6 à 9.5 fruits et légumes par jour diminuait les pertes urinaires en calcium de 157 à 110 mg/jour, c'est-à-dire une diminution de 47 mg/jour. Ceci montre qu'une façon pratique de tamponner l'acidité causée par les protéines de la diète est d'augmenter la consommation de fruits et légumes. Ceux-ci contribuent à réduire la

perte urinaire en calcium et conséquemment améliorent la balance du calcium.

L'effet acidifiant des protéines pourrait être plus important avec le vieillissement [4]. Les personnes âgées ont un pH sanguin plus bas et une concentration de bicarbonate sanguin plus faible. Le niveau d'hormone parathyroïdienne est plus élevé chez les personnes âgées. Cette hormone influence la concentration plasmatique de gaz carbonique et de phosphate. La capacité tampon est diminuée lorsque le niveau d'hormone parathyroïdienne est élevé. Donc, les personnes âgées seraient plus sensibles à l'acidité de la diète que les jeunes et conséquemment, auraient besoin de plus de substances tampons pour une même quantité de protéines pour éviter les pertes osseuses.

Récemment, Pannemans et al. [51] ont étudié l'effet d'un régime contenant soit 12 ou 21% de protéines pendant trois semaines sur la balance du calcium, chez des jeunes et des personnes âgées. L'excrétion en calcium dans les fèces était plus faible lors de la diète riche en protéines. La perte en calcium dans l'urine causée par l'apport élevé en protéines a été observée uniquement chez les sujets jeunes. Globalement, l'étude n'a montré aucun effet sur la balance calcique chez les jeunes, mais une amélioration de la balance chez les personnes âgées. Jusqu'à maintenant, cette étude a été la seule à montrer des bénéfices à

augmenter l'apport en protéines sur les fonctions des reins chez les personnes âgées.

### **2.2.2 Cancer du rein**

Lors d'une étude épidémiologique, Chow et al. [13] ont interrogé 690 patients présentant le cancer du rein et 707 sujets témoins sur leurs habitudes alimentaires. On a noté une augmentation significative du risque de cancer du rein avec l'augmentation de la consommation de différents groupes alimentaires, incluant la viande rouge ( $P=0.05$ ), la nourriture riche en protéines ( $P=0.01$ ), et les féculents (grains, pains, pomme de terre) ( $P=0.009$ ). De plus, le risque augmente proportionnellement avec la quantité de protéines ingérée.

### **2.2.3 Fonctions des reins**

Tel que rapporté par Brenner et al. [11], les protéines semblent engendrer une augmentation à court et à long terme de la circulation sanguine aux reins et du taux de filtration glomérulaire (TFG) du rein. Il y a une augmentation de 20 à 28% de la circulation sanguine et du TFG suivant un repas riche en protéines. Cette augmentation survient deux heures après le repas et dure environ une heure. Les apports élevés en protéines de la diète nord-

américaine impose une augmentation soutenue de la circulation sanguine aux reins et du TFG. Conséquemment, la pression et la circulation moyenne dans le cortex glomérulaire externe entraîneraient, selon l'auteur, une certaine hypertension intrarénale, ce qui prédisposerait même une personne en santé à la sclérose glomérulaire progressive et à la détérioration des fonctions rénales.

Plus récemment, on a étudié l'effet des protéines sur les fonctions des reins exprimées par l'élimination de créatinine, chez des sujets en santé suivant soit une diète normale ou une diète végétarienne faible en protéines [8]. Les deux groupes avaient des fonctions rénales similaires et montraient un même taux de détérioration progressive des fonctions rénales avec l'âge. Ces résultats suggèrent que, contrairement aux importants effets thérapeutiques d'une diète faible en protéines sur la détérioration progressive du rein chez les sujets ayant une déficience rénale, une telle diète n'affecte pas significativement les fonctions des reins lors du vieillissement normal des sujets en santé.

De plus, il a été suggéré [69] que les troubles rénaux symptomatiques ne résultent pas d'une diminution physiologique du TFG avec l'âge car les symptômes n'apparaissent pas avant que le TFG ne soit au quart de la normale ou moins. L'auteur affirme également que la restriction protéique diminue le TFG au lieu de l'augmenter. La diminution de l'apport protéique avec l'âge serait la principale cause de la diminution du TFG avec l'âge. En effet,

Kimmel et al. [41] ont rapporté lors d'une étude transversale qu'il n'y avait pas de diminution du TFG avec l'âge. On a remarqué que le TFG variait proportionnellement avec l'apport en protéines. Donc les bas niveaux de TFG, lorsqu'ils sont observés par exemple chez les personnes âgées, n'indiqueraient pas de déficiences rénales mais seraient seulement le reflet d'un faible apport protéique.

#### **2.2.4 Sensibilité à l'insuline**

Piatti et al. [53] ont mesuré l'effet de deux diètes hypocaloriques (800 kcal) pendant 21 jours sur la perte de poids et sur la sensibilité à l'insuline chez des femmes obèses non-diabétiques. Les deux diètes contenaient 20% de gras. Une diète était riche en protéines (45%) et l'autre était riche en glucides (60%). L'expérience a démontré que les deux diètes occasionnaient une perte de poids similaire mais que la diète riche en protéines pouvait améliorer la sensibilité à l'insuline alors que la diète riche en glucides la diminuait.

À l'opposé, Hoffer et al. [34] ont noté chez des sujets diabétiques qu'un apport normal en protéines (0.8 g/kg de poids corporel) réduisait significativement la concentration sanguine de glucose à jeun et suite à une injection de glucose, en comparaison avec une diète riche en protéines (3.0 g/kg de poids corporel). Les auteurs présument que ce pourrait être le résultat d'une



amélioration de la sensibilité à l'insuline. Cette observation a été faite à plusieurs reprises lors d'études avec restriction protéique [54]. Chez le rat, une restriction en protéines et en énergie pendant quatre semaines résulte en une augmentation de la captation du glucose en réponse à l'insuline, mais aussi en une altération de la sécrétion d'insuline en réponse à une stimulation au glucose. Ces résultats seraient explicables, selon les auteurs, par une augmentation de l'action de l'insuline en réponse à une altération de la sécrétion d'insuline de façon à limiter la détérioration de la tolérance au glucose. Les données actuelles suggèrent effectivement que la restriction protéique résulte en une diminution de la sécrétion d'insuline et conséquemment, chez les sujets résistant à l'insuline, en une diminution de l'habileté des cellules bêtas du pancréas de compenser adéquatement pour le défaut dans l'action de l'insuline.

La restriction protéique pourrait même favoriser le développement du diabète de type II lorsque une restriction protéique est suivie d'une diète riche en lipides [35]. Une diète riche en lipides a comme effet d'augmenter la sécrétion d'insuline en réponse à une diminution de l'action de l'insuline en périphérie. Donc, une restriction protéique de la naissance jusqu'à l'âge adulte suivie d'une diète riche en lipides résulterait en une altération marquée de l'action de l'insuline en périphérie en combinaison avec une baisse de la sécrétion d'insuline. En conséquence, la

détérioration de la tolérance au glucose est plus importante quand une diète riche en gras est précédée par une restriction protéique.

### **2.2.5 Profil lipidique**

Lors d'une étude épidémiologique de deux ans, Blankenhorn et al. [7] ont démontré que l'augmentation de l'apport en protéines diminuait le risque de développer des lésions dans les artères coronaires. En ce sens, Wolfe [73, 74] a regardé expérimentalement l'effet d'un apport plus grand en protéines sur l'amélioration du profil lipidique. L'étude a été réalisée auprès de dix sujets présentant une hypercholestérolémie modérée (HM), cinq sujets ayant une hypercholestérolémie familiale (HF) et six sujets normaux-lipidiques (NL). L'apport protéique a été augmenté en substituant des glucides de la diète par des protéines d'origine animale et laitière. En augmentant l'apport protéique de 10-11% à 23-27% de l'énergie totale pendant cinq semaines, tout en gardant l'apport lipidique constant, il y a eu une augmentation significative de la concentration des lipoprotéines de haute densité (HDL) et une réduction significative du ratio cholestérol total sur HDL pour les groupes HM et HF. Il y a également eu une réduction significative de la concentration des lipoprotéines de faible densité (LDL) pour les groupes HM et NL. Finalement il y a eu une réduction significative des triglycérides totaux à jeun pour les trois groupes de sujets. Skov et al. [62], lors d'une étude à plus long terme ont obtenu des

résultats similaires. Deux groupes de vingt-cinq sujets suivaient soit une diète riche en protéines ou en glucides. Après six mois, la diète riche en protéines a occasionné une amélioration significative du profil lipidique alors qu'aucune amélioration n'a été observée suite à la diète riche en glucides.

Il semblerait cependant que les protéines de provenance différente n'aient pas le même impact sur le profil lipidique. Plusieurs études faites avec des protéines d'origine animale ont montré une amélioration du profil lipidique. Cependant, il y a beaucoup d'évidences qui suggèrent que la protéine de soya serait la plus efficace pour améliorer le profil lipidique alors que la caséine serait l'une des pires et pourrait même détériorer le profil lipidique. Lors d'une étude de Terpstra et al. [66], des rats étaient nourris pendant 18 semaines avec une diète contenant soit 30, 45 ou 60% de protéines. Les protéines étaient soit de la caséine ou de la protéine de soya. L'étude a démontré que la protéine de soya pouvait diminuer la concentration sanguine de cholestérol tandis que la caséine avait l'effet contraire. De plus, l'augmentation de la concentration de ces protéines dans la diète augmentait leur effet. La même équipe a fait une étude semblable avec des singes [67]. Les singes étaient nourris avec une diète soit riche en protéines de soya ou en caséine pendant environ quatre mois. On alternait d'une diète à l'autre à tous les 13-17 semaines. Quand les singes étaient nourris avec la diète riche en caséine, la concentration plasmatique de cholestérol augmentait significativement. La concentration de

cholestérol redescendait lorsque le singe était nourri avec la diète riche en protéines de soya. Des résultats comparables ont été obtenus chez des jeunes femmes, dans une étude de Wang et al. [70]. Une baisse significative de la concentration de LDL et une augmentation significative de la concentration de HDL ont été observées suite à une diète riche en protéines de soya en comparaison avec une diète riche en caséine.

Le mécanisme par lequel les protéines de soya induisent une baisse de la concentration plasmatique de cholestérol n'est pas encore connu. Tel que rapporté par Potter [56], plusieurs auteurs suggèrent que l'effet hypocholestérolémiant de la protéine de soya serait due à son contenu en isoflavones. L'isoflavone a une structure similaire à l'oestrogène et elle peut se lier à ses récepteurs. Il est connu que l'oestrogène a un impact favorable sur le profile lipidique et sur la paroi des artères [56]. Des effets comparables ont été observés suite à la consommation de protéines de soya [66, 67, 70].

### **2.2.6 Pression artérielle**

Obarzanek et al. [50] ont résumé neuf études transversales d'Américains et d'Anglais adultes démontrant que l'augmentation de l'apport en protéines de la diète est inversement proportionnelle avec la pression sanguine. Il semble qu'il n'y ait pas de différences entre les protéines animales et végétales. La première grande étude

(INTERSALT, 10020 sujets) a montré qu'une augmentation de l'apport protéique de 55 à 100 g/jour diminuait la pression diastolique de 2.9 mm Hg.

Malgré le fait que les études épidémiologiques ait montré l'évidence d'une relation inverse entre l'augmentation de l'apport protéique et la pression artérielle, la plupart des études interventionnelles n'ont observé aucun effet significatif des protéines sur la pression artérielle. Plus d'études rigoureuses sont nécessaires pour voir l'effet réel des protéines sur la pression artérielle.

En ce qui a trait au mécanisme en cause pour la diminution de la pression artérielle occasionnée par un apport élevé en protéines, plusieurs hypothèses ont été proposées. Il y a entre autres l'augmentation du flux sanguin et de l'excrétion de calcium aux reins, l'influence des protéines sur le métabolisme des catécholamines, et leur influence sur la vasorelaxation par leur effet sur la synthèse et le métabolisme de l'oxyde nitrique.

### **2.3 APPORT PROTÉIQUE OPTIMAL VS MAXIMAL**

Les apports protéiques présentement recommandés par "Santé et Bien-être social Canada" ont été définis par la quantité de protéines nécessaires pour maintenir la balance en azote, c'est-à-dire de 0.6 à 0.75 g/kg par jour [18]. Étant donné le manque

d'information permettant de définir une limite maximale sécuritaire de l'apport protéique, il a été convenu qu'il était probablement prudent de ne pas ingérer plus du double de la quantité recommandée (1.5 g/kg). Cette limite est cependant facilement dépassée chez les individus qui ont une grande dépense énergétique [47]. C'est pourquoi il serait souhaitable de redéfinir la limite maximale sécuritaire pour l'ingestion de protéines. De plus, à la lumière des études actuellement disponibles sur les effets d'un apport élevé en protéines, il y a de moins en moins d'évidences suggérant que la valeur actuelle de 1.5 g/kg soit associée à un risque pour la santé.

Dans un contexte de perte de poids, il semble qu'un apport plus élevé en protéines ( $> 1.5$  g/kg) soit associé à de nombreux bénéfices pour la santé. Tel qu'expliqué dans la présente revue, un apport élevé en protéines aurait un impact positif sur la satiété et par le fait-même, ferait diminuer l'apport alimentaire. Il a également été démontré qu'un apport élevé en protéines contribuait à favoriser la perte de poids, tout en gardant le métabolisme à un niveau élevé.

Un apport élevé en protéines aurait aussi un impact à d'autres niveaux sur la santé. Pour ce qui est de la perte en calcium, plusieurs études ont montré l'effet néfaste d'un apport élevé en protéines sur la perte osseuse et calcique. Cependant, des études plus récentes ont montré que ce ne serait pas le cas, surtout si

l'apport en fruits et légumes est élevé. Au niveau des fonctions des reins, c'est la même chose. Des études ont démontré que les protéines semblaient engendrer une augmentation du TFG et conséquemment, pourraient favoriser une certaine hypertension intrarénale et la détérioration des fonctions rénales. Plus récemment, on a démontré qu'un apport élevé en protéines n'affectait pas significativement les fonctions des reins lors du vieillissement normal des sujets en santé. De plus, la diminution du TFG avec l'âge serait principalement causée par la diminution de l'apport protéique avec l'âge. Au niveau de la sensibilité à l'insuline, les résultats sont contradictoires relativement aux effets d'un apport élevé en protéines. Cependant, les données actuelles suggèrent qu'un faible apport protéique entraînerait une altération de la sécrétion d'insuline. Finalement, plusieurs études ont démontré qu'un apport élevé en protéines pouvait améliorer le profil lipidique et entraîner une baisse de la pression artérielle.

Vu les bénéfices apparents d'un apport élevé en protéines sur la perte de poids et sur le profil lipidique, et le peu d'évidences qu'un tel apport soit associé à un risque pour la santé, il semble que l'utilisation d'une limite maximale sécuritaire soit de moins en moins nécessaire quoique plus d'études sont nécessaires pour vraiment le confirmer. C'est pourquoi, un apport plus élevé en protéines pourrait être recommandable, notamment pour une perte de poids.

Lors de la présente étude, nous regarderons l'impact d'un apport élevé en protéines sur l'apport alimentaire dans des conditions de vie normales. Nous tenterons de voir au courant d'une journée l'impact d'un apport élevé en protéines sous forme d'entrée sur la prise alimentaire lors d'un repas mixte servi immédiatement après. Nous tenterons par le fait-même de voir l'impact d'un apport élevé en protéines sur la satiété, la dépense énergétique, le quotient respiratoire, la variation du rythme cardiaque ainsi que l'apport énergétique et macronutritionnel de la journée suivante. Nous émettons l'hypothèse que le fait de prendre une entrée riche en protéines à tous les repas diminuera l'apport alimentaire subséquente tout en augmentant la dépense énergétique.



## **CHAPITRE 3**

### **3. SUJETS ET MÉTHODES**

#### **3.1 Sujets**

Les sujets de la présente étude sont des volontaires qui ont été recrutés à partir d'annonces dans les journaux et à la radio, d'affiches sur le campus et de connaissances. Une compensation monétaire de 30\$ par journée complétée a été offerte. Tous les sujets potentiels devaient passer un questionnaire téléphonique (Annexe 1) afin de s'assurer de leur éligibilité au projet, c'est-à-dire être de sexe masculin, âgé entre 25 et 55 ans, en bonne santé, sédentaire ou modérément actif (moins de trois heures par semaine) et ne prenant aucune médication. Les sujets qui répondaient à ces critères étaient convoqués au Laboratoire des Sciences de l'Activité Physique de l'Université Laval afin de prendre les mesures du poids, de la taille et de la circonférence de la taille et pour signer la lettre de consentement (Annexe 2). La lettre de consentement servait à informer les sujets du déroulement de l'étude, des risques associés à la participation à l'étude (inexistants) et des exigences de l'étude, c'est-à-dire de demeurer sédentaire durant toute la journée de tests ainsi que durant les vingt-quatre heures précédant cette journée, de

ne rien ingérer depuis vingt-deux heures la veille et de ne rien manger d'autre que ce qu'on leur sert au laboratoire durant la journée de tests. La lettre de consentement servait également à informer les sujets qu'ils pouvaient se retirer de l'étude en tout temps sans préjudice et que les informations se rapportant à l'intimité de chaque sujet serait rigoureusement gardée confidentielle.

Vingt hommes ont été recrutés afin de participer à cette étude. Deux groupes expérimentaux de dix sujets ont été formés: un premier groupe de sujets sans surplus de poids (tour de taille < 100 cm) et un second groupe de sujets ayant un surplus de poids (IMC  $\geq$  27 kg/m<sup>2</sup> et tour de taille  $\geq$  100 cm). Les caractéristiques des sujets des deux groupes sont présentées au **Tableau 1**.

**Tableau 1** Caractéristiques des sujets

	Sans surplus de poids (n=10)	Avec surplus de poids (n=10)
Age (an)	40 $\pm$ 12	38 $\pm$ 10
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	25.6 $\pm$ 2.2	32.3 $\pm$ 3.1
Tour de taille (cm)	87.2 $\pm$ 7.4	109.5 $\pm$ 5.9

### 3.2 Aliments et recettes

Les sujets sélectionnés ont participé à deux journées de tests séparées d'environ 15 jours, au Laboratoire des Sciences de

l'Activité Physique. Lors de chaque journée, les sujets devaient consommer trois repas comprenant une entrée (valeur calorique fixe), un plat principal (servi à volonté) et un dessert (servi à volonté). Une collation (valeur calorique fixe) était également offerte en après-midi. Les trois entrées et la collation de l'après-midi servies lors des deux journées devaient être consommées en entier. Le **Tableau 2** présente le menu détaillé des deux journées de test.

Les deux journées étaient identiques sauf au niveau de la quantité de protéines contenue dans les entrées et la collation. Lors de la journée riche en protéines, les entrées et la collation ont été élaborées par Advitech Solutions, ajoutant 60 grammes de protéines à la journée contrôle. Les entrées et la collation de la journée contrôle étaient des produits usuels qui ont été sélectionnés pour être aussi semblables que possible aux produits hyperprotéiques au niveau du goût, de la texture, de l'apparence et de la densité. Le **Tableau 3** montre la composition des entrées et de la collation pour les deux journées. La quantité d'aliments des entrées et de la collation de la journée contrôle a été calculée pour être équicalorique avec les aliments élaborés par Advitech Solutions (Annexe 3).

Les plats principaux et les desserts (servis à volonté) étaient de composition mixte. La composition de ces plats a été contrôlée pour que leur quotient alimentaire (QA) soit de 0.85. Le QA d'un

aliment décrit le ratio de  $\text{CO}_2$  produit sur l' $\text{O}_2$  consommé lors de l'oxydation biologique d'un échantillon représentatif de la diète [21]. Le fait d'avoir un QA identique pour tous les repas permet d'avoir une même proportion de glucides et de lipides d'un repas à l'autre [45]. Le **Tableau 4** montre la composition détaillée des repas servis à volonté.



**Tableau 3** Apport énergétique et macronutritionnel des entrées et de la collation

Aliments	Apport énergé- tique (kcal)	Gluci- des (g)	Lipi- des (g)	Proté- ines (g)	Fibres (g)
Boisson à l'orange					
• régulière (Zel)	82	20.5	0.2	0	0
• hyperprotéique*	82	4.8	0	15	4.4
Bouillon de boeuf					
• régulier (en conserve Campbell's, huile végétale)	78	3.6	6.8	3	0
• hyperprotéique*	78	4.2	0.1	15	4.0
Pouding au chocolat					
• régulier (Moments magiques ultra faible en gras)	72	16.8	0.2	2	0.4
• hyperprotéique*	72	3.1	0.1	15	2.7
Soupe crème de poireaux					
• régulière* (Knorr express)	96	16.2	3.0	1	1
• hyperprotéique*	96	8.9	0.1	15	8.7
Total produits réguliers	328	57.1	10.2	6	1.4
Total produits hyperprotéiques	328	20.6	0.3	60	19.8

\* Valeur nutritionnelle de la poudre

**Tableau 4** Composition des repas à volonté

<b>Aliments</b>	<b>kcal/ 100 g</b>	<b>Glucides g/100 g</b>	<b>Lipides g/100 g</b>	<b>Protéines g/100 g</b>
<b>Pain doré</b> (pain blanc, lait 2%, oeufs, cassonade, huile, édulcorant)	223	26.5	9.9	7
<b>Sous-marin</b> (pain baguette, jambon, mozzarella, mayonnaise, poivron vert, tomate, laitue)	186	20.0	7.7	9
<b>Lasagne à la viande</b> (Piazza Tomasso)	132	14.0	4.8	8
<b>Croustade de pommes</b> (Pommes, cassonade, farine, gruau, beurre, crème 35%, cannelle, édulcorant)	232	28.6	11.7	3
<b>Biscuits à la guimauve</b> (Christie, Puffs de rêve)	488	65.0	24.0	4
<b>Biscuits aux brisures de chocolat</b> (Voortman)	455	66.4	17.3	5





Au cours des deux journées de test, plusieurs autres mesures ont été effectuées. Avant le déjeuner et après chaque repas (excepté la collation), la dépense énergétique a été mesurée à l'aide d'un appareil de calorimétrie indirecte (Hartmann & Braun Uras 10E; Bartlesville, Industriestrasse 28, Eschborn, Allemagne). Pour ce test, les sujets devaient respirer le plus normalement possible dans une pièce buccale pendant une période de 15 minutes afin d'évaluer leur consommation d'oxygène. L'équivalent calorique a par la suite été estimé pour le volume d'oxygène consommé. Ce test a également permis d'évaluer le quotient respiratoire (QR) ( $VCO_2/VO_2$ ) qui sert d'indicateur de la composition en substrats oxydés par les sujets lors de chaque situation. Un QR se rapprochant de 1 indique qu'une personne utilise majoritairement des glucides comme substrat énergétique lors de cette situation alors qu'un QR près de 0.7 indique que les lipides représentent le principal substrat énergétique [45]. De façon à faciliter l'interprétation des données sur les effets de la composition de la diète sur l'apport alimentaire, la comparaison du QR avec le QA de la diète (0.85) est intéressante car celle-ci nous donne une idée de l'oxydation des substrats et de la balance énergétique des sujets [19, 20, 22, 71].

Au cours de la mesure de la dépense énergétique, une mesure de la variabilité de la fréquence cardiaque (HRV) a également été effectuée. L'analyse spectrale du rythme cardiaque est un moyen de détecter les variations du contrôle autonome de la fréquence cardiaque. L'activité du système nerveux sympathique et

parasympathique sont représentées à des fréquences différentes sur le spectre, ce qui permet de les différencier et de les quantifier [1, 33, 40]. Cette mesure nous donne une estimation de l'activité du système nerveux sympathique (ratio sympathique/parasympathique). Un émetteur de montre "polar" placé sur le thorax du sujet a été utilisé pour effectuer cette mesure.

### 3.4 Protocole

Lors des deux journées, le sujet arrivait au laboratoire vers 7h20. On lui demandait ensuite de se reposer pendant 15 minutes avant de prendre une mesure de métabolisme de repos et de HRV pour une autre période de quinze minutes. À 8h, le sujet commençait à remplir l'échelle visuelle analogue immédiatement avant qu'on lui serve l'entrée. Le sujet complétera également l'échelle visuelle après l'entrée, après le déjeuner et à toutes les 30 minutes jusqu'au repas suivant. Lors des repas, les sujets étaient en isolation, c'est-à-dire qu'on minimisait le plus possible les interactions pour limiter les biais possibles. Après le déjeuner, on effectuait une mesure de métabolisme et de HRV pour 15 minutes. Entre les repas, les sujets étaient libres de faire ce qu'ils voulaient; cependant, on leur demandait de demeurer sédentaires et de ne rien ingérer sauf de l'eau. À midi, on répétait la même procédure, c'est-à-dire le sujet remplissait l'échelle visuelle avant et après l'entrée et après le dîner. On effectuait par la suite une mesure de

métabolisme et de HRV. Si le sujet avait accès à un réfrigérateur pendant l'après-midi, on pouvait lui remettre la collation après le dîner en lui spécifiant de la garder au réfrigérateur et de la prendre à 15h30. Sinon, on lui demandait de venir prendre la collation au laboratoire à 15h30. Les sujets devaient remplir l'échelle visuelle avant, après la collation et à toutes les 30 minutes jusqu'au souper. À 17h pour le souper, on répétait la même procédure qu'au dîner. Après le souper, on remettait aux sujets un journal alimentaire à remplir la journée suivante. On leur expliquait également comment le remplir et comment nous le rapporter par la suite. L'annexe 5 décrit de façon détaillée le protocole de recherche utilisé lors de chaque journée d'évaluation.

### **3.5 Analyses statistiques**

Les résultats ont été exprimés en moyenne  $\pm$  écart type. Toutes les données pour la situation contrôle et expérimentale pour les deux groupes de sujets ont été comparées en utilisant le test de T païré. Les différences ont été considérées significatives à  $P \leq 0.05$ . Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel JMP<sup>©</sup> 3.1.5 (SAS institute, Cary, NC, USA).

## CHAPITRE 4

### 4. RÉSULTATS

#### 4.1 Apport énergétique et macronutritionnel total

Le **Tableau 5** présente l'apport énergétique et macronutritionnel total lors des deux situations pour les deux groupes de sujets. Il n'y a aucune différence significative entre la journée contrôle et la journée riche en protéines au niveau de l'apport énergétique total, et cela pour les deux groupes de sujets. L'apport en protéines est significativement plus élevé lors de la journée riche en protéines par rapport à la journée contrôle, pour les groupes de sujets sans surplus de poids et avec surplus de poids ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = 51.7$  et  $57$  g et  $6.7$  et  $7.7$  % respectivement). Les apports en glucides et en lipides (%) sont significativement plus faibles lors de la journée riche en protéines par rapport à la journée contrôle, également pour les deux groupes de sujets ( $p \leq 0.01$ , glucides:  $\Delta = -4.2$  et  $-4.8$  %, lipides:  $\Delta = -2.3$  et  $-2.8$  %). De plus, l'apport en glucides (g/jour) est significativement plus faible lors de la journée riche en protéines pour le groupe sans surplus de poids ( $p \leq 0.05$ ,  $\Delta = -31.1$  g).

**Tableau 5** Apport énergétique et macronutritionnel total

	Sans surplus de poids		Avec surplus de poids	
	Journée contrôle	Journée riche en protéines	Journée contrôle	Journée riche en protéines
<b>Apport éner- gétique (kcal)</b>	3089 ± 455	3118 ± 626	2568 ± 401	2748 ± 566
<b>Protéines (g)</b>	114.2 ± 17.8	165.9 ± 25.9 **	104.2 ± 17.0	161.2 ± 22.8 **
(%)	14.8 ± 1.1	21.5 ± 1.2 **	16.1 ± 1.2	23.8 ± 2.7 **
<b>Glucides (g)</b>	376.5 ± 53.9	345.4 ± 71.7 *	310.7 ± 46.8	298.2 ± 65.9
(%)	48.5 ± 0.5	44.3 ± 0.7 **	48.1 ± 0.7	43.3 ± 1.1 **
<b>Lipides (g)</b>	126.6 ± 19.8	119.4 ± 26.7	102.2 ± 17.3	101.4 ± 25.6
(%)	36.7 ± 0.7	34.4 ± 1.0 **	35.6 ± 1.1	32.8 ± 1.8 **

\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.05$

\*\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.01$

#### 4.2 apport énergétique et macronutritionnel pour chaque repas

Le **Tableau 6** montre l'apport énergétique et macronutritionnel pour chaque repas. Au déjeuner, il n'y a pas de différence significative entre l'apport énergétique de la journée contrôle et celui de la journée riche en protéines, et cela pour les deux groupes de sujets. L'apport en protéines est significativement plus élevé lors de la journée riche en protéines, pour les deux groupes ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = 14.1$  et  $16.4$  g). L'apport en glucides est significativement plus faible lors de la journée riche en protéines pour le groupe sans surplus de poids ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = -18.2$  g), alors qu'il

n'y a pas de différence pour le groupe avec surplus de poids. L'apport en lipides demeure inchangé.

Au dîner, nous pouvons voir qu'il n'y a pas de différence significative entre l'apport énergétique de la journée contrôle et celui de la journée riche en protéines, et cela pour les deux groupes de sujets. L'apport en protéines est significativement plus élevé lors de la journée riche en protéines pour les deux groupes ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = 26.1$  et  $26.7$  g). L'apport en glucides demeure inchangé lors des deux journées, pour les deux groupes. L'apport en lipides est significativement plus faible lors de la journée riche en protéines pour le groupe sans surplus de poids ( $p \leq 0.05$ ,  $\Delta = -5.6$  g), alors qu'il n'y a pas de différence pour l'autre groupe.

Au souper également, il n'y a pas de différence significative entre l'apport énergétique des deux journées pour les deux groupes de sujets. L'apport en protéines est significativement plus élevé lors de la journée riche en protéines pour le groupe sans surplus de poids ( $p \leq 0.05$ ,  $\Delta = 11.3$  g) et pour le groupe avec surplus de poids ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = 13.8$  g). L'apport en glucides et en lipides demeurent inchangés lors des deux journées pour les deux groupes.



### 4.3 Apport énergétique et macronutritionnel de la journée suivant la journée de tests

L'apport énergétique et macronutritionnel de la journée suivant les deux journées de tests sont présentés au **Tableau 7**. Il n'y a aucune différence entre les deux journées autant au niveau de l'apport énergétique que pour l'apport en protéines, glucides et lipides pour les deux groupes de sujets.

**Tableau 7** Apport énergétique et macronutritionnel de la journée suivant la journée de tests

	Sans surplus de poids		Avec surplus de poids	
	Journée contrôle	Journée riche en protéines	Journée contrôle	Journée riche en protéines
<b>Apport éner- gétique (kcal)</b>	2490 ± 592	2775 ± 734	2502 ± 580	2377 ± 734
<b>Protéines (g)</b>	103.6 ± 23.1	99.7 ± 26.6	108.8 ± 31.0	95.7 ± 17.2
<b>Glucides (g)</b>	306.9 ± 89.2	371.9 ± 110.9	300.2 ± 74.1	315.2 ± 115.0
<b>Lipides (g)</b>	97.1 ± 35.1	100.0 ± 33.1	93.1 ± 41.8	82.0 ± 41.2

\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.05$

\*\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.01$

### 4.4 Dépense énergétique de repos

On peut voir au **Tableau 8** les valeurs de la dépense énergétique de repos (kcal/min). Il n'y a aucune différence entre



les deux journées pour les valeurs à jeun, avant le déjeuner pour les deux groupes de sujets. Par contre, après le déjeuner, la dépense énergétique est significativement plus élevée lors de la journée riche en protéines ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = 0.07$  et  $0.08$  kcal/min). Après le dîner, la dépense énergétique est aussi significativement plus élevée lors de la journée riche en protéines pour le groupe avec surplus de poids ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = 0.14$  kcal/min). On retrouve également cette tendance chez le groupe sans surplus de poids qui est cependant non significative ( $\Delta = 0.09$  kcal/min). Après le souper, le groupe avec surplus de poids a eu une dépense énergétique significativement plus élevée lors de la journée riche en protéines ( $p \leq 0.05$ ,  $\Delta = 0.09$  kcal/min), et il n'y a aucune différence pour le groupe sans surplus de poids.

**Tableau 8** Dépense énergétique de repos (kcal/min)

	Sans surplus de poids		Avec surplus de poids	
	Journée contrôle	Journée riche en protéines	Journée contrôle	Journée riche en protéines
<b>À jeun</b>	1.09 ± 0.16	1.13 ± 0.14	1.36 ± 0.20	1.32 ± 0.22
<b>Après déjeuner</b>	1.30 ± 0.16	1.37 ± 0.20 **	1.54 ± 0.24	1.62 ± 0.21 **
<b>Après dîner</b>	1.37 ± 0.15	1.46 ± 0.20	1.58 ± 0.23	1.72 ± 0.24 **
<b>Après souper</b>	1.51 ± 0.19	1.54 ± 0.20	1.68 ± 0.21	1.77 ± 0.22 *

\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.05$

\*\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.01$

#### 4.5 Quotient respiratoire

Les variations du quotient respiratoire (QR) ( $VCO_2/VO_2$ ) sont présentées au **Tableau 9**. Il n'y a aucune différence entre les deux journées pour les valeurs à jeun, avant le déjeuner. Après le déjeuner, le QR est significativement plus faible lors de la journée riche en protéines pour le groupe avec surplus de poids ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = 0.08$ ). Il n'y a pas de différence pour le groupe sans surplus de poids. Après le dîner, il n'y a aucune variation significative dans les valeurs du QR. Après le souper, le groupe avec surplus de poids avait un QR significativement plus faible lors de la journée riche en protéines par rapport à la journée contrôle ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = 0.05$ ). Il n'y a pas de différence pour le groupe sans surplus de poids.

**Tableau 9** Quotient respiratoire ( $VCO_2/VO_2$ )

	Sans surplus de poids		Avec surplus de poids	
	Journée contrôle	Journée riche en protéines	Journée contrôle	Journée riche en protéines
<b>À jeun</b>	0.79 ± 0.04	0.79 ± 0.05	0.84 ± 0.07	0.79 ± 0.05
<b>Après déjeuner</b>	0.82 ± 0.04	0.82 ± 0.04	0.88 ± 0.07	0.80 ± 0.04 **
<b>Après dîner</b>	0.79 ± 0.03	0.80 ± 0.04	0.85 ± 0.08	0.82 ± 0.04
<b>Après souper</b>	0.82 ± 0.07	0.86 ± 0.06	0.88 ± 0.07	0.83 ± 0.04 **

\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.05$

\*\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.01$

#### 4.6 Variation du rythme cardiaque

Le **Tableau 10** démontre la variation du rythme cardiaque à jeun, après le déjeuner, après le dîner et après le souper pour les deux journées. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes de sujets.

**Tableau 10** Variation du rythme cardiaque  
(Ratio: sympathique/parasymphatique)

	Sans surplus de poids		Avec surplus de poids	
	Journée contrôle	Journée riche en protéines	Journée contrôle	Journée riche en protéines
<b>À jeun</b>	3.39 ± 3.98	3.05 ± 1.81	2.42 ± 1.59	3.66 ± 3.30
<b>Après déjeuner</b>	2.60 ± 1.25	2.77 ± 1.43	2.20 ± 0.99	2.84 ± 1.97
<b>Après dîner</b>	4.62 ± 3.52	2.75 ± 1.44	3.38 ± 2.64	3.55 ± 2.97
<b>Après souper</b>	3.93 ± 3.69	5.15 ± 6.00	2.38 ± 1.40	3.83 ± 3.76

\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.05$

\*\* Significativement différent de la situation contrôle,  $P \leq 0.01$

#### 4.7 Échelles visuelles analogues (satiété)

Les **Figures 1 à 8** présentent les résultats pour les questions 1 à 4 des échelles visuelles analogues pour les deux groupes de sujets (sans surplus de poids et avec surplus de poids), lors des journées contrôle et riche en protéines.

Les **Figures 1 et 2** présentent le désir de manger en fonction du temps pour les deux groupes. Aucune différence significative n'est observée entre la journée contrôle et la journée riche en protéines pour les deux groupes. La seule différence significative se situe après l'entrée du dîner pour le groupe avec surplus de poids, alors que ceux-ci ont un désir plus grand de manger suite à l'entrée riche en protéines ( $p \leq 0.05$ ,  $\Delta = 13$  mm).

Les **Figures 3 et 4** présentent l'impression d'avoir faim en fonction du temps pour les groupes sans surplus de poids et avec surplus de poids. La seule différence significative se situe au niveau de la collation pour le groupe sans surplus de poids. L'aire sous la courbe après la collation est significativement plus faible lors de la journée riche en protéines ( $p \leq 0.02$ ). De plus, les valeurs des temps 1 et 30 sont significativement plus faibles lors de la journée riche en protéines ( $p \leq 0.05$ ,  $\Delta = -16$  et  $-18$  mm).

Les **Figures 5 et 6** présentent la sensation d'être rempli en fonction du temps pour les deux groupes de sujets. On n'observe

aucune différence significative entre la journée contrôle et la journée riche en protéines pour les deux groupes.

Les **Figures 7 et 8** présentent la consommation de nourriture anticipée en fonction du temps pour les deux groupes de sujets. Il y a une différence significative au dîner pour le groupe sans surplus de poids. L'aire sous la courbe suite à ce repas est significativement plus faible lors de la journée riche en protéines ( $p \leq 0.02$ ). De plus, la valeur du temps 1 est significativement plus faible lors de la journée riche en protéines ( $p \leq 0.05$ ,  $\Delta = -12$  mm). Il y a aussi une différence significative au niveau du souper pour le groupe avec surplus de poids. L'aire sous la courbe après le repas est significativement plus faible lors de la journée riche en protéines ( $p \leq 0.03$ ). De plus, les valeurs des temps 120, 150 et 180 sont significativement plus faibles lors de la journée riche en protéines (120:  $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = -23$  mm, 150 et 180:  $p \leq 0.05$ ,  $\Delta = -14$  et  $-23$  mm).

Figure 1  
 Échelles visuelles analogues  
 Groupe: sans surplus de poids

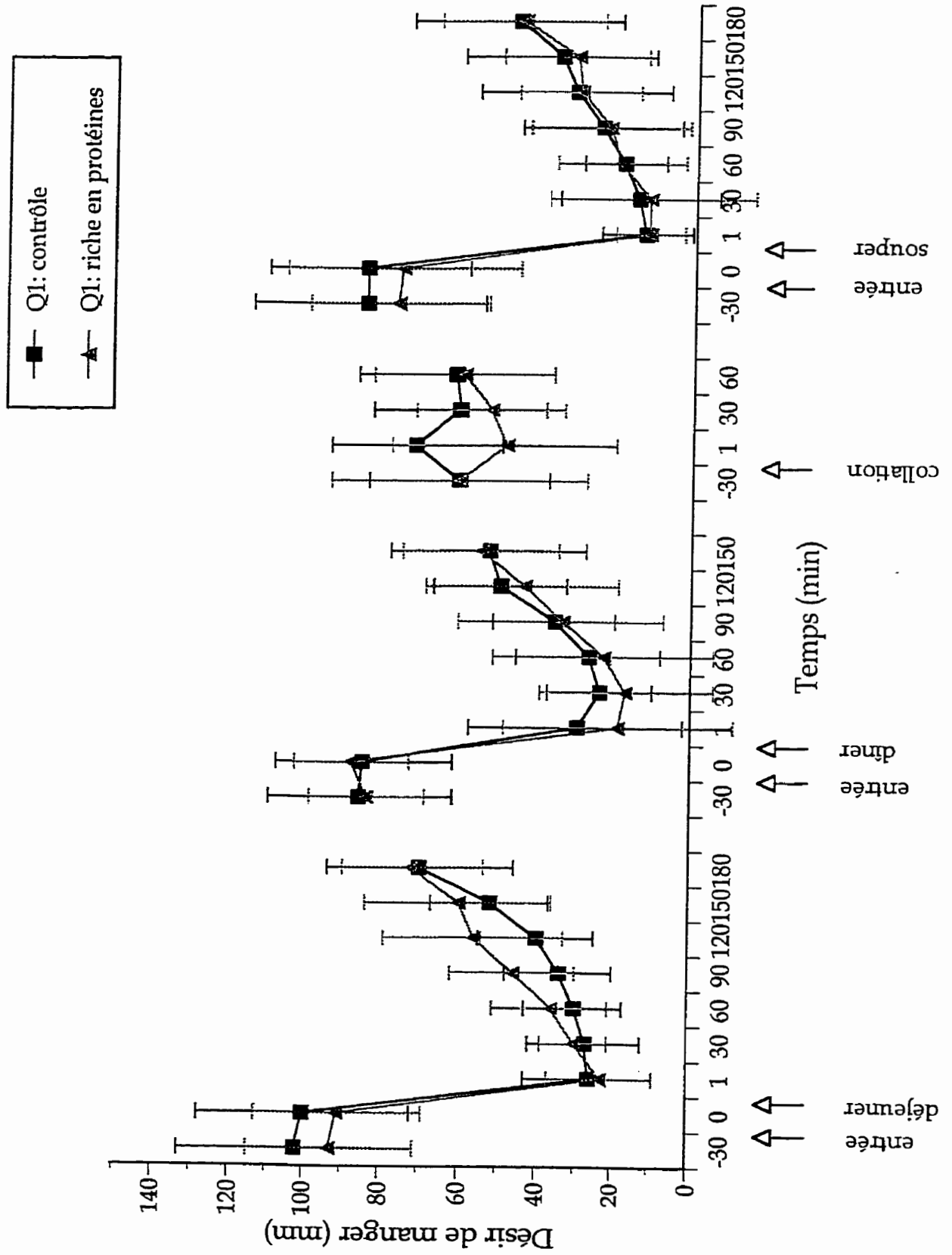




Figure 3  
 Échelles visuelles analogues  
 Groupe: sans surplus de poids

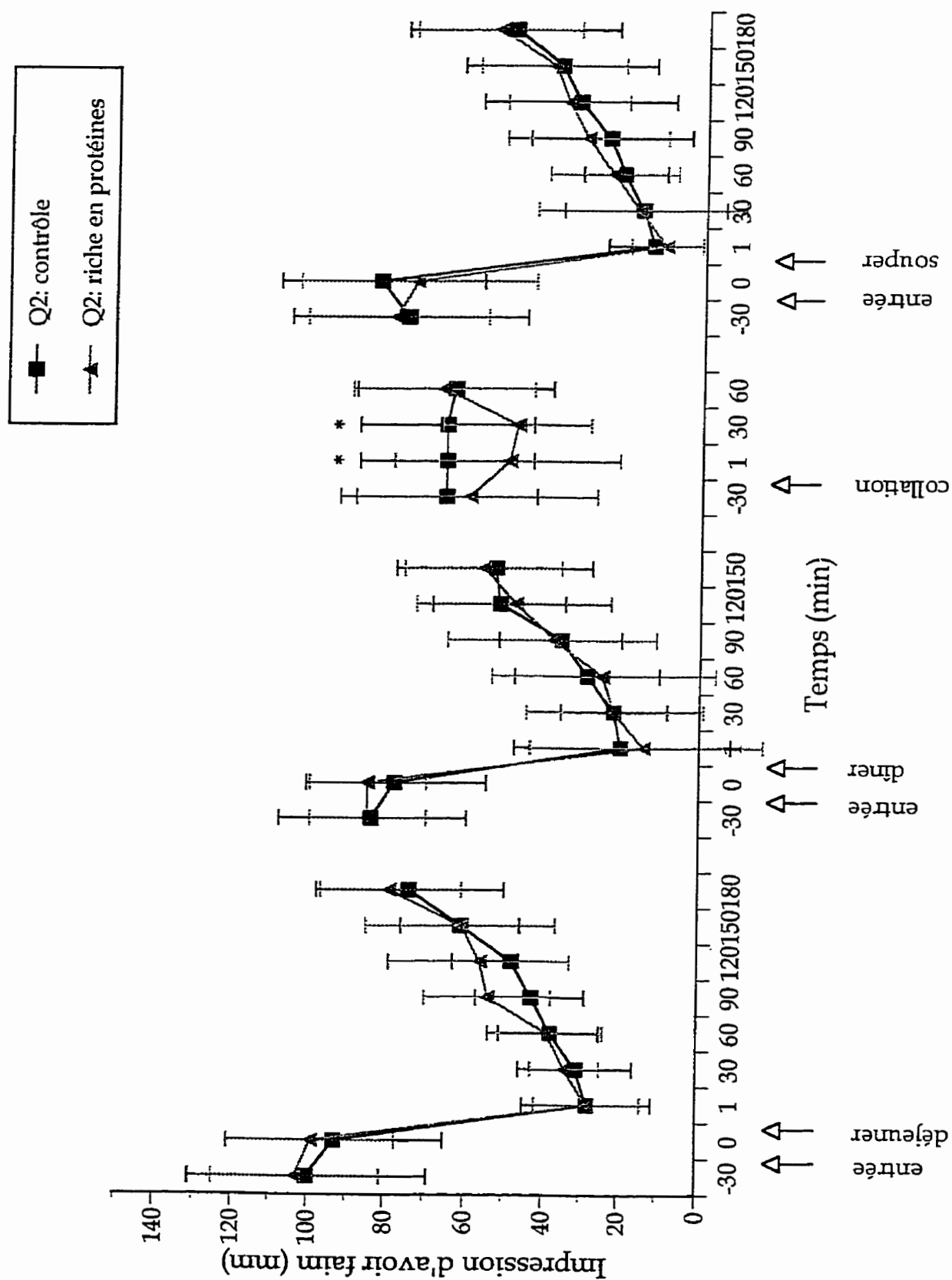




Figure 4  
 Échelles visuelles analogues  
 Groupe: avec surplus de poids

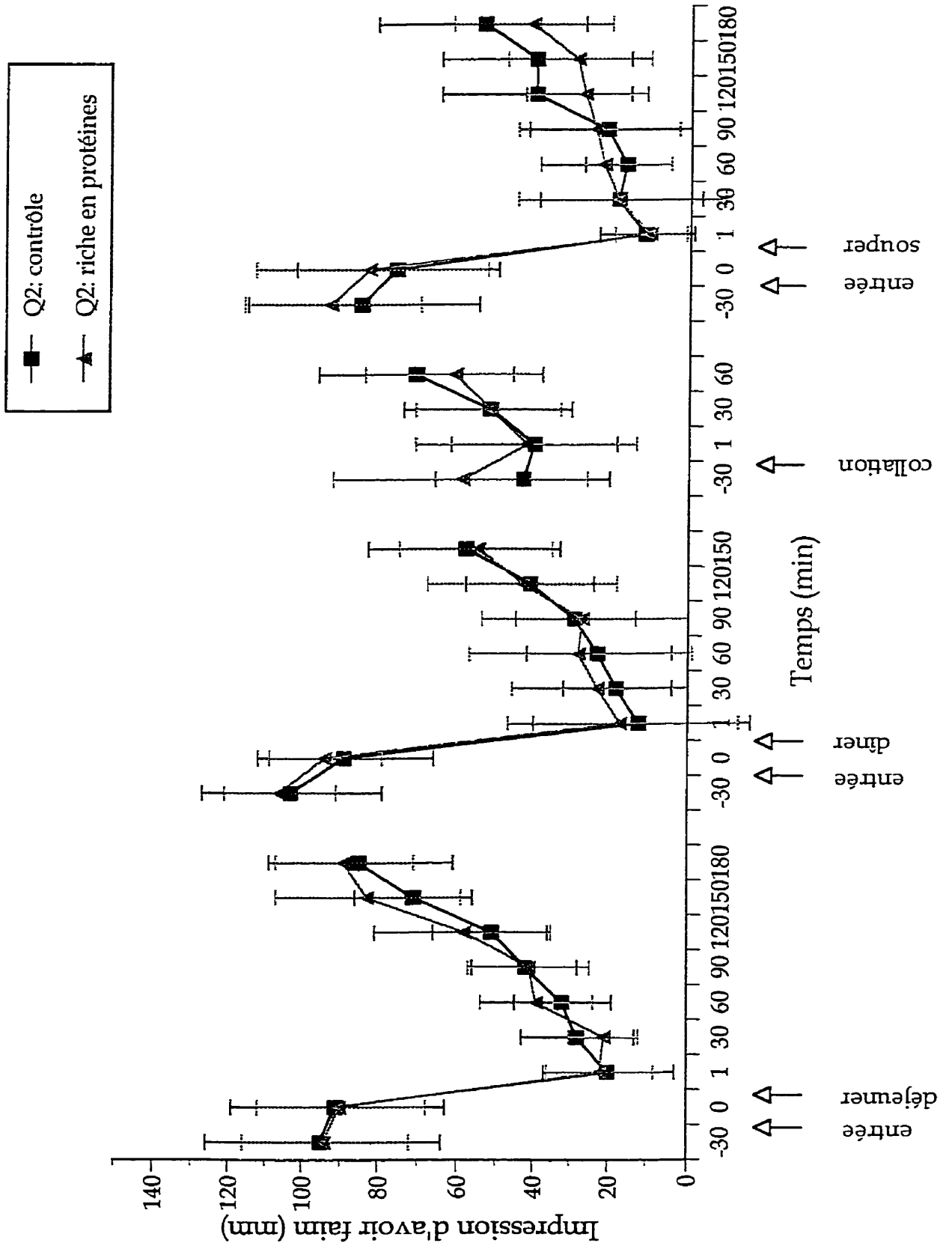


Figure 5  
Échelles visuelles analogues  
Groupe: sans surplus de poids

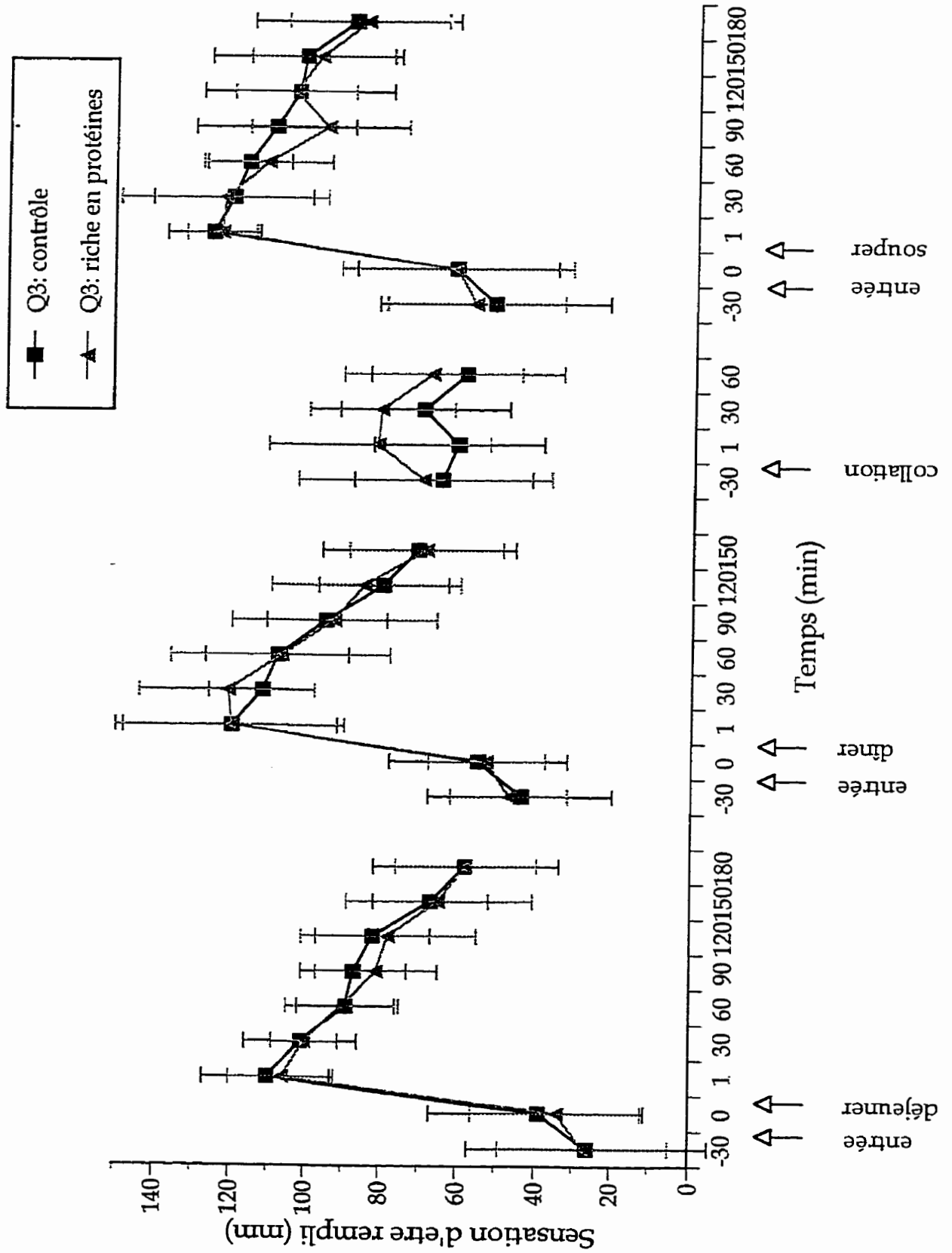
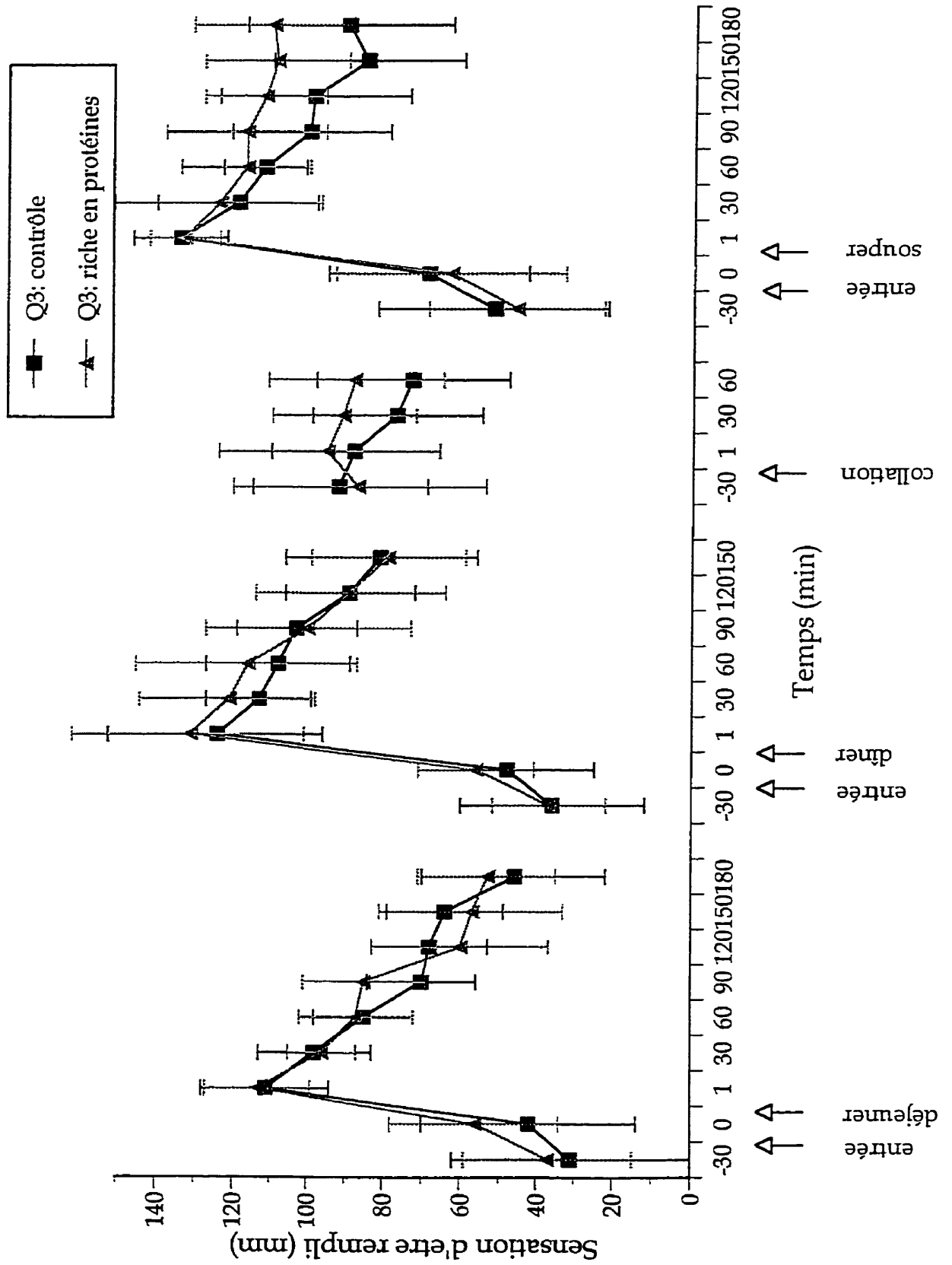


Figure 6  
Échelles visuelles analogues  
Groupe: avec surplus de poids







#### 4.8 Échelles visuelles analogues (appréciation de l'entrée)

Les **Figures 9 et 10** nous montrent l'appréciation de l'entrée (mm) pour les groupes sans surplus de poids et avec surplus de poids. Pour les deux groupes, l'entrée riche en protéines est moins appréciée que l'entrée servie lors de la situation contrôle. Cette différence est significative au déjeuner et au souper chez le groupe sans surplus de poids seulement ( $p \leq 0.01$ ,  $\Delta = -35$  et  $-13$  mm).

Figure 9  
Appréciation de l'entrée et de la collation  
Groupe: sans surplus de poids

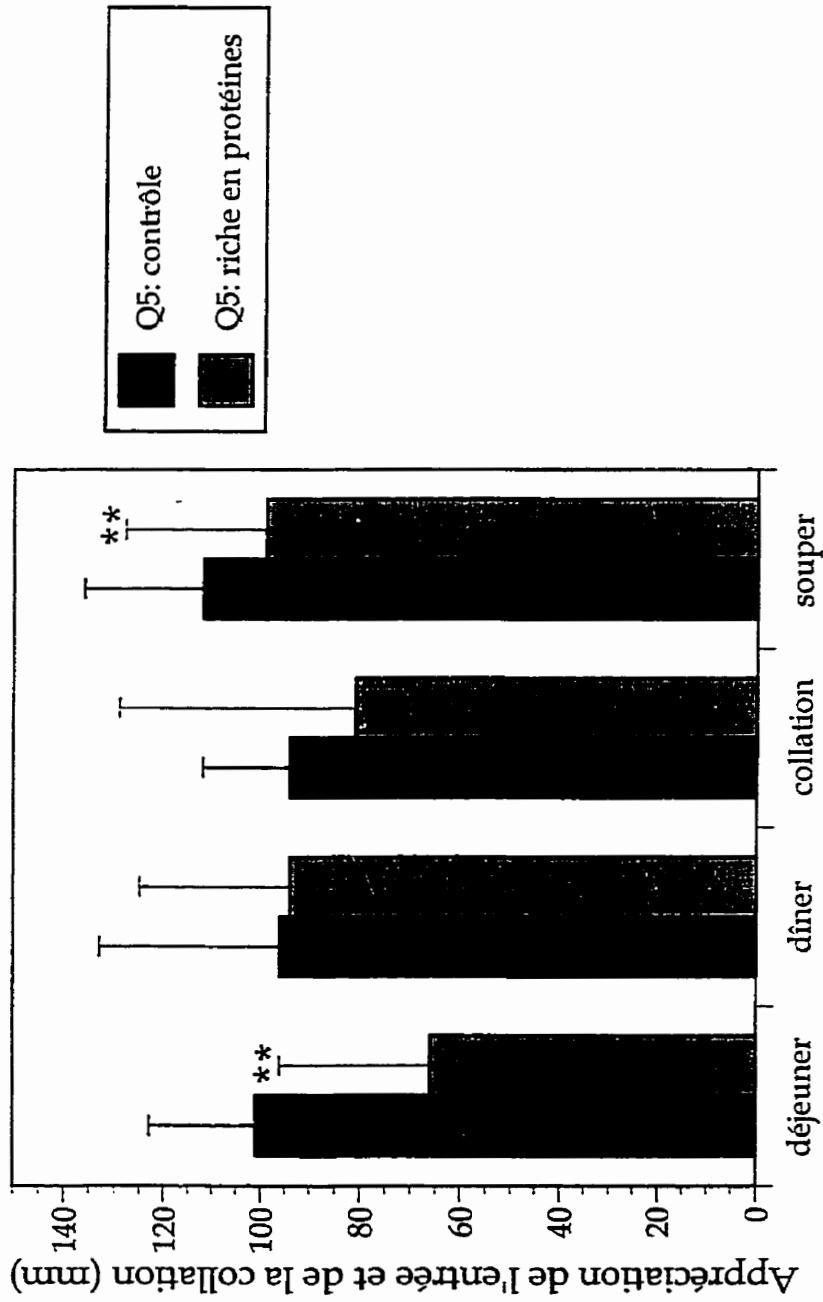
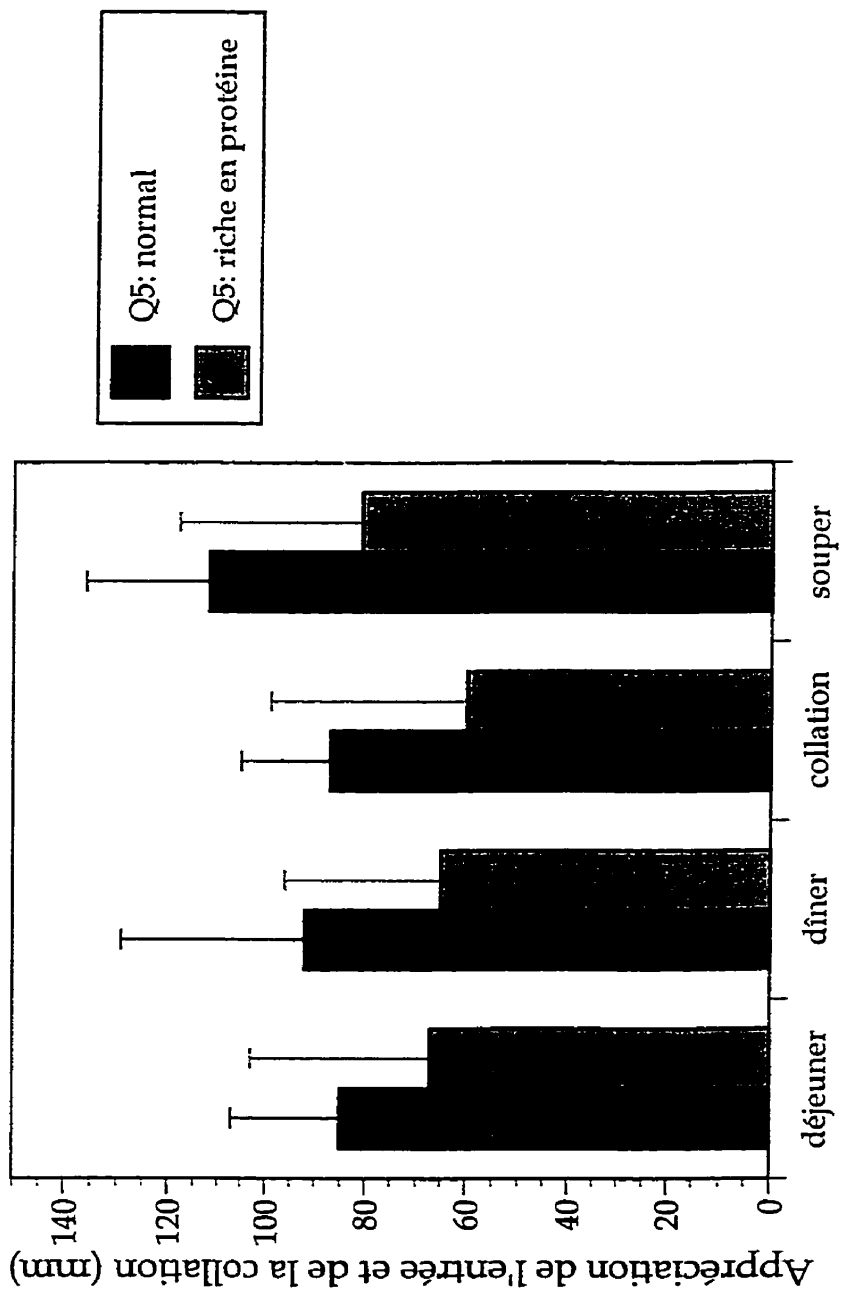


Figure 10  
Appréciation de l'entrée et de la collation  
Groupe: avec surplus de poids









signal affectant l'apport alimentaire ne soit émis qu'après un certain temps, c'est-à-dire pendant le processus de digestion [64].

Le contenu en énergie et en protéines de même que le volume des entrées était beaucoup plus faible ici que dans les autres études de ce genre. L'apport protéique totale des entrées de la journée riche en protéines était de 60 grammes, réparti entre quatre entrées. Dans les autres études, l'apport protéique était aussi d'environ 60 grammes, mais pris lors d'un seul repas. Il est possible que notre apport protéique n'ait pas été assez important pour influencer l'apport alimentaire subséquent. En aucun cas, nos résultats ne suggèrent que les suppléments protéiques des repas précédents aient pu influencer l'apport alimentaire du repas suivant. Au souper, les sujets avaient précédemment ingéré les 60 grammes de protéines supplémentaires. Or, aucune différence n'a alors été observée dans l'apport alimentaire. Dans ce sens, d'autres études ont également démontré qu'un repas riche en protéines n'affectait pas la prise alimentaire à long terme, c'est-à-dire plus de quatre heures plus tard [39, 65]. De Graaf et al, [16] ont remarqué que comparé à un repas riche en glucides ou en gras, des différences dans la faim subjective émergeaient une heure après un repas riche en protéines et disparaissaient après 3.75 heures. Les plus grandes différences se situaient entre 1.75 et 2.75 heures après le repas. Dans notre étude, quatre heures séparaient le déjeuner du dîner et cinq heures séparaient le dîner du souper, des intervalles trop grands selon la littérature, pour observer des effets.

Maintenant, si on considère l'ensemble du repas, c'est-à-dire l'entrée, le mets principal et le dessert, nous pouvons alors dire que nos repas étaient, dans l'ensemble, riche en protéines (22-24%). Or, Skov et al. [62] ont démontré que les gens mangeaient moins lorsque toute l'alimentation était riche en protéines (25%). Si on compare notre étude avec celle de Skov, nous pouvons voir premièrement, qu'il y a une différence dans l'apport protéique entre la journée expérimentale et la journée contrôle. La journée contrôle de notre étude comportait 15-16% de protéines tandis que celle de Skov s'élevait à 12%. La différence moins importante entre l'apport protéique des deux situations de notre étude a probablement eu une influence sur l'absence de différence dans l'apport alimentaire de ces deux journées.

Deuxièmement, lors de l'étude de Skov, toute l'alimentation était riche en protéines tandis que lors de notre étude, le supplément protéique a été présenté en entrée au début du repas, suivi d'un repas mixte. Cette présentation a pu influencer l'apport alimentaire en augmentant la palatabilité du repas, la nourriture mixte, plus riche en gras étant possiblement plus palatable que la nourriture riche en protéines.

Au niveau des échelles visuelles analogues, quelques différences significatives ont été observées. Une situation parmi celles-ci mériterait une attention particulière: c'est la différence

significative dans la "consommation de nourriture anticipée" lors des temps 120, 150 et 180 minutes après le souper pour le groupe avec surplus de poids. Cette différence significative est intéressante car elle reflète une tendance (non-significative) observable lors des trois autres questions de l'échelle visuelle analogue chez le même groupe. Cela signifie également qu'étant donné la bonne corrélation entre la faim subjective et l'apport alimentaire [15], si un repas avait eu lieu à ce moment, l'apport alimentaire aurait probablement été moindre lors de la situation riche en protéines. Le supplément protéique aurait eu un impact à ce moment. Cependant, il est possible que l'apport alimentaire plus élevé de 7% (non-significatif) au souper lors de la situation riche en protéines puisse expliquer cette diminution de la faim.

Nous avons observé une augmentation significative de la dépense énergétique lors de la journée riche en protéines. D'autres études ont aussi noté qu'une alimentation riche en protéines augmentait la dépense énergétique [57, 72]. Cette augmentation de la dépense énergétique serait principalement causée par l'augmentation de l'oxydation des protéines [24]. Celle-ci serait nécessaire car ce serait la seule façon de disposer des excédents alimentaires de protéines qui ne pourraient pas être stockés. Seulement une quantité fixe de protéines servirait quotidiennement à renouveler les tissus musculaires, les excédents étant oxydés [24].

Aucune différence n'a été observée au niveau de l'apport calorique et macronutritionnel de la journée suivant les journées de tests. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Johnstone et al. [39] qui n'ont également observé aucune différence dans l'apport alimentaire la journée suivant un régime riche en protéines. Ils attribuent leurs résultats à une autorégulation de la balance protéique lors de la journée de tests par l'augmentation de l'oxydation des protéines. Ils suggèrent qu'un mécanisme important pouvant influencer l'apport alimentaire est le stress occasionné par un surplus de protéines à oxyder. Lors de la journée suivante, l'oxydation des protéines tendait à revenir vers la normale, tout comme l'apport alimentaire.

Les résultats obtenus pour le QR sont en accord avec la littérature disponible actuellement [20, 36, 71]. Lors de la journée contrôle, le QR des sujets sans surplus de poids était plus faible que le QA de la nourriture ingérée, alors que c'était l'inverse pour les sujets avec surplus de poids. Étant donné que le QR reflète l'oxydation des substrats, les sujets avec surplus de poids se trouvaient à oxyder une plus grande proportion de glucides et à emmagasiner des lipides, alors que c'était l'inverse pour le groupe sans surplus de poids. Lors de la journée riche en protéines, les deux groupes de sujets avaient un QR de 0.82-0.83, correspondant à une plus grande oxydation des protéines, ce qui se reflète bien dans l'augmentation de la dépense énergétique.

### 5.3 Limites de l'étude

La méthode utilisée pour mesurer la dépense énergétique, le QR et le HRV n'était pas idéale. Une seule mesure de 15 minutes a été prise après chaque repas. Or, ces variables évoluent continuellement tout au long de la journée dépendamment de plusieurs facteurs, dont notamment le processus de digestion et d'oxydation des substrats ingérés, des facteurs particulièrement importants à considérer dans les études sur l'apport alimentaire. Il aurait été préférable de prendre plusieurs mesures au courant de la journée pour vraiment voir les variations quotidiennes de ces variables. De cette façon, il aurait été possible de voir à quels moments les différences entre les deux situations sont les plus grandes et pour voir si ces différences persistent pour une plus grande période.

Comme dans la plupart des études sur l'apport alimentaire de type "preload", nous avons eu de la difficulté à rendre les entrées aussi similaires que possible entre les deux situations. Bien que les entrées des situations expérimentales et contrôles aient été comparables à la texture et à la vue, leur goût variait considérablement. D'ailleurs, d'après l'échelle d'appréciation de l'entrée, les sujets ont significativement moins aimé les entrées hyperprotéiques. Il est possible que cette différence ait biaisé nos

résultats, le goût étant un stimulus sensoriel important qui affecte l'apport alimentaire [64].

Cette étude avait comme objectif de mesurer l'impact des protéines sur la satiété et l'apport alimentaire dans des conditions de vie normale. Nos conditions étaient tout à fait normales au niveau de l'heure des repas et au niveau des repas à volonté, qui étaient de composition mixte et composés de mets canadiens usuels. Cependant, les sujets n'avaient pas accès comme à la maison, à une variété d'aliments de différente composition à chaque repas. Pour être plus représentatif de la réalité, nous aurions dû, après l'entrée, offrir aux sujets un buffet contenant une variété d'aliments de différente composition. Par contre, cette façon de procéder aurait eu comme inconvénient d'offrir aux sujets la possibilité de compenser pour les protéines précédemment ingérées. Des études chez le rat ont démontré qu'à partir d'une variété de choix de diètes (ex. 0 et 50%, 15 et 55%, 25 et 65% de protéines), les rats régulent leur apport en protéines à une proportion constante de leur apport alimentaire, c'est à dire entre 33 et 35% [49]. La régulation de l'apport protéique est presque aussi précise que la régulation de l'apport énergétique. Chez l'homme également, des études ont démontré que lorsqu'un choix de nourriture est offert suite à un apport élevé en protéines, il y a alors diminution de la préférence pour la nourriture riche en protéines [26, 31]. Autrement dit, en présence d'un choix de nourriture, le repas riche en protéines induirait une diminution de la préférence pour de la nourriture



riche en protéines [43]. En l'absence de nourriture permettant de compenser pour le surplus de protéines, il y aurait alors diminution de l'apport alimentaire [29]. Donc, pour observer une diminution de l'apport alimentaire, il semble qu'il soit nécessaire de restreindre le choix de nourriture.

#### **5.4 Application des résultats**

Les concepts de l'alimentation sont continuellement en changement. Autrefois, l'accent était mis sur la survie et le contrôle de la faim, puis sur le maintien de la santé. Depuis quelques temps, l'emphase est mise sur l'utilisation de la nourriture pour promouvoir une meilleure santé tout en réduisant le risque de développer certaines maladies chroniques comme les maladies cardiovasculaires, le cancer et l'obésité. Ce nouveau mode de vie a ouvert la porte à une nouvelle science: la science des aliments fonctionnels [48, 60]. Un aliment est dit fonctionnel s'il contient une composante alimentaire qui affecte positivement une ou plusieurs fonctions de l'organisme [48]. C'est-à-dire s'il apporte un bénéfice pour la santé au-delà du traditionnel nutriment qu'il contient. En ce sens, comme nous l'avons vu en introduction, les protéines seraient une importante composante alimentaire fonctionnelle au niveau du contrôle de l'obésité et des maladies cardiovasculaires [47, 62, 73].

En ce qui concerne notre laboratoire, nous nous intéressons plus particulièrement aux aliments fonctionnels susceptibles d'occasionner une diminution de l'apport alimentaire. Nous avons étudié plus particulièrement l'impact des fibres [17], de la capsaïcine [75], et maintenant des protéines sur l'apport alimentaire subséquent. L'objectif ultime est de découvrir la combinaison alimentaire "gagnante", c'est-à-dire la plus rassasiant possible.

Lors de la présente étude, les aliments riches en protéines ont été confectionnés par la compagnie "Advitech Solutions". Même si ce n'était pas vraiment le but de la présente étude, nos entrées étaient à la fois riche en protéines et en fibres et faible en gras, trois éléments susceptibles d'occasionner une baisse de l'apport alimentaire [6, 9, 14, 64].

Un obstacle majeur dans la fabrication d'aliments performants au niveau du potentiel rassasiant est la palatabilité. Comme dans d'autres études sur l'apport alimentaire [55, 75], les entrées riches en protéines de la présente étude ont été significativement moins aimées que les entrées contrôles. La palatabilité des aliments est un important facteur contrôlant l'apport alimentaire [12]. C'est pourquoi il semble y avoir une relation inverse entre la performance des aliments au niveau du potentiel rassasiant et la palatabilité. Plus un aliment est agréable au goût, plus il inhibe l'apport alimentaire.



## CHAPITRE 6

### 6. CONCLUSION

En conclusion, cette étude a démontré que pour une journée, un apport élevé en protéines sous forme d'entrées n'affecte pas la prise alimentaire des repas mixtes servis immédiatement après les entrées, ni la satiété. Cependant, l'apport élevé en protéines pourrait augmenter la dépense énergétique de repos. Par ailleurs, de solides évidences continuent d'émerger pour démontrer que l'ingestion d'un apport élevé en protéines diminue significativement l'apport alimentaire [55, 62, 63]. C'est pourquoi il est fort probable que les préparations d'Advitech Solutions (riches en protéines et en fibres et faibles en gras) puissent réellement diminuer l'apport alimentaire en suivant un autre protocole. Maintenant, pour assurer des résultats à long terme, c'est-à-dire occasionner une perte de poids, il est impératif que ces aliments "performants" soient considérés en tant que partie intégrante d'une alimentation déjà "performante" au plan de la santé (faible en gras, riche en fruits et légumes etc.), et non en tant qu'aliments isolés. Si ces aliments performants comme les préparations d'Advitech Solutions étaient incorporées dans une alimentation santé, elles auraient comme effet de faciliter l'augmentation de l'apport protéique et surtout, par le

fait même, d'aider à l'atteinte d'une balance énergétique négative. Finalement, il faudra toujours se rappeler qu'il n'existe pas de solution miracle pour contrer l'obésité et que la meilleure "combinaison gagnante" sera toujours l'adoption d'une alimentation santé combinée à un mode de vie plus actif.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, et al. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* 1981; 213: 220-222.
2. Appel LJ, Moore TJ, Obarzanek E, et al. A clinical trial of the effects of dietary patterns on blood pressure. *N Engl J Med* 1997; 336: 1117-1124.
3. Barkeling B, Rössner S, Björvell H. Effects of a high-protein meal (meat) and a high-carbohydrate meal (vegetarian) on satiety measured by automated computerized monitoring of subsequent food intake, motivation to eat and food preferences. *Int J Obes* 1990; 14: 743-751.
4. Barzel US, Massey LK. Excess dietary protein can adversely affect bone. *J Nutr* 1998; 128: 1051-1053.
5. Bellisle F, Blundell JE, Dye L, et al. Functional food science and behaviour and psychological functions. *Br J Nutr* 1998; 80: S173-S193.
6. Bingham SA, Gill C, Welch A, et al. Comparison of dietary assessment methods in nutritional epidemiology: weighed records v. 24 h recalls, food-frequency questionnaires and estimated-diet records. *Brit J Nutr* 1994; 72: 619-643.
7. Blankenhorn DH, Johnson RL, Mack WJ, et al. The influence of diet on the appearance of new lesions in human coronary arteries. *JAMA* 1990; 263: 1646-1652.
8. Blum M, Averbuch M, Wolman Y, Aviram A. Protein intake and kidney function in humans: its effect on "normal aging". *Arch Intern Med* 1989; 149: 211-212.
9. Blundell JE, Burley VJ. Satiety, satiety and the action of fibre on food intake. *Int J Obes* 1987; 11: 9-25.



20. Flatt JP. Importance of nutrient balance in body weight regulation. *Diabetes/Metabolism Reviews* 1988; 4: 571-581.
21. Flatt JP. The biochemistry of energy expenditure. *Rec Adv Obes Res* 1978; 11: 211-228.
22. Flatt JP. Use and storage of carbohydrate and fat. *Am J Clin Nutr* 1995; 61: 952S-959S.
23. Fryer JH, Moore NS, Williams HH, Young CM. A study of the interrelationship of energy-yielding nutrients, blood glucose levels and subjective appetite in man. *J Lab Clin Med* 1955; 45: 684-696.
24. Garlick PJ, McNurlan MA, Patlak CS. Adaptation of protein metabolism in relation to limits to high dietary protein intake. *Eur J Clin Nutr* 1999; 53: S34-S43.
25. Geliebter AA. Effects of equicaloric loads of protein, fat, and carbohydrate on food intake in the rat and man. *Physiol Behav* 1979; 22: 267-273.
26. Gibson EL, Wainwright CJ, Booth DA. Disguised protein in lunch after low-protein breakfast conditions food-flavor preferences dependent on recent lack of protein intake. *Physiol Behav* 1995; 58: 363-371.
27. Golay A, Bobbioni E. The role of dietary fat in obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1997; 21: S2-S11.
28. Hannah JS, Dubey AK, Hansen BC. Postingestional effects of a high-protein diet on the regulation of food intake in monkeys. *Am J Clin Nutr* 1990; 52: 320-325.
29. Harper AE, Benevenga NJ, Wohlhueter RM. Effects of ingestion of disproportionate amounts of amino acids. *Physiol Rev* 1970; 50: 428-558.



30. Hill AJ, Blundell JE. Comparison of the action of macronutrients on the expression of appetite in lean and obese human subjects. *Ann N Y Acad Sci* 1990; 575: 529-531.
31. Hill AJ, Blundell JE. Macronutrients and satiety: the effects of a high-protein or high-carbohydrate meal on subjective motivation to eat and food preferences. *Nutr Behav* 1986; 3: 133-144.
32. Hill JO, Melanson EL. Overview of the determinants of overweight and obesity: current evidence and research issues. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: S515-S521.
33. Hirsch J, Leibel RL, Mackintosh R, Aguirre A. Heart rate variability as a measure of autonomic function during weight change in humans. *Am J Physiol* 1991; 261: R1418-R1423.
34. Hoffer LJ, Taveroff A, Hamadeh MJ. Dietary protein restriction alters glucose but not protein metabolism in non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Metabolism* 1998; 47: 1145-1151.
35. Holness MJ. The impact of dietary protein restriction on insulin secretion and action. *Proc Nutr Soc* 1999; 58: 647-653.
36. Jéquier E. Body weight regulation in humans: the importance of nutrient balance. *Int Union Physiol Sci/ Am Physiol Soc* 1993; 8: 273-276.
37. Johnson J, Vickers Z. Effects of flavor and macronutrient composition of food servings on liking, hunger and subsequent intake. *Appetite* 1993; 21: 25-39.
38. Johnson NE, Alcantara EN, Linkswiler H. Effect of level of protein intake on urinary and fecal calcium and calcium retention of young adult males. *J Nutr* 1970; 100: 1425-1430.
39. Johnstone AM, Stubbs RS, Harbron CG. Effect of overfeeding macronutrients on day-to-day food intake in man. *Eur J Clin Nutr* 1996; 50: 418-430.

40. Kamath MV, Fallen EL. Power spectral analysis of heart rate variability: a noninvasive signature of cardiac autonomic function. *Critic Rev Biomed Engin* 1993; 21: 245-311.
41. Kimmel PL, Lew SQ, Bosh JP. Nutrition, ageing and GFR: is age-associated decline inevitable? *Nephrol Dial Transplant* 1996; 11: 85-88.
42. Leibel RL, Rosenbaum M, Hirsch J. Changes in energy expenditure resulting from altered body weight. *N Engl J Med* 1995; 332: 621-628.
43. Li ETS, Anderson GH. *Physiol Behav* 1982; 29: 779-783. Dans *Modern nutrition in health and disease*, 8<sup>e</sup> édition, Philadelphia, 1994, p. 529.
44. Lissner L, Heitmann BL. Dietary fat and obesity: evidence from epidemiology. *Eur J Clin Nutr* 1995; 49: 79-90.
45. Livesay G, Elia M. Estimation of energy expenditure, net carbohydrate utilization, and net fat oxidation and synthesis by indirect calorimetry: Evaluation of errors with special reference to the detailed composition of fuels. *Am J Clin Nutr* 1988; 47: 608-623.
46. Lutz J. Calcium balance and acid-base status of women as affected by increased protein intake and by sodium bicarbonate ingestion. *Am J Clin Nutr* 1984; 39: 281-288.
47. Millward DJ. Optimal intakes of protein in the human diet. *Proc Nutr Soc* 1999; 58: 403-413.
48. Milner JA. Functional foods and health promotion. *J Nutr* 1999; 129: 1395S-1397S.
49. Musten B, Peace D, Anderson GH. *J Nutr* 1974; 104: 563-572. Dans *Modern nutrition in health and disease*, 8<sup>e</sup> édition, Philadelphia, 1994, p. 529.
50. Obarzanek E, Velletri PA, Cutler JA. Dietary protein and blood pressure. *JAMA* 1996; 275: 1598-1603.

51. Pannemans DL, Schaafsma G, Westerterp KR. Calcium excretion, apparent calcium absorption and calcium balance in young and elderly subjects: influence of protein intake. *Br J Nutr* 1997; 77: 721-729.
52. Peters JC, Harper AE. Acute effects of dietary protein on food intake, tissue amino acids, and brain serotonin. *Am J Physiol* 1987; 252: R902-R914.
53. Piatti PM, Monti LD, Magni F, et al. Hypocaloric high-protein diet improves glucose oxidation and spares lean body mass: comparison to hypocaloric high-carbohydrate diet. *Metabolism* 1994; 43: 1481-1487.
54. Picarel-Blanchot F, Alvarez C, Bailbe D, et al. Changes in insulin action and insulin secretion in the rat after dietary restriction early in life: influence of food restriction versus low-protein food restriction. *Metabolism* 1995; 44: 1519-1526.
55. Poppitt SD, McCormack D, Buffenstein R. Short-term effects of macronutrient preloads on appetite and energy intake in lean women. *Physiol Behav* 1998; 64: 279-285.
56. Potter SM. Soy protein and cardiovascular disease: the impact of bioactive components in soy. *Nutr Rev* 1998; 56: 231-235.
57. Robinson SM, Jaccard C, Persaud C, et al. Protein turnover and thermogenesis in response to high-protein and high-carbohydrate feeding in men. *Am J Clin Nutr* 1990; 52: 72-80.
58. Rolls BJ. Carbohydrates, fats, and satiety. *Am J Clin Nutr* 1995; 61 (suppl): 960S-967S.
59. Rolls BJ, Hetherington M, Burley VJ. The specificity of satiety: the influence of foods of different macronutrient content on the development of satiety. *Physiol Behav* 1988; 43: 145-153.
60. Saris WHM, Asp NGL, Björck I, et al. Functional food science and substrate metabolism. *Br J Nutr* 1998; 80: S47-S75.

61. Shah M, McGovern P, French S, Baxter J. Comparison of a low-fat, ad libitum complex-carbohydrate diet with a low-energy diet in moderately obese women. *Am J Clin Nutr* 1994; 59: 980-984.
62. Skov AR, Toubro S, Ronn B, Astrup A. Randomized trial on protein versus carbohydrate in ad libitum fat reduced diet for the treatment of obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1999; 23: 528-536.
63. Stubbs RJ. Macronutrient effects on appetite. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1995; 19: S11-S19.
64. Stubbs RJ. Peripheral signals affecting food intake. *Nutrition* 1999; 15: 614-625.
65. Stubbs RJ, Van Wyk MCW, Johnstone AM, Harbron CG. Breakfasts high in protein, fat or carbohydrate: effect on within-day appetite and energy balance. *Eur J Clin Nutr* 1996; 50: 409-417.
66. Trepstra AHM, Tintelen GV, West CE. The hypocholesterolemic effect of dietary soy protein in rats. *J Nutr* 1982; 112: 810-817.
67. Terpstra AHM, West CE, Fennis JTCM, et al. Hypocholesterolemic effect of dietary soy protein versus casein in rhesus monkeys (*Macaca mulatta*). *Am J Clin Nutr* 1984; 39: 1-7.
68. Walls EK, Koopmans HS. Differential effects of intravenous glucose, amino acids, and lipid on daily food intake in rats. *Am J Physiol* 1992; 262: R225-R234.
69. Walser M. The relationship of dietary protein to kidney disease. *Dans Dietary Proteins in Health and Disease*, Washington DC, GU Liepa, 1992, p. 168-178.
70. Wang MF, Yamamoto S, Chung HM, et al. Antihypercholesterolemic effect of undigested fraction of soybean protein in young female volunteers. *J Nutr Sci Vitaminol* 1995; 41: 187-195.

71. Westerterp KR. Food quotient, respiratory quotient, and energy balance. *Am J Clin Nutr* 1993; 57: 759S-765S.
72. Whitehead JM, McNeill G, Smith JS. The effect of protein intake on 24-h energy expenditure during energy restriction. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1996; 20: 727-732.
73. Wolfe BM. Potential role of raising dietary protein intake for reducing risk of atherosclerosis. *Can J Cardiol* 1995; 11(suppl G): 127G-131G.
74. Wolfe BM, Giovannetti PM. Short-term effects of substituting protein for carbohydrate in the diets of moderately hypercholesterolemic human subjects. *Metabolism* 1991; 40: 338-343.
75. Yoshioka M, St-Pierre S, Suzuki M, Tremblay A. Effects of red pepper added to high-fat and high-carbohydrate meals on energy metabolism and substrate utilisation in Japanese women. *Br J Nutr* 1998; 80: 503-510.





- 15h30 Collation.  
15h45 Échelle de palatabilité.  
Mesure du métabolisme et HRV (15 minutes).  
17h00 Entrée.  
Souper à volonté.  
17h45 Échelle de palatabilité.  
Mesure du métabolisme et HRV (15 minutes).  
18h00 Fin du protocole.

Les risques associés à la participation à cette étude sont à toutes fins pratiques inexistantes. En effet, les sujets doivent demeurer sédentaires durant chaque séance et doivent manger au laboratoire comme ils le feraient à la cafétéria, au restaurant ou à la maison.

Il convient de souligner qu'un sujet peut se retirer de l'étude en tout temps sans préjudice. De plus, il importe également d'insister sur le fait que toute information se rapportant à l'intimité de chaque sujet sera rigoureusement gardée confidentielle.

Je \_\_\_\_\_, déclare que je suis satisfait des informations reçues de la part de \_\_\_\_\_ et accepte de participer à la présente étude.

\_\_\_\_\_  
Signature du sujet

\_\_\_\_\_  
Signature du responsable

\_\_\_\_\_  
Date



## ANNEXE 3

**Quantités d'aliments (entrées)**  
**hyperprotéiques et réguliers**

**Produits réguliers**

produit	Énergie (kcal)	quantité
boisson à l'orange Génération	88	200 g
bouillon de boeuf Campbell	9.3	125 g
crème de poireaux Knorr Express (mélange de soupe instantanée)	45	12 g de poudre + 200 g d'eau
pouding au chocolat Moments	103	99 g
Magiques ultra faible en gras		

**Produits hyperprotéiques**

produit	Énergie (kcal)	quantité d'eau ajouté
boisson à l'orange	82	250 g
bouillon de boeuf	78	200 g
crème de poireaux	96	200 g
pouding au chocolat	72	150 g

### Calcul de la quantité de produit régulier

produit	Calories désirées (kcal)	quantité
boisson à l'orange	82	$82 * 200 / 88 = 186$ g
bouillon de boeuf	78	300 g de bouillon + 6 g d'huile $22$ kcal + $56$ kcal = $78$ kcal
crème de poireaux	96	$96 * 12 / 45 = 26$ g de poudre $96 * 200 / 45 = 427$ g d'eau (changé pour 300 g car trop diluée)
pouding au chocolat	72	$72 * 99 / 103 = 69$ g

### Quantités de produits hyperprotéiques et réguliers

produit	Énergie (kcal)	produit hyperprotéique (quantité)	produit régulier (quantité)
boisson à l'orange	82	250 g d'eau + 24.97 g de poudre	186 g + 64 g d'eau
bouillon de boeuf	78	200 g d'eau + 24.64 g de poudre	300 g de bouillon + 6 g d'huile
crème de poireaux	96	200 g d'eau + 27.12 g de poudre	26 g de poudre + 300 g d'eau
pouding au chocolat	72	150 g d'eau + 25.88 g de poudre	69 g

## ANNEXE 4

### Échelle visuelle analogue

**Consigne:** Pour chaque question, indiquez d'un « / » l'endroit qui correspond le mieux à votre état, en considérant que les deux bouts de l'échelle sont des extrêmes.

**Exemple:** À la question 2, si vous indiquez que vous vous sentez très affamé et placez le trait vertical à l'extrémité droite de l'échelle, cela signifie que vous ne vous êtes jamais senti aussi affamé.

**1. Dans quelle mesure avez-vous envie de manger ?**

\_\_\_\_\_

Envie très faible

Envie très forte

**2. Dans quelle mesure avez-vous l'impression d'avoir faim ?**

\_\_\_\_\_

Je n'ai pas faim du tout

J'ai vraiment très faim

**3. À quel point vous sentez-vous rempli ?**

\_\_\_\_\_

Pas rempli du tout

Très rempli

**4. À votre avis, quelle quantité de nourriture pourriez-vous manger en ce moment ?**

\_\_\_\_\_

Absolument rien

Une grande quantité

**5. Dans quelle mesure avez-vous apprécié cette entrée ?**

\_\_\_\_\_

N'a pas apprécié du tout

Beaucoup apprécié

## ANNEXE 5

### Protocole lors de chaque journée de test

- 7h20 Arrivée du sujet  
 7h30 Repos sur un lit  
 7h45 Mesure de la dépense énergétique, du QR et du HRV  
 8h00 Échelle visuelle analogue de satiété (T-30)  
 Entrée  
 Échelle visuelle analogue de satiété et de palatabilité (T0)  
 Déjeuner à volonté  
 Échelle visuelle analogue de satiété et de palatabilité (T1)  
 Mesure de la dépense énergétique, du QR et du HRV  
 Échelle visuelle aux 30 minutes (T30, T60, T90, T120, T150, T180)  
 12h00 Échelle visuelle analogue de satiété (T-30)  
 Entrée  
 Échelle visuelle analogue de satiété et de palatabilité (T0)  
 Dîner à volonté  
 Échelle visuelle analogue de satiété et de palatabilité (T1)  
 Mesure de la dépense énergétique, du QR et du HRV  
 Échelle visuelle aux 30 minutes (T30, T60, T90, T120, T150)  
 15h30 Échelle visuelle analogue de satiété (T-30)  
 Collation  
 Échelle visuelle analogue de satiété et de palatabilité (T1)  
 Échelle visuelle aux 30 minutes (T30, T60)  
 17h00 Échelle visuelle analogue de satiété (T-30)  
 Entrée  
 Échelle visuelle analogue de satiété et de palatabilité (T0)  
 Souper à volonté  
 Échelle visuelle analogue de satiété et de palatabilité(T1)  
 Mesure de la dépense énergétique, du QR et du HRV  
 Échelle visuelle aux 30 minutes (T30, T60, T90, T120, T150, T180)

Journée suivante: journal alimentaire de 24 heures

Fin du protocole