

Matthieu Maillot



Université Paris-Sud
Faculté de Médecine du Kremlin-Bicêtre

Master professionnalisant de Santé Publique
« Méthodologie et Statistique en Recherche biomédicale »
Promotion 2004-2005

Unité mixte : Unité 557 INSERM / Unité 1125 INRA / EA 3200 CNAM



Intitulé : "Unité de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle"

Rapport de stage :

**Y a-t-il un lien entre la qualité
nutritionnelle de l'alimentation et
son coût ?**

Directeur du Master : Professeur Bruno Falissard
Responsable de Stage : Mme Nicole Darmon
Directeur de l'Unité Inserm 557 : Docteur Serge Hercberg
Période de stage : Avril à septembre 2005

Remerciements

Je tiens à adresser mes plus vifs remerciements au directeur de l'Unité 557 de l'Inserm (Unité de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle), le Dr Serge Hercberg, et surtout à Mme Nicole Darmon, ma responsable de stage, et à M. le Professeur Adam Drewnowski, de l'Université de Washington à Seattle, pour sa contribution scientifique et le financement de mon stage. Je remercie Je remercie également tous les employés de l'unité qui m'ont accueilli et qui m'ont aidé dans mon travail, notamment Mme Emmanuelle Kesse pour la réalisation de méthodes statistiques ainsi que Mr Philippe Rouiller pour la modélisation et les procédures SAS. Encore tous mes remerciements à ma responsable de stage pour sa présence, pour la confiance qu'elle m'a accordée et pour avoir répondu à toutes mes questions. Je remercie également M. le Professeur Bruno Falissard (Directeur du Master) qui était toujours disponible pour répondre à mes interrogations d'ordre statistique.

Résumé

Objectifs.

Etudier la relation entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût et analyser le rôle de la structure des prix alimentaires et des choix alimentaires individuels dans cette relation.

Données et variables actives.

Les données utilisées sont issues de l'étude SU.VI.MAX : il s'agit d'une part, d'une table de composition nutritionnelle des aliments et de leur prix moyen dans le commerce et, d'autre part, des données relatives à la consommation de ces aliments par 4639 adultes. Pour chaque volontaire, on a calculé un coût journalier de ration alimentaire (en €/j) ainsi que le coût d'un apport énergétique donné, égal à 10MJ, ou «coût de l'énergie» (en €/10MJ). La (bonne) qualité nutritionnelle de chaque ration a été estimée à l'aide d'un indicateur appelé SAIN (Score d'Adéquation Individuel aux recommandations Nutritionnelles), qui correspond à la couverture moyenne des besoins journaliers en 14 nutriments. On a aussi estimé la "mauvaise" qualité nutritionnelle à l'aide de deux indicateurs : d'une part la densité énergétique de l'alimentation (en MJ/kg), et, d'autre part, un score appelé SCI, ou Score de Composés Indésirables.

Analyses statistiques.

1. On a d'abord estimé, par sexe, la corrélation partielle entre le coût de l'énergie d'une part, et les indicateurs de bonne et mauvaise qualité nutritionnelle d'autre part, dans un modèle multivarié, ajusté pour les apports énergétiques, l'âge, l'alcool, le statut tabagique, le niveau d'éducation et l'activité physique.
2. On a ensuite testé l'existence d'une hiérarchie «qualité nutritionnelle/prix» entre 7 grands groupes d'aliments : «viandes/œufs/poissons», «fruits et légumes», «plats cuisinés», «produits laitiers», «produits gras-sucrés, gras-salés», «féculents», «matières grasses». Le coût de l'énergie, le SAIN/10MJ et le SCI/10MJ ont été estimés pour chaque groupe, et ces moyennes ont été comparées entre elles à l'aide d'une régression linéaire multiple. On a aussi comparé, à l'aide d'un test de Student, les valeurs prises par ces 3 variables selon qu'elles ont été calculées à partir des consommations des volontaires ou à partir de la table de composition des aliments.
3. On a enfin recherché s'il existait une relation entre la qualité nutritionnelle des aliments et leur prix, au sein d'un même groupe d'aliments. Ceci a été réalisé pour trois groupes («viandes/œufs/poissons», «produits laitiers», «féculents»), à l'aide d'une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), précédée d'une Analyse en Composante Principale sur quatre variables actives : le coût de l'énergie, le SAIN/10MJ, le SCI/10MJ et la densité énergétique.

Résultats.

1. Une relation positive entre la qualité nutritionnelle et le coût de l'énergie a été observée. Ainsi, plus les individus dépensent pour acquérir une quantité d'énergie donnée, plus ils obtiennent en retour une alimentation riche en nutriments et de faible densité énergétique, conforme aux recommandations actuelles en matière d'alimentation.

2. Une hiérarchie «qualité nutritionnelle/prix» a été observée entre les grands groupes d'aliments. Globalement, les groupes qui sont des sources chères d'énergie (coût d'énergie élevé) ont une qualité nutritionnelle (SAIN/10MJ) élevée pour une teneur en composés indésirables (SCI/10MJ) relativement faible : c'est le cas des «viandes/œufs/poissons» et des «fruits et légumes». Réciproquement, les groupes qui sont des sources d'énergie bon marché (faible coût d'énergie) ont un SAIN/10MJ faible et un SCI/10MJ relativement élevé : c'est le cas des «produits gras-sucrés gras-salés» et des «matières grasses». Les « produits laitiers » et les « plats cuisinés » occupent une position intermédiaire dans cette hiérarchie : ils ont un coût d'énergie moyen, un NAS/10MJ moyen, et un SCI/10MJ moyen également. Les «féculents» constituent une exception, dans la mesure où leur SCI/10 MJ est plus faible que ce qui serait attendu compte tenu de leur faible coût d'énergie. Quel que soit le groupe, la qualité nutritionnelle et le coût d'énergie sont toujours plus élevés quand les analyses sont faites à partir des aliments tels que consommés ou tels que disponibles dans la table de composition, suggérant qu'au sein de chaque groupe, les individus délaissent les aliments les plus chers et les plus riches en nutriments.

3. La classification des aliments a montré qu'il existait des aliments de bon rapport qualité prix au sein de chaque groupe. Le lait au sein des « produits laitiers », les poissons et les abats (foie et cervelle) au sein des « viandes/œufs/poissons » et les pâtes (complètes ou non), le riz (complet ou non), la semoule, le pain de campagne et les légumes secs au sein des « féculents » sont les aliments de meilleur rapport qualité-prix.

Conclusion.

Le coût de l'alimentation est directement relié à sa qualité nutritionnelle. Ceci est dû à la structure même des prix alimentaires, puisque les groupes d'aliments qui sont les sources d'énergie les plus chères sont aussi les plus riches en nutriments essentiels. Au sein de chaque groupe, les individus semblent sélectionner les aliments les moins chers mais aussi les moins riches en nutriments essentiels. Pourtant, il existe, dans chaque groupe, des aliments de bonne qualité nutritionnelle pour un prix moyen. En donnant la préférence à ces aliments, il doit être possible d'obtenir une alimentation de bonne qualité nutritionnelle pour un coût modéré.

Summary

Objectives

To study the relation between the nutritional quality of diet and its cost and to analyze the role of the structure of food prices and of individual food choices in this relation.

Data and variables

Data from the SU.VI.MAX study were used: on the one hand, of nutritional composition table of foods and their average retail prices and, on the other hand, data relating to the consumption of these foods by 4639 adults. A daily diet cost (in €/j) was calculated for each volunteer, as well as the "energy cost" (in €/10MJ), i.e. the cost of a given quantity of energy, namely 10MJ. The (good) nutritional quality of each diet was estimated using an indicator called NAS (Nutrient Adequacy Score), which corresponds to the mean coverage of the daily needs for 14 nutrients. The "bad" nutritional quality was estimated with two indicators: dietary energy density (in MJ/kg) and a score called UCS, Undesirable Component Score.

Statistical analyses

1. The partial correlation coefficient between energy cost and the indicators of good and bad nutritional quality, was estimated by sex, in a multivariate model, adjusted for energy intake, age, alcohol and tobacco consumption, the level of education and of physical activity.
2. We then tested the existence of a "nutritional quality/cost" hierarchy between 7 food groups: "meats/eggs/fish", "fruit and vegetables", "cooked dishes", "dairy products", "fatty-sweetened-salted products", "starchy foods" and "added fats". Energy cost, NAS/10MJ and UCS/10MJ were estimated for each group, and the means were compared between groups, using a multiple linear regression. We also compared, using a Student test, the values taken by these 3 variables according to whether they were calculated starting from the food actually consumed by volunteers or starting from the food composition table.
3. We finally explored whether a relationship between cost and nutritional quality also exists between foods, within each food group. Principal Components Analysis (PCA) and cluster analysis (CA) were used in 3 food groups: «meats/eggs/fish», «daily products», «starchy foods».

Results

1. A positive relationship was observed between the nutritional quality of diets and their cost. At a given level of energy intake, nutrient quality increased and energy density decreased when energy cost increased.
2. A "nutritional quality/price" hierarchy was observed between food groups. Food groups which had a high energy cost also had a high nutritional quality (SAIN/10MJ) and a relatively low content of undesirable compounds (SCI/10MJ): this was the case for the "meats/eggs/fish" group and for the "fruit and vegetables" group. Reciprocally, food groups which were cheap sources of energy had a low NAS/10MJ and a relatively high UCS/10MJ: this was the case for the "fatty-sweetened-salted products" and for "added fats". The "dairy products" and the "cooked dishes" were intermediate within this hierarchy: they had an average energy cost, an average NAS/10MJ, and also an average SCI/10MJ. The "starchy foods" had an UCS/10MJ much lower than expected for their low energy cost. Whatever the group, NAS/10MJ and energy cost were higher when they were calculated from the food consumption data (i.e., actually consumed foods) than from the food composition data (i.e. the foods available in the food composition table). This suggests that within each food group, individuals forsake the most expensive and nutrient-rich foods.
3. The classification of foods showed that, within each food group, one can find some foods of good nutritional quality/price ratio. Milk within the "dairy products", fish and offals (liver and brain) within the "meats/eggs/fish" and pasta, rice, semolina, bread and legumes within the "starchy foods" were the foods with the best quality/price ratio.

Conclusion

Diet cost is positively linked to nutritional quality. This is due to, at least in part, to the structure of the food prices, since food groups which are the most expensive sources of energy are also the richest in essential nutrients. Within each food group, individuals seem to select the least expensive foods but also the poorer in essential nutrients. However, in each food group, some foods have a good nutritional quality for an average price. By selecting these foods in priority, it may be possible to decrease the cost of nutritious diets.

Sommaire

Remerciements	p.2
Résumé	p.3
Summary	p.5
Présentation de l'inserm	p.8
INTRODUCTION	p.9
Présentation de l'étude SU.VI.MAX.	p.13

I. Analyse de la corrélation entre coût et qualité nutritionnelle des régimes alimentaires des volontaires SU.VI.MAX.....p.15

A. Méthodes	p.15
1. Données	p.15
2. Indicateurs	p.17
3. Analyse statistique	p.20
B. Résultats	p.21
C. Discussion	p.28
Annexe 1.1	p.63
Annexe 1.2	p.64

II. Le coût et la qualité nutritionnelle des rations consommés par les volontaires SU.VI.MAX : quelle hiérarchie ?.....p.30

A. Méthodes	p.30
1. Données	p.30
2. Groupes d'aliments et indicateurs	p.31
3. Analyse statistique	p.37
B. Résultats	p.38
C. Discussion	p.45

III. Classification des aliments en terme de coût et de qualité.....P.48

A. Méthodes	p.49
1. Données et variables actives	p.49
2. Analyse statistique	p.51
B. Résultats	p.52
1. Résultats de l'ACP et de la CAH des « produits laitiers »	p.52
2. Résultats finaux des CAH sur les 2 groupes d'aliments : « viandes/œufs/poissons » et « féculents »	p.56
C. Discussion	p.58
Annexe 3.1	p.65
Annexe 3.2	p.66
Annexe 3.4	p.71
Annexe 3.4	p.72
Annexe 3.5	p.75

CONCLUSION _____ p.61

Présentation de l'INSERM

L'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, l'Inserm est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST). Placé sous la double tutelle du ministère de la recherche et du ministère de la santé, l'Inserm contribue, par la recherche, à mieux connaître et à améliorer la santé de l'homme. De la biologie fondamentale à la santé publique, l'Inserm a pour champ de compétences toutes les dimensions fondamentales, médicales, cognitives, cliniques ou appliquées et en santé publique de la recherche et doit en dynamiser la continuité.

Cet institut de recherche est organisé autour de deux pôles :

- une administration qui regroupe la Direction Générale, le secrétariat général, les départements, les services et les Administrations Déléguées Régionales (ADR),
- une structure de recherche contenant 261 Unités de recherche, 87 équipes de recherche, 8 services communs, 65 Institut Fédératifs de Recherche et 21 Centres d'Investigation Clinique.

J'ai effectué mon stage à l'Unité 557 de l'INSERM. Cette Unité fait partie d'une Unité Mixte de Recherche, placée sous la tutelle non seulement de l'INSERM mais aussi du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) et de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) : Unité 557 INSERM / Unité 1125 INRA / EA 3200 CNAM. Cette unité mixte est intitulée "Unité de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle" (UREN).

L'UREN est elle-même hébergée au sein de l'Institut Scientifique et Technique de la Nutrition et de l'Alimentation (ISTNA), qui remplit 3 missions dans le cadre de 3 structures complémentaires :

- Mission de Recherche : études épidémiologiques et interventions de santé publique dans le domaine des relations entre l'alimentation et la santé, dans le cadre des activités de l'UREN (voir ci-dessus).
- Mission de Surveillance : enquêtes en populations en vue d'exercer un suivi de l'état nutritionnel des Français, dans le cadre des activités de l'Unité de Surveillance et d'Epidémiologie Nutritionnelle (USEN, sous la double tutelle de l'Institut de la Veille Sanitaire et du CNAM).
- Mission de Formation : diffusion des connaissances en Nutrition et Santé Publique, dans le cadre de modules de formations délivrées au CNAM



INTRODUCTION

Ma responsable de stage, Mme Nicole Darmon, est responsable, au sein de l'UREN (Unité de Recherche en Epidémiologie Nutritionnelle), de la thématique Nutrition et Précarité en France. Elle s'intéresse en particulier au lien existant entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût. Le surpoids et l'obésité représentent depuis quelques années un grave problème de santé publique. Ce sont des facteurs de risque pour de nombreuses maladies, telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète et certains cancers. La prévalence du surpoids et de l'obésité est en constante augmentation dans tous les pays industrialisés. Les catégories de population les plus touchées par l'obésité sont les plus pauvres.

Une consommation excessive d'aliments riches en graisses et/ou en sucre est actuellement mise en cause dans l'obésité car ces aliments favorisent un bilan d'énergie positif, en raison de leur forte palatabilité, de leur faible pouvoir rassasiant et de leur forte densité énergétique (quantité d'énergie par unité de poids). En revanche, les aliments conseillés dans le cadre d'une alimentation équilibrée ont une densité énergétique faible (fruits et légumes par exemple) ou modérée (produits céréaliers complets, poisson, produits carnés et laitiers non gras), et sont préconisés pour prévenir le gain de poids.

La grande disponibilité et le faible coût des aliments riches en graisses et en sucre sont de plus en plus souvent invoqués, notamment par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), pour expliquer l'augmentation actuelle de la prévalence de l'obésité.

L'équipe Nutrition et Précarité a précédemment mis en évidence une relation inverse entre qualité nutritionnelle et coût de l'alimentation à l'aide de données issues de l'enquête Val-de-Marne¹ (1988 et 1989). Pour un même niveau d'apport énergétique, un coût de ration plus élevé était associé à une plus faible densité énergétique², à une plus faible consommation de fruits et légumes³, et à de plus forts apports en vitamines et minéraux. En d'autres termes, les personnes qui achètent leur énergie plus cher ont généralement une alimentation de meilleure qualité nutritionnelle. Ces résultats pourraient contribuer à fournir une explication économique au fait que l'obésité est plus répandue dans les catégories les plus défavorisées de la société que dans les catégories de fort statut socio-économique.

Entre 1994 et 2002, une grande étude a été menée par le directeur de l'Unité 557 de l'Inserm, Serge Hercberg, pour mesurer l'effet préventif chez l'adulte d'une supplémentation en vitamines et minéraux antioxydants. Cette étude a abouti à la création d'une base de données très complète et fiable contenant le détail de l'alimentation des individus ainsi que des données anthropométriques et cliniques. L'objectif principal de ce stage était d'étudier, à l'aide des données épidémiologiques de SUVIMAX, la relation entre le coût et la qualité de l'alimentation.

Afin de tester le lien possible entre une alimentation saine, c'est à dire riche en nutriments essentiels, et les dépenses consacrées à cette alimentation, nous avons estimé la qualité nutritionnelle à l'aide de divers indicateurs de qualité et les dépenses alimentaires à l'aide du prix moyen de vente au détail des aliments en France. La relation qualité nutritionnelle/prix a été étudiée à trois niveaux de détail, correspondant à trois analyses différentes. Au premier niveau, l'alimentation est considérée dans sa globalité : on étudie des "rations" alimentaires journalières, c'est à dire l'ensemble des aliments consommés en moyenne par chaque individu chaque jour. Au second niveau de détail, l'alimentation est divisée en 7 grands groupes d'aliments et on s'intéresse à la position relative de chacun de ces groupes dans la relation qualité nutritionnelle/prix de l'alimentation. Au niveau le plus fin de détail, on s'intéresse aux aliments eux-mêmes, et on cherche à identifier les aliments de meilleur rapport "qualité nutritionnelle/prix" au sein de chaque groupe.

Les trois analyses ont été réalisées à partir des données de l'étude SU.VI.MAX. (détaillée plus loin) qui ont l'avantage de décrire un grand nombre d'aliments et également les consommations alimentaires des volontaires.

La première analyse a consisté à tester la corrélation partielle entre d'une part, un indicateur de coût de l'alimentation et d'autre part un indicateur de bonne qualité nutritionnelle, un indicateur de mauvaise qualité nutritionnelle et la densité énergétique (habituellement utilisée comme marqueur de mauvaise qualité nutritionnelle) observés chez les individus. Le premier correspond au coût des rations consommées pour un apport énergétique donné. En effet, pour un nutritionniste la qualité nutritionnelle s'exprime par unité d'énergie, l'énergie étant le premier besoin nutritionnel incompressible des individus. Les autres indicateurs sont des scores d'adéquation aux recommandations nutritionnelles. D'autres équipes de recherche⁴ ont construit des indicateurs similaires mais avec des objectifs différents. Dans les études alimentaires, l'énergie en MJ, en tant que variable, est corrélée de façon importante à beaucoup d'autres variables de l'analyse. Nous avons donc utilisé des

méthodes statistiques comme les modèles de régression linéaire multiple (qui permettent de supprimer les effets de facteurs de confusion) afin de limiter les biais d'estimation. L'année passée, j'avais réalisé un travail sur ces mêmes variables en les analysant deux à deux. Ce travail m'a amené à écrire un abstract et un poster en collaboration avec ma responsable de stage Nicole Darmon et le Professeur Adam Drewnowski (Professeur d'épidémiologie et de médecine à l'université de Washington à Seattle) qui m'a conduit à le présenter au congrès annuel FASEB (Federation of the American Societies for Experimental Biology), à San Diego, le 4 avril 2005. Ce travail a également été présenté à Rome (International Conference Health Benefits of Mediterranean Style Diet), en mai 2005.

La deuxième étude consiste également à analyser les liens entre coût de l'énergie et qualité nutritionnelle, mais en considérant les grands groupes et sous-groupes d'aliments, et non plus l'alimentation dans son ensemble. L'objectif est de mieux comprendre les relations observées dans la première étude, notamment en cherchant à identifier si ces résultats sont dus à la structure même des prix alimentaires et des compositions nutritionnelles de ces aliments, ou sont plutôt dues au choix alimentaires faits par les individus parmi les aliments disponibles. Les consommations alimentaires ont été analysées par groupe, ce qui fait l'originalité de cette seconde analyse. La méthodologie utilisée consiste à comparer des moyennes à l'aide d'un modèle linéaire. Deux méthodes de calcul des variables d'intérêt ont été comparées : l'une en prenant les participants de l'étude SU.VI.MAX. comme individu statistique, l'autre en prenant les aliments de la table comme individu statistique.

Enfin, dans la troisième partie nous nous intéresserons aux aliments en tant que tels. La question est de savoir si, au sein des groupes d'aliments eux-mêmes, on trouve une hiérarchie coût et qualité entre les aliments. En effet, si les meilleurs aliments sont également les plus chers, il semble difficile d'avoir un régime alimentaire bon marché et de bonne qualité nutritionnelle. L'étude de ces corrélations à partir de la table de composition des aliments de SU.VI.MAX. a fait partie de celle présentée à San Diego au congrès FASEB. On avait observé un lien positif entre aliments de bonne qualité nutritionnelle et prix des aliments pour un apport énergétique donné. Cependant, faire des statistiques à partir d'une table de composition des aliments n'est pas vraiment licite car les aliments présents dans la table n'ont pas été tirés au hasard mais au contraire représentent de la façon la plus exhaustive possible les aliments consommés par les individus, que ceux-ci soient rarement consommés (comme la cervelle) ou au contraire très fréquemment consommés (comme le pain ou le lait). Dans la présente étude, notre objectif est d'affiner l'analyse des aliments en terme de coût et de

qualité nutritionnelle. Ainsi, nous réaliserons une classification des aliments afin de détecter ceux ayant le meilleur rapport qualité-prix et le plus mauvais. La méthode utilisée fait appel à deux techniques statistiques largement utilisées dans la classification, à savoir, l'Analyse en Composante Principale (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

Etant très intéressé par la programmation SAS, et désireux d'utiliser de nouveaux outils SAS, j'ai programmé plusieurs macros permettant d'automatiser l'ACP ainsi que la classification statistique. Certaines de ces macros créent des graphiques facilitant l'interprétation des résultats. Tout le programme fonctionne, néanmoins, pour une raison de temps, l'outil créé n'est pas complètement terminé c'est à dire qu'il n'envisage peut être pas tous les cas possibles. Je compte tout de même finir cet outil dans le futur.

Les deux premières parties devraient faire l'objet de publication dans le futur car les articles sont en cours d'écriture.

¹ Nicole Darmon et al., **Energy-dense diets are associated with lower diet costs: a community study of French adults.** *Public Health Nutrition*, 2003.

² Darmon N, Briend A, Drewnowski A. Energy-dense diets are associated with lower diet costs: A community study of French adults. *Publ.Health Nutr.* 2004;7:21-7.

³ Drewnowski A, Darmon N, Briend A. Replacing fats and sweets with vegetables and fruit – a question of cost. *Am J Pub Health.* 2004; 94:1555-1559.

⁴ Hatloy A, Torheim LE, Oshaug A. Food variety--a good indicator of nutritional adequacy of the diet? A case study from an urban area in Mali, West Africa. *Eur J Clin Nutr* 1998;52:891-8.

Scheidt DM, Daniel E. Composite index for aggregating nutrient density using food labels: ratio of recommended to restricted food components. *J Nutr Educ Behav.* 2004;36:35-9.

Présentation de l'étude SU.VI.MAX (SUpplémentation en Vitamines et Minéraux AntioXydants)

Méthodologie de l'étude SU.VI.MAX.

SU.VI.MAX a débuté en France en octobre 1994. C'est une étude longitudinale réalisée au sein d'un groupe de population avec essai d'intervention (randomisé en double aveugle contre placebo). Le projet SU.VI.MAX a été approuvé par le Comité Consultatif pour la Protection des Personnes se prêtant à la Recherche Biomédicale de Paris Cochin et par la "Commission Nationale Informatique et Liberté".

Les objectifs spécifiques de l'étude SU.VI.MAX sont de :

- préciser les relations existant entre l'alimentation et la santé en France,
- mesurer et quantifier par un essai contrôlé l'effet préventif, chez l'adulte, d'une supplémentation en vitamines et minéraux antioxydants pour réduire l'incidence des pathologies cardio-vasculaires et des cancers, et de la mortalité qui leur est consécutive.

La supplémentation utilisée est une association nutriments antioxydants : bêta-carotène (forme végétale de la vitamine A), zinc, sélénium, vitamines E et C, et se fait de façon quotidienne (placebo ou principe actif). L'attribution du type de supplément a été faite, en double insu, par tirage au sort, stratifié sur le sexe, la classe d'âge, certains facteurs de risque des pathologies considérées (tabagisme), ainsi que le lieu de résidence. La durée de la surveillance a été fixée à huit ans.

Nutriments et doses

Les quantités journalières, ajoutées aux apports naturels par l'alimentation, permettent d'assurer des apports en ces nutriments qui se situent entre 1 et 3 fois les apports nutritionnels recommandés. Ces doses correspondent à des niveaux non pharmacologiques, dénués de toxicité.

Critères de jugement

L'efficacité de l'intervention est jugée sur quatre critères principaux :

- la mortalité globale,
- l'incidence des cancers, tous sites confondus,
- l'incidence de l'infarctus du myocarde,
- l'incidence de la cataracte.

Les critères de jugement secondaires sont :

- la mortalité par cancer et l'incidence de certaines localisations cancéreuses,
- la mortalité par cardiopathie ischémique et par mort subite de cause inconnue,
- l'incidence de l'angor.

Effectifs de la cohorte

L'étude SU.VI.MAX implique 12 735 sujets adultes volontaires : 7679 femmes et 5056 hommes. A l'inclusion, les hommes étaient âgés de 45 à 60 ans et les femmes âgées de 35 à 60 ans. Ces volontaires ont été recrutés à partir d'un panel de 80 000 volontaires sélectionnés au niveau national par une campagne multimédia (télévision, radio, presse écrite nationale et régionale). Une pré-enquête a permis de tester la capacité d'adhésion au protocole des sujets volontaires, et de recueillir les renseignements nécessaires à la constitution de la cohorte. Les caractéristiques initiales suggèrent que la composition approche le plus possible celle de la population nationale pour les classes d'âge concernées en termes de densité géographique et de statut socio-économique.

La surveillance des évènements santé et de la consommation alimentaire

La surveillance repose sur l'utilisation du minitel optimisé par un boîtier périphérique (processeur, mémoire et logiciels), remis à tous les volontaires. Les données saisies sont téléchargées sur un serveur. Tous les événements de santé, l'observance et la morbidité ressentie sont recueillis chaque mois sur le boîtier minitel. En cas de besoin, un questionnaire détaillé est envoyé par voie postale.

La consommation alimentaire est évaluée un jour tous les deux mois (sous forme d'un enregistrement de l'alimentation pendant 24 heures) et saisie sur un boîtier télématique spécifiquement conçu pour l'étude, contenant des logiciels adaptés, donné gratuitement à l'inclusion. Pour les aider à remplir leur questionnaire télématique, les sujets ont reçu un manuel permettant de coder les différents aliments consommés et comprenant des photographies, afin de permettre l'estimation aisée de la taille des portions alimentaires. Les aliments sont présentés sur les photographies en trois tailles, ce qui permet avec les positions intermédiaires et les extrêmes sept choix de quantités.

La surveillance clinique

Un contact direct entre les volontaires et les équipes médicales SU.VI.MAX. en vue du bilan clinique et para clinique a lieu tous les 2 ans. Le suivi médical des volontaires est assuré par des équipes médicales qui se déplacent à bord de 2 unités mobiles spécialement aménagées à cet effet, qui stationnent dans les centres hospitaliers de 65 villes-étapes. A l'occasion de ce contact, est réalisé un bilan médical comprenant : examen clinique, ECG, prise de Tension Artérielle, mesures anthropométriques, Hemocult, frottis cervico-vaginal, mammographie 4 incidences (pour les femmes de >50 ans).

La surveillance biologique

La surveillance biologique est effectuée tous les 2 ans (prélèvement, le matin à jeun, de 35 ml de sang veineux réalisé sur Vacutainer stérile), en alternance avec le bilan clinique, dans les deux même unités mobiles qui sillonnent les 65 villes-étapes retenues. Les paramètres dosés sont les suivants :

- vitamines antioxydantes (bétacarotène, rétinol, vitamine C et E sérique),
- oligo-éléments antioxydants (zinc et sélénium sérique),
- biologie sanguine : hémoglobine, glycémie, iodurie, bilan lipidique.

I. Analyse de la corrélation entre coût et qualité nutritionnelle des régimes alimentaires des volontaires SU.VI.MAX.

Dans cette première étude, nous avons testé l'hypothèse que le coût des rations des volontaires SU.VI.MAX. était corrélé positivement à une variable mesurant la bonne qualité nutritionnelle et négativement à une variable mesurant la mauvaise qualité nutritionnelle. Il nous a tout d'abord fallu construire l'indicateur de coût, de bonne et de mauvaise qualité nutritionnelle.

A. Méthodes

1. Données

Les individus sont issus de l'étude SU.VI.MAX. qui s'est déroulée de 1994 à 2002. Tous les volontaires de cette étude ont été suivis pendant huit ans avec, tous les deux mois, un questionnaire à remplir concernant leur consommation alimentaire des dernières 24 heures. Les données alimentaires sont présentées sous deux formes : une table répertoriant 691 aliments avec, pour 100g, la totalité des apports nutritionnels correspondant ainsi que leur prix (en €), et une table comprenant tous les individus et la quantité (en masse et en énergie) de chaque aliment qu'ils ont consommé.

Les données SECODIP de 1997 ont permis d'attribuer un prix moyen, que l'on appelle prix du commerce, à la majorité des aliments. Pour certains aliments composés (cas de 76 aliments, y compris la sauce blanche et la sauce béchamel), des prix dans le commerce n'étaient pas disponibles et ont dû être calculés à partir des "recettes" issues de la table SU.VI.MAX (i.e. décomposition des aliments composés en aliments simples). Dans ce cas, le prix est calculé en faisant la somme des prix de chaque composant, pondérée par la quantité de chaque composant dans la recette. Ces prix moyens nous ont permis d'estimer les dépenses alimentaires des individus.

L'eau, les produits diététiques et les boissons alcoolisées ne sont pas pris en compte dans le calcul des consommations alimentaires des volontaires. Connaissant la forte variabilité intra-individuelle des consommations alimentaires journalières, nous avons sélectionné les volontaires ayant répondu à six questionnaires alimentaires minimum. De plus, pour limiter la variabilité liée à l'évolution des comportements au cours du temps, nous n'avons gardé parmi ces individus que ceux qui avaient répondu au cours des 18 premiers mois de l'enquête. Ainsi, nous pensons avoir extrait les volontaires dont l'hétérogénéité des comportements est limitée au cours du temps.

Parmi les 12735 volontaires, nous en avons sélectionné 6167. Dans l'étude SUVIMAX, la grande majorité des individus sont âgés entre 45 ans et 65 ans. Or il se trouve que dans cet échantillon, 1235 femmes et 59 hommes ont moins de 45 ans. Nous avons supprimé ces volontaires afin de pouvoir comparer les hommes et les femmes de la même tranche d'âge. De plus, les femmes de moins de 45 ans sont différentes des plus âgées. Parmi les 4873 individus restants, nous avons supprimé tous ceux ayant des valeurs manquantes, ce qui représentait 234 individus soit 4,8%.

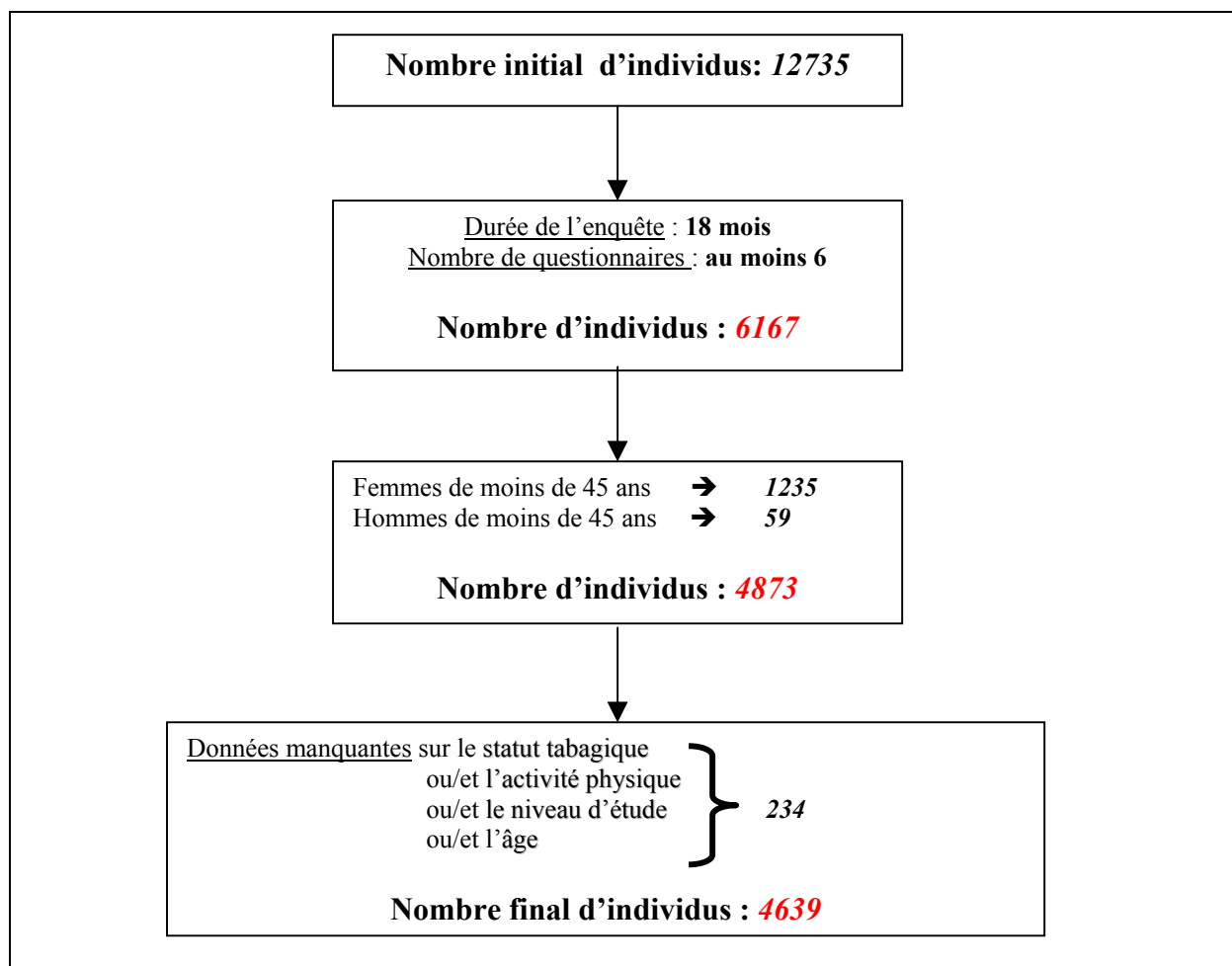


Figure 1. Schéma de la sélection de l'échantillon.

2. Indicateurs

L'apport énergétique et le coût des rations sont calculés sur l'ensemble des questionnaires alimentaires. Or un questionnaire alimentaire équivaut à un jour, ce qui nous conduit à exprimer les valeurs moyennes du coût et de l'apport énergétique par jour.

❖ Apport énergétique journalier (AE_i), en MJ/j :

Pour un individu i , l'apport énergétique correspond à la somme des énergies fournies par les quantités d'aliments consommés. Dans la table des aliments, la teneur en énergie est donnée pour 100g.

$$AE_i = \sum_{j=1}^{j=J} \text{quantité}_{ij} * de_j / NE_i$$

où quantité_{ij} est la masse en Kg de l'aliment j consommé par l'individu i , où de_j est la densité énergétique (en MJ/Kg) de l'aliment j et où NE_i est le nombre d'enquêtes (rappels de 24h) remplies par l'individu i .

❖ Coût alimentaire par jour ($COUT_i$), en €/j :

Le coût des rations est calculé comme la somme des coûts (€/100g) des aliments consommés pondérée par la quantité consommée de chaque aliment.

$$COUT_i = \sum_{j=1}^{j=J} (\text{quantité}_{ij} * \text{prix}_j) / NE_i$$

où quantité_{ij} est la masse en Kg de l'aliment j consommé par l'individu i , où prix_j est le prix (en €/Kg) de l'aliment j et NE_i est le nombre d'enquêtes de l'individu i .

Dans les études passées, la densité énergétique des rations alimentaires était utilisée comme un indicateur de mauvaise qualité nutritionnelle, en considérant que des rations denses en énergie sont de moins bonne qualité que les rations de faible densité énergétique. En effet, les fruits et légumes ne sont pas denses en énergie alors que les matières grasses et les produits sucrés le sont. De plus, les rations denses favorisent la sur-consommation d'énergie et donc le surpoids et l'obésité. Nous souhaitons bien sûr vérifier l'hypothèse que la densité énergétique des rations est inversement corrélée au coût de l'énergie (en €/10MJ), que l'on utilise comme indicateur de coût

❖ Densité énergétique (DE_i), en MJ/Kg :

$$DE_i = AE_i / \text{quantité}_i$$

où AE_i est l'apport énergétique journalier de l'individu i et où quantité_i est la quantité totale (en Kg) quotidienne consommée par l'individu i .

❖ Coût de l'énergie (CE_i), en €/10MJ :

C'est le coût d'une ration apportant 10MJ d'énergie. Le coût par jour est fortement corrélé à l'énergie consommée (en MJ), c'est pourquoi, nous nous intéressons au "coût de l'énergie", c'est à dire le coût d'un apport énergétique donné, égal à 10MJ. Cette valeur de 10MJ est du même ordre de grandeur que l'apport énergétique journalier d'un adulte.

$$CE_i = (\text{COUT}_i / AE_i) * 10$$

où COUT_i est le coût de la ration journalière consommée par l'individu i et AE_i est l'apport énergétique journalier de l'individu i .

Pour mesurer la qualité nutritionnelle des rations consommées par les volontaires SU.VI.MAX. nous avons construit 2 indicateurs exprimés en pourcentages. Le premier indicateur que l'on appellera Score d'Adéquation Individuel aux recommandations Nutritionnelles (SAIN) ou Nutrient Adequacy Score (NAS), mesure la couverture moyenne des besoins en nutriments. Le second, nommé Score des Composés Indésirables (SCI) ou Undesirable Component Score (UCS), mesure l'excès d'apport en composés indésirables.

❖ Score d'Adéquation Individuel aux recommandations Nutritionnelles (SAIN), en % :

$$SAIN_i = \left[\sum_{p=1}^{p=14} (\text{Nutriment}_{ip} / BNM_p) / 14 \right] * 100$$

où Nutriment_{ip} est l'apport (en g, mg ou μg) du nutriment p pour l'individu i et BNM_p est le besoin nutritionnel moyen par jour pour le nutriment p (Tableau 1). Le BNM correspond à 77% de l'ANC (Apport Nutritionnel Conseillé). Si l'apport journalier en un nutriment est supérieur au BNM, on coupe le ratio ($\text{nutriment}_p / BNM_p$) à 1 car on considère qu'un apport important d'un nutriment ne doit pas pouvoir compenser le faible apport en un autre nutriment. Ainsi le NAS fluctue théoriquement entre 0 et 100%. Un individu ayant un NAS de 60% signifie que en moyenne, il couvre 60% de ses besoins nutritionnels pour les 14

nutriments considérés. Nous avons retenu 14 nutriments dont les besoins nutritionnels ne sont, en moyenne, pas couverts dans la population française. Ainsi, les protéines, le rétinol ou les vitamines B3, B5 et B12, pour lesquels on n'observe pas de risque de déficience d'apports dans la population française, ne sont pas inclus dans le SAIN.

❖ Score de Composés Indésirables (SCI), en % :

$$SCI_i = \left[\sum_{t=1}^{t=3} (\text{composé indésirable}_{ikt} / \text{VMR}_t) \right] / 3 * 100$$

où le composé indésirable_t est la quantité journalière (en g ou mg), consommée par un individu i, du composé t, dont l'apport doit être limité dans l'alimentation, VMR_t étant la valeur maximale recommandée à ne pas dépasser pour le composé t (Tableau 1). Les composés indésirables utilisés dans l'UCS sont le sodium, le sucre ajouté et les acides gras saturés. Le cholestérol n'a pas été inclus dans ce score car il est en général présent dans les aliments qui contiennent déjà des acides gras saturés (AGS) et car aucune limite maximale en cholestérol n'est préconisée pour les individus sains. Les valeurs de l'UCS peuvent théoriquement fluctuer entre 1 et + ∞.

Tableau 1. Apports moyens des 14 nutriments et des 3 composés indésirables, besoins nutritionnels moyens (RV) et valeurs maximales recommandées (MV), pour les hommes et les femmes.

Nutrients	Men			Women		
	mean	(SD)	RV	mean	(SD)	RV
Fiber, g/d	21.2	(7.1)	19.2	17.4	(5.4)	19.2
Linolenic acid, g/d	0.95	(0.32)	1.55	0.75	(0.26)	1.23
DHA, g/d	0.30	(0.24)	0.09	0.25	(0.22)	0.08
Betacarotene/6, µg/d	113	(11)	308	110	(11)	231
Thiamin, mg/d	1.3	(0.3)	1.0	1.1	(0.3)	0.8
Riboflavin, mg/d	1.9	(0.5)	1.2	1.6	(0.48)	1.2
Vitamin B6, mg/d	1.9	(0.5)	1.4	1.5	(0.4)	1.2
Folate, µg/d	336	(95)	269	286	(85)	231
Ascorbic acid, mg/d	98	(47)	85	95	(43)	85
Vitamin E, mg/d	13.8	(5.0)	9.2	11.4	(4.2)	9.2
Calcium, mg/d	938	(328)	693	818	(301)	693
Potassium, mg/d	2885	(717)	2387	2440	(635)	2387
Iron, mg/d	11.6	(5.9)	6.9	11.5	(5.6)	12.3
Vitamin D, µg/d	3.1	(2.0)	3.8	2.5	(1.8)	3.8
NAS, %	86.5	(7.7)		83.2	(10.3)	
Undesirable Components	mean	(SD)	MV	mean	(SD)	MV
SFA**, g/d	41.7	(12.4)	19.5	32.5	(10.4)	16
Added sugar, g/d	43.4	(23.4)	55	33.7	(19.5)	45
Na, mg/d	4001	(1223)	3995	2986	(966)	3995
UCS, %	130.9	(35.6)		117.5	(35.5)	

* DHA = Acide gras omega 3 à longue chaîne

** SFA = Saturated Fatty Acids ou Acides Gras Saturés

3. Analyse statistique

L'analyse statistique s'est déroulée en trois étapes. Avant toute analyse, nous avons vérifié graphiquement si la distribution des variables continues suivait approximativement une loi Gaussienne (Annexe 1.1). Puis, à l'aide de l'analyse de covariance, l'égalité des moyennes de coût de l'énergie (€/10MJ) a été testée dans les quintiles de Densité énergétique (en MJ/Kg), puis dans les quintiles de NAS (en %) et enfin dans les quintiles d'UCS (en %). Ces analyses ont été ajustées sur l'énergie. Un test de tendance a également été réalisé.

Ensuite, nous avons étudié les corrélations simples de Pearson entre apport énergétique, coût de l'énergie, SAIN et SCI, ajustées sur l'apport énergétique afin de confirmer ou de mettre en évidence des relations significatives entre coût et qualité de l'alimentation. De plus, l'analyse des corrélations simples de Pearson est une étape préliminaire à la régression linéaire multiple. Elle permet de vérifier si les variables explicatives ne sont pas trop corrélées entre elles ce qui conduirait à la violation d'une des hypothèses sous-jacentes au modèle linéaire.

Enfin, nous avons estimé le modèle linéaire multiple avec comme variable dépendante le coût de l'énergie (en €/10MJ), comme variables indépendantes la densité énergétique (en MJ/Kg), le SAIN (en %) et le SCI (en %), et en variables d'ajustements, l'apport énergétique, l'âge, la quantité d'alcool consommée, l'activité physique, le niveau d'étude et le statut tabagique. Nous avons ensuite vérifié les hypothèses du modèle : la normalité des résidus (vérifiée graphiquement), la moyenne nulle et l'écart-type proche de 1 et l'hétéroscédasticité des résidus avec le test de White. Enfin nous avons recherché les individus atypiques (si il y en a) à l'aide de la distance de Cook et des résidus Studentisés, ce qui permet de vérifier la stabilité du modèle.

Pour estimer un modèle sans multicollinéarité, nous avons utilisé une méthode appelée « méthode des résidus » qui est souvent utilisée en épidémiologie nutritionnelle du fait de la forte corrélation entre l'apport énergétique (en variable d'ajustement) que l'on appellera E et une variable explicative X. On utilise cette méthode lorsque la corrélation de Pearson entre E et X est supérieure à 50% ou 60%, il n'y a pas de seuil précis. Dans ce cas, la méthode des résidus consiste à construire une nouvelle variable X' qui représente l'effet net de X dépourvu de E. Pour cela, on régresse X sur E avec un modèle linéaire simple estimé par les Moindres Carrés Ordinaires (MCO). La nouvelle variable X' correspond alors aux résidus de ce modèle.

Par construction mathématique, les résidus sont de moyenne nulle et, surtout, ils sont indépendants de E. Pour éviter les valeurs négatives dans la variable X', on ajoute la moyenne de X telle que : $\text{moyenne}(X) = \alpha + \beta \text{ moyenne}(E)$, où α et β sont les coefficients estimés du modèle $X = \alpha + \beta E + \varepsilon$. L'effet de la variable X' correspond à l'effet de X pour E constant. Une petite remarque mathématique : soit un modèle de régression linéaire :

$$Y = a + b_1 Z + b_2 X + b_3 E + e$$

Le coefficient b_2 sera strictement le même si je remplace X par X' calculé comme précédemment. La différence intervient lors de l'interprétation de b_2 .

Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel SAS. Le seuil de significativité est de 5% pour tous les tests statistiques réalisés.

B. Résultats

L'âge moyen des volontaires sélectionnés est d'environ 52 ans pour les hommes et 51 ans pour les femmes (Tableau 2). Ces moyennes d'âges assez élevées caractérisent la population de SU.VI.MAX. La majorité des hommes sélectionnés fument ou ont déjà fumé, font de l'activité physique plus d'une heure par jour et font partie des deux plus hauts niveaux d'étude. En revanche, parmi les femmes, 63 % n'ont jamais fumé et 40 % font de l'activité physique. Leur niveau d'étude est comparable à celui des hommes. Les moyennes par jour d'apport énergétique, de densité énergétique et de dépenses alimentaires sont cohérentes avec d'autres résultats issus de la littérature⁵. En moyenne, les hommes ont un apport énergétique supérieur à celui des femmes : 9,4 MJ contre 7,2 MJ par jour. Le coût journalier estimé de leur ration alimentaire est plus élevé : 5,6 €/jour contre 4,5 €/j pour les femmes. Néanmoins, le coût de l'énergie moyen exprimé en €/10MJ est plus élevé chez les femmes (6,35€/10MJ) que chez les hommes (6,00€/10MJ). Cela signifie que les femmes payent leur énergie plus cher que les hommes. Enfin, les hommes ont une alimentation plus dense en énergie (6,1 MJ/j) que les femmes (5,4 MJ/j), c'est à dire que pour une quantité donnée, les aliments sélectionnés par les hommes apportent plus d'énergie.

⁵Madden JP, Goodman SJ, Guthrie HA. Validity of the 24-hr. recall. Analysis of data obtained from elderly subjects. *J Am Diet Assoc.* 1976;**68**:143-7.

Tableau 2. Caractéristiques des volontaires SU.VI.MAX. sélectionnés dans l'échantillon.

	Men		Women	
	n	2470	2169	
	mean	(SD)	mean	(SD)
Age, y	52.3	(4.65)	51.2	(4.63)
Daily Energy Intake, MJ/d	9.4	(2.20)	7.2	(1.81)
Daily Cost, €/d	5.6	(1.41)	4.5	(1.22)
Energy Cost, €/10 MJ	6.0	(1.24)	6.35	(1.35)
Energy Density, MJ/Kg	6.1	(0.95)	5.4	(0.97)
	n	(%)	n	(%)
Smoker				
Never	879	(35.59)	1362	(62.79)
Current	317	(12.83)	234	(10.79)
Former	1274	(51.58)	573	(26.42)
Regular Physical activity				
No	575	(23.28)	555	(25.59)
Yes < 1h /d	599	(24.25)	738	(34.02)
Yes > 1h /d	1296	(52.47)	876	(40.39)
Educational level				
Primary	586	(23.72)	482	(22.22)
Secondary	887	(35.91)	942	(43.43)
University	997	(40.36)	745	(34.35)

Les relations deux à deux entre le coût de l'énergie (en €/10MJ) d'une part, et, d'autre part, la densité énergétique (en MJ/Kg), le SAIN (en %) ou le SCI (en %), ajustées sur l'apport énergétique, ont été testées à l'aide de l'analyse de covariance (*proc glm* de SAS). Les résultats de ces analyses de covariance, pour les hommes et les femmes, sont montrés figure 2. Les moyennes du coût de l'énergie, ajustées sur l'apport énergétique, ont été calculées dans chaque quintile de densité énergétique, de SAIN et de SCI. Les moyennes de coût de l'énergie sont significativement différentes en fonction des quintiles. Ensuite, nous avons vérifié si il y avait une tendance linéaire entre ces variables.

Chez les hommes, plus le quintile de densité énergétique est élevé plus la moyenne de coût de l'énergie est faible. Le test de tendance est significatif, ce qui veut dire qu'il y a une relation linéaire inverse entre le coût de l'énergie et la densité énergétique. On observe une relation linéaire croissante entre le coût de l'énergie et le SAIN puisque la moyenne de coût de l'énergie est d'autant plus élevée que le quintile de SAIN est haut. Le test de tendance est également significatif. Plus le quintile de SCI est élevé plus la moyenne de coût de l'énergie est faible mais dans le dernier quintile, la moyenne est légèrement supérieure à celle de l'avant dernier. Malgré la significativité du test de tendance, la relation entre coût de l'énergie et SCI semble un peu moins forte que pour les deux autres. Chez les femmes, on observe les

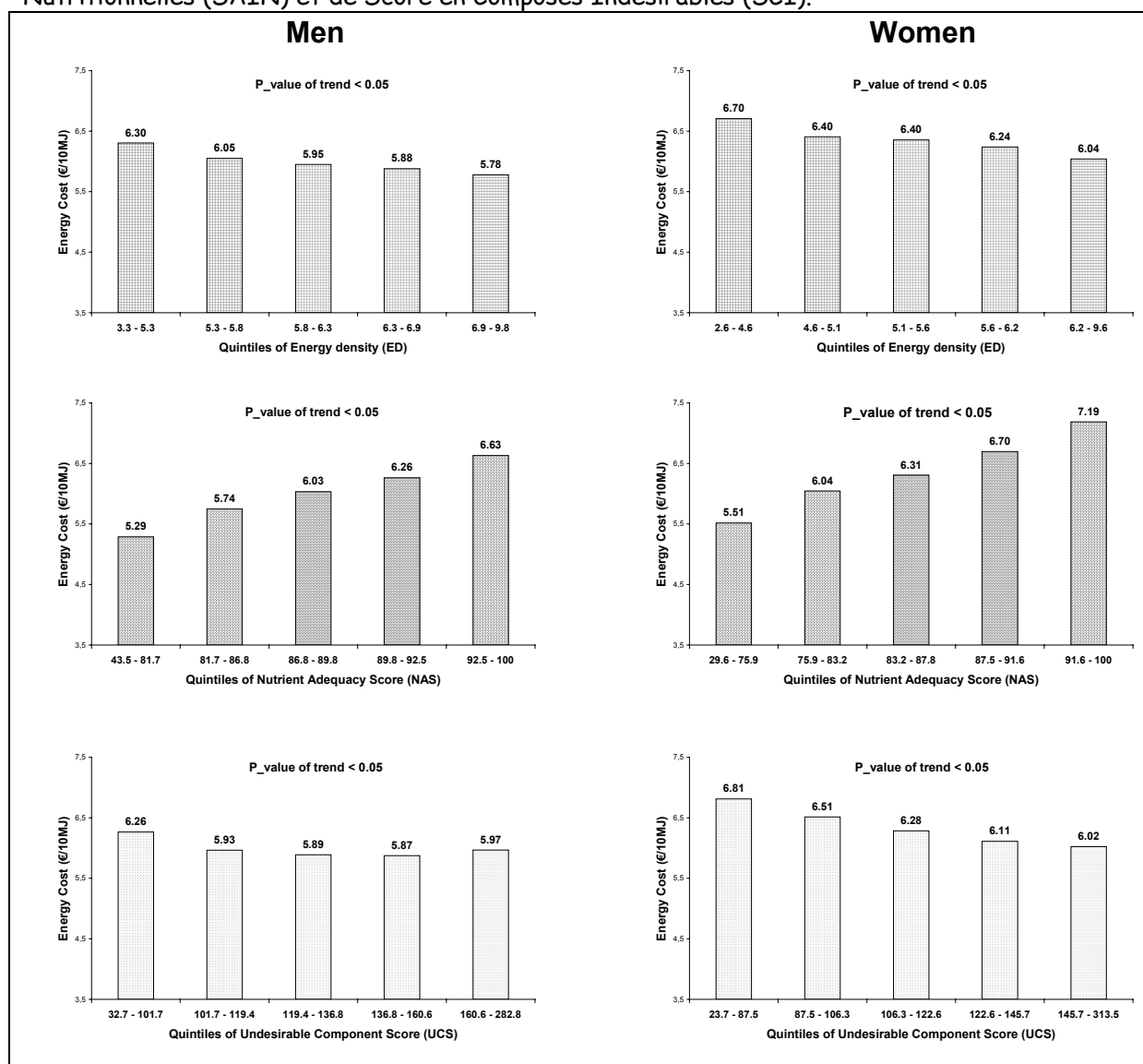
Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

mêmes relations, encore plus nettement, notamment entre SCI et coût de l'énergie où les moyennes sont strictement décroissantes.

Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

Ces résultats nous permettent de valider nos deux hypothèses de départ, sur le SAIN et le SCI. Le coût des rations, estimé par le coût de l'énergie augmente quand la qualité nutritionnelle des rations, estimée par le SAIN, augmente aussi. Le coût des rations, estimé par le coût de l'énergie diminue quand la mauvaise qualité nutritionnelle des rations, estimée par le SCI, augmente.

Figure 2. Moyennes du coût de l'énergie (en €/10MJ), ajustées sur l'apport énergétique, dans chaque quintile de Densité Energétique, de Score d'Adéquation Individuel aux recommandations Nutritionnelles (SAIN) et de Score en Composés Indésirables (SCI).



La matrice des corrélations de Pearson (Tableau 3), ajustées sur l'énergie confirme les résultats obtenus par GLM excepté entre UCS et coût de l'énergie où la corrélation de 3,8 % n'atteint pas la significativité chez les hommes ($p=0.06$). La corrélation inverse entre la densité énergétique et le NAS est assez élevée en valeur absolue, pour les hommes (45 %) et les femmes (49,7 %). Enfin, l'UCS et le NAS sont corrélés respectivement, positivement et négativement, à la densité énergétique ce qui nous conforte dans la pertinence des indicateurs de bonne et mauvaise qualité nutritionnelle.

Tableau 3. Corrélations de Pearson deux à deux entre le coût de l'énergie (en €/10MJ), la densité énergétique (MJ/10MJ), le SAIN (en %) et l'SCI (en %), ajusté sur l'apport énergétique, pour les hommes et les femmes.

	Men			Women		
	Energy cost	Energy density	SAIN	Energy cost	Energy density	SAIN
Energy density	-0.159 <.0001			-0.177 <.0001		
SAIN	0.257 <.0001	-0.450 <.0001		0.306 <.0001	-0.497 <.0001	
SCI	-0.038 0.0593	0.254 <.0001	-0.161 <.0001	-0.142 <.0001	0.289 <.0001	-0.327 <.0001

Afin d'obtenir les effets nets des trois variables explicatives sur la variable expliquée (le coût de l'énergie) indépendamment les unes des autres, un modèle de régression linéaire multiple incluant toutes ces variables a été estimé, séparément par sexe. Les modèles des hommes et des femmes apportent les mêmes conclusions en terme de signe et de significativité des coefficients. Le R^2 de ce modèle (hommes et femmes) est d'environ 20 % (résultats non montrés). La densité énergétique, avec un coefficient négatif, et le SAIN, avec un coefficient positif, sont significatifs, alors que le SCI ne l'est pas. La variable apport énergétique, en ajustement, est significative.

Cependant, l'estimation de ce modèle est biaisée car les variables explicatives SAIN et SCI sont trop fortement corrélées à l'apport énergétique. La corrélation entre SAIN et apport énergétique est de 65 % et 69 % pour les hommes et les femmes. La corrélation entre SCI et apport énergétique est de 90 % et 91 % pour les hommes et les femmes. Il y a donc un risque de multicollinéarité. Afin, de corriger ce biais de multicollinéarité, nous devons remplacer, dans la régression linéaire multiple précédente, le SAIN et le SCI par leurs résidus, respectivement issus des régressions simples SAIN vs apport énergétique et SCI vs apport énergétique. Les résultats de ces régressions sont dans le tableau 4.

Les résidus de chaque modèle sont calculés comme étant la différence entre les valeurs observées dans l'échantillon et ses valeurs prédites par le modèle de la variable à expliquer. On estime enfin un nouveau modèle de régression linéaire multiple où le coût de l'énergie est toujours la variable à expliquer, et les variables explicatives sont la densité énergétique, le résidu du SAIN (régressé sur l'énergie) et le résidu du SCI (régressé sur l'énergie). Dans ce modèle, chez les hommes et les femmes, le coefficient du SCI n'est pas significativement différent de zéro. On estime donc un modèle final sans le résidu du SCI.

Tableau 4. Résultats des régressions simples avec le NAS puis l'UCS en variables dépendantes et l'apport énergétique en variable explicative, pour les hommes et les femmes.

	Men N = 2470			Women N = 2169		
	β	(SE)	P_value	β	(SE)	P_value
<i>Var.dépendante : NAS</i>	R² = 42.8%			R² = 48.2%		
Intercept	64.96	(0.516)	<.0001	54.75	(0.653)	<.0001
Energy Intake, MJ	2.29	(0.053)	<.0001	3.95	(0.088)	<.0001
<i>Var.dépendante : UCS</i>	R² = 80.7%			R² = 83.9%		
Intercept	-5.79	(1.382)	<.0001	-11.73	(1.254)	<.0001
Energy Intake, MJ	14.50	(0.143)	<.0001	17.94	(0.169)	<.0001

Le modèle final est composé de deux variables explicatives significatives : la densité énergétique et le résidu du SAIN. Les résultats du modèle final sont présentés tableau 5.

Enfin, nous avons vérifié les hypothèses sous-jacentes pour le modèle final. La moyenne des résidus est nulle et la variance des résidus du modèle est de 1.1, pour les hommes et les femmes, et leur distribution est approximativement Gaussienne (Figure 2).

Les corrélations simples de Pearson entre variables explicatives et d'ajustement sont inférieures à 50 %. On considère donc que l'hypothèse d'indépendance des variables explicatives est vérifiée, pour les hommes et les femmes.

En revanche, on a détecté (avec le test de White) de l'hétéroscédasticité dans le modèle des hommes, c'est à dire que la variance des résidus varie en fonction des valeurs du coût de l'énergie prédites par le modèles. Les p_values corrigées par la matrice de White restent significatives. De plus nos échantillons sont grands, donc l'hétéroscédasticité du modèle n'est pas suffisamment importante pour biaiser les des estimations.

Les individus atypiques ou extrêmes (Figure 3) ont été détectés : ce sont ceux ayant un coût d'énergie supérieur à 13 €/10MJ et/ou un apport énergétique supérieur à 15MJ/j. En les retirant de l'estimation, les résultats ne changent pas. Donc on les ré-intègre à notre échantillon.

Tableau 5. Coefficients de corrélation partiels du modèle de régression linéaire multiple avec le coût de l'énergie en variable dépendante, la densité énergétique (en MJ/Kg) et les résidus du SAIN (en %) en variables explicatives, ajusté sur l'apport énergétique, l'alcool, l'âge, le statut tabagique, le niveau d'activité sportive et le niveau d'éducation, pour les hommes et les femmes.

	<i>Men</i> N = 2470			<i>Women</i> N = 2169		
	β	(SE)	<i>P</i> _value	β	(SE)	<i>P</i> _value
	R² = 20.19%			R² = 21.24%		
Intercept	3.998	(0.542)	<.0001	3,495	(0.552)	<.0001
Densité énergétique, MJ/Kg	-0,136	(0,028)	<.0001	-0,110	(0,032)	<.0001
NAS résidu	0.043	(0.004)	<.0001	0.047	(0.004)	<.0001
Energy Intake, MJ	-0.17	(0.010)	<.0001	-0.218	(0.015)	<.0001
Alcool, g	0.009	(0.001)	<.0001	0.017	(0.002)	<.0001
Age, années	0,006	(0,004)	0,1777	0.008	(0.006)	0.1552
<u>Statut tabagique</u>						
Non fumeur	<i>référence</i>			<i>référence</i>		
Fumeur	-0.061	(0.075)	0.4178	0.063	(0.088)	0.4712
Ancien fumeur	-0.007	(0.049)	0.8821	0.040	(0.061)	0.5065
<u>Activité sportive</u>						
irrégulière	<i>référence</i>			<i>référence</i>		
< 1h / jour	0.072	(0.065)	0.2652	-0.025	(0.068)	0.7084
> 1h / jour	-0.008	(0.057)	0.8913	-0.118	(0.066)	0.0715
<u>Niveau d'étude</u>						
Primaire	<i>référence</i>			<i>référence</i>		
Secondaire	0.053	(0.059)	0.3757	0.121	(0.068)	0.0754
Supérieur	0.079	(0.059)	0.1811	0.206	(0.072)	0.0045

D'après les estimations par sexe, l'augmentation de 10 points de NAS (de 50 % à 60 % par exemple) indépendamment de l'apport énergétique conduit à une augmentation de 0,43 € et 0,47 € pour une ration de 10 MJ pour les hommes et les femmes, respectivement. L'augmentation de 1MJ/Kg de la densité énergétique d'une ration conduit à une baisse de 0,136 €/10MJ et 0,11 €/10MJ du coût d'une ration de 10 MJ, respectivement, pour les hommes et les femmes. Enfin, la plupart des variables d'ajustement ne sont significatives, sauf l'apport énergétique et la consommation d'alcool pour les deux sexes et le niveau d'éducation pour les femmes : les plus éduquées achètent plus cher leur énergie que les moins éduquées. La consommation d'alcool est associée à un plus fort coût d'énergie chez les hommes et les femmes.

Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

Figure 2. Distribution du modèle de régression linéaire multiple final avec le coût de l'énergie (€/10MJ) en variable dépendante et le NAS (%) résiduel et la densité énergétique (MJ/Kg) en variables explicatives.

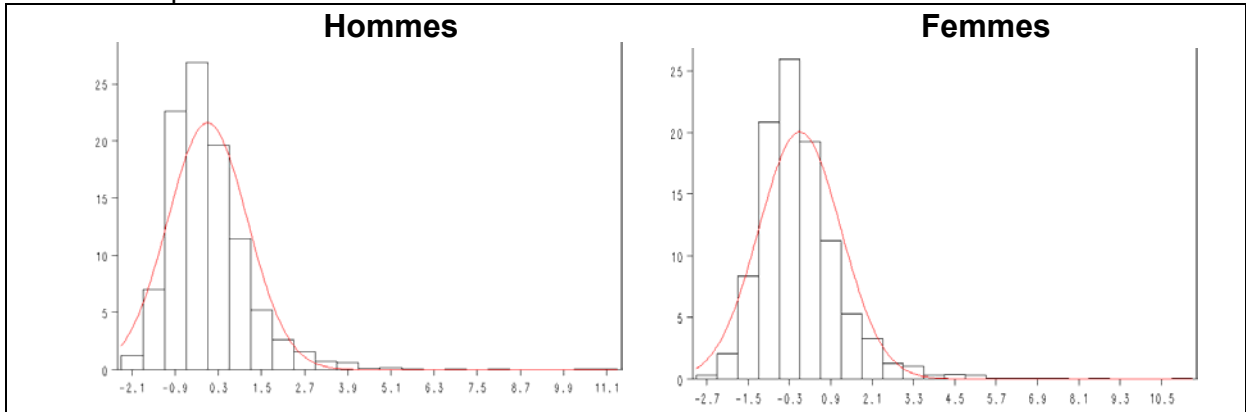
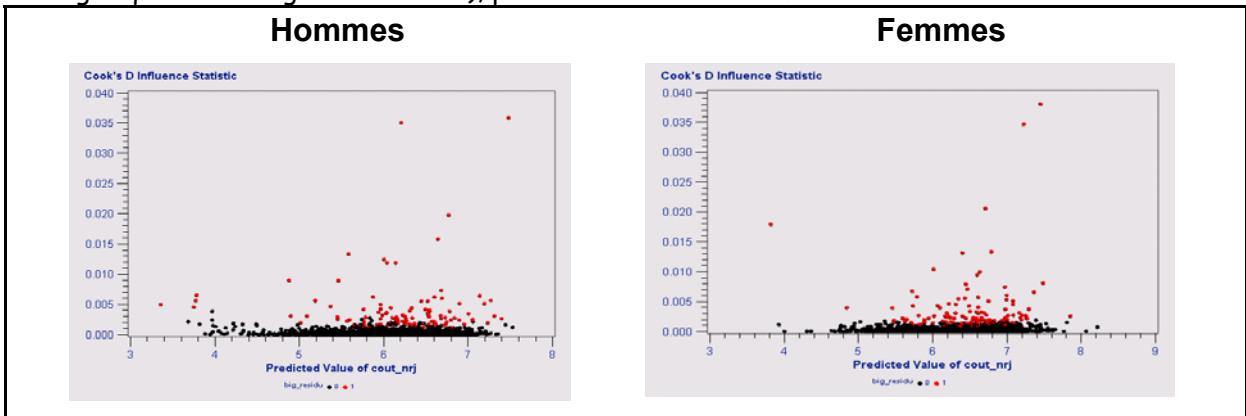


Figure 3. Représentation graphique de la distance de Cook en fonction des valeurs prédites du modèle final (variable dépendante : coût de l'énergie en €/10MJ, variables explicatives : densité énergétique en MJ/Kg et NAS en %), pour les hommes et les femmes.



C. Discussion

Les deux indicateurs de qualité nutritionnelle que nous avons construit, ne sont pas complètement objectifs. Tout d'abord, ils sont assez simples puisqu'il s'agit de sommes de ratios. Ensuite, nous avons sélectionné 14 nutriments pour le SAIN et 3 composés indésirables pour le SCI et nous avons supposé que chaque élément avait la même importance pour définir la qualité. Par exemple on suppose que le DHA est aussi important que la vitamine C ou que le fer. En réalité, parmi tous les nutriments disponibles, nous avons sélectionné ceux dont les besoins moyens ne sont pas largement couverts dans la population française. Ainsi, nous avons exclu les protéines, le rétinol, le magnésium, les vitamines B3, B5 et B12. L'absence de pondération s'explique de deux façons : la première est que nous souhaitons développer un indice de qualité nutritionnelle simple, facile à comprendre et à calculer, et la deuxième est qu'il n'existe pas d'information dans la littérature qui permette de pondérer les nutriments entre eux. Concernant l'UCS, nous avons quatre composés indésirables disponibles : le sodium, le sucre ajouté, le cholestérol et les AGS. Le cholestérol n'a pas été inclus car il est en général présent dans les aliments qui contiennent déjà des acides gras saturés (AGS) et car aucune limite maximale en cholestérol n'est préconisée pour les individus sains.

On a observé dans l'analyse, une corrélation négative élevée (48 %) entre densité énergétique et NAS, ajustée sur l'apport énergétique. Considérant que la densité énergétique est un indicateur de mauvaise qualité nutritionnelle (comme dans les études de la littérature), il semblerait que notre indicateur de qualité nutritionnelle soit cohérent. Toutefois, cet indicateur reste assez fortement corrélé à l'énergie, mais l'apport énergétique est souvent le principal problème en épidémiologie nutritionnelle. L'UCS est encore plus corrélé à l'énergie. On a vu qu'il n'est pas significativement corrélé au coût de l'énergie dans le modèle linéaire multiple. On pense donc que cet indicateur est trop simple et apporte la même information que l'énergie.

Dans cette étude, on peut également supposer l'existence d'un biais dans le calcul des coûts puisque nous avons utilisé des prix d'aliments pour 100g issus de données SECODIP de prix moyens, en 1997. Nous sommes systématiquement confrontés à ce problème puisque les enquêtes de consommation alimentaire sont réalisées indépendamment des enquêtes de dépenses alimentaires. Donc dans le calcul des coûts, deux individus qui consomment un

yaourt nature de deux marques différentes se verront attribuer le même coût car nous disposons du prix moyen des yaourts naturels.

Enfin, nous savons que la population SU.VI.MAX. n'est pas représentative de la population française car la moyenne d'âge est élevée (51 ans) et que les volontaires ont un statut socio-économique plutôt élevé. Mais, dans cette analyse, il n'est pas nécessaire que l'échantillon soit représentatif car si la relation est vraie sur une population homogène comme celle de SU.VI.MAX. elle le sera encore plus dans une population hétérogène.

II. Le coût et la qualité nutritionnelle des rations consommés par les volontaires SU.VI.MAX : quelle hiérarchie ?

Dans cette deuxième étude, l'objectif est de comprendre si dans la consommation alimentaire des individus, on peut observer une hiérarchie en terme de qualité prix. Dans l'étude précédente nous avons montré que le coût pour 10MJ des rations est d'autant plus élevé que la qualité nutritionnelle est grande (indicateur : SAIN). Ici nous voudrions confirmer cette observation non plus en analysant les corrélations globales au sein des participants de SU.VI.MAX., mais en divisant l'alimentation de ces individus en groupes et sous-groupes afin d'analyser plus dans le détail les variations de qualité-prix.

A. Méthodes

1. Données

Les données alimentaires ainsi que les individus de l'analyse sont issus de l'étude de surveillance SU.VI.MAX. (SUplémentation en Vitamines et Minéraux Anti-Oxidant). Tous les volontaires de cette étude ont été suivis pendant huit ans avec, tous les deux mois, un questionnaire à remplir concernant leur consommation alimentaire des dernières 24 heures. Les données alimentaires sont présentées sous deux formes : une table répertoriant 691 aliments avec, pour 100g, la totalité des apports nutritionnels correspondant ainsi que leur prix (en €), et une table comprenant tous les individus et la quantité (en masse et en énergie) de chaque aliment qu'ils ont consommés.

Les données SECODIP de 1997 ont permis d'attribuer un prix moyen, que l'on appelle prix du commerce, à la majorité des aliments. Pour certains aliments composés (cas de 76 aliments, y compris la sauce blanche et la sauce béchamel), des prix dans le commerce n'étaient pas disponibles et ont dû être calculés à partir des "recettes" issues de la table SU.VI.MAX (i.e. décomposition des aliments composés en aliments simples). Dans ce cas, le prix est calculé en faisant la somme des prix de chaque composant, pondérée par la quantité de chaque composant dans la recette. Ces prix moyens nous ont permis d'estimer les dépenses alimentaires des individus.

L'eau, les produits diététiques et les boissons alcoolisées ne sont pas pris en compte dans le calcul des consommations alimentaires des volontaires. Connaissant la forte variabilité intra-individuelle des consommations alimentaires journalières, nous avons sélectionné les volontaires ayant répondu à six questionnaires alimentaires minimum. De plus, pour limiter la variabilité liée à l'évolution des comportements au cours du temps, nous n'avons gardé

parmi ces individus que ceux qui avaient répondu au cours des 18 premiers mois de l'enquête. Ainsi, nous pensons avoir extrait les volontaires dont l'hétérogénéité des comportements est limitée au cours du temps. Parmi les 12 735 individus inclus dans l'étude SU.VI.MAX., 6167 volontaires correspondent aux critères de sélection. Parmi eux, nous ne retenons que les hommes et les femmes âgés entre 45 ans et 65 ans. L'échantillon total est donc constitué de 2559 hommes (âge moyen : 52.3 ans) et 2275 femmes (âge moyen : 51.2 ans).

2. Groupes d'aliments et indicateurs

Nous avons divisé les consommations des volontaires SU.VI.MAX. en 7 grands groupes puis en 26 sous-groupes (Tableau 1). La constitution des 7 groupes est proche de celle du Programme National Nutrition Santé (PNNS). En effet, nous avons regroupé les viandes, avec les œufs et avec le poisson, le lait avec les autres produits laitiers et le fromage, les fruits avec les légumes, les produits à base de céréales avec les autres sources d'amidon dans le groupe des féculents, les matières grasses végétales avec les matières grasses animales. Cependant, quelques spécificités sont à noter.

Tout d'abord, nous avons inclus le sous-groupe *charcuteries* dans le groupe des « viandes/œuf/poissons », et les sous-groupes *fruits secs* et *graines oléagineuses* dans le groupe des « fruits et légumes ». Les jus de fruits et les fruits transformés sont inclus dans le sous-groupe *fruits*, et les soupes ainsi que les légumes surgelés ou en conserve sont inclus dans le sous-groupe *légumes*. Dans le groupe des « féculents », les *céréales du petit déjeuner* constituent un sous-groupe en tant que tel.

Ensuite, le groupe « produits gras-sucrés et gras-salés » qui n'existe pas dans le PNNS, contient un sous-groupe *produits gras-sucrés*, dans lequel on a inclus les pâtisseries, les viennoiseries, les biscuits ainsi que tous les desserts lactés, et un autre sous-groupe *produits gras-salés*, dans lequel sont inclus les chips et les gâteaux apéritifs.

Enfin, nous avons construit les sous-groupes *plats composés prêts à l'emploi* (exemples : cassoulet, coucous, paella ...) et *pizzas/quiches/tartes salées* qui forment le groupe des « plats cuisinés ». Dans le PNNS, ces plats cuisinés ne sont pas évoqués.

Tableau 1. Détails des groupes.

Groupes	Sous-groupes
Viandes, Œufs, Poissons	Crustacés, Poissons, Volailles, Viande rouge, Abats, Charcuterie, Œufs
Fruits et Légumes	Légumes, Fruits, Fruits secs, Graines oléagineuses, Condiments
Plats Cuisinés	Plats composés prêts à l'emploi, Pizzas et quiches et tartes salées
Produits Laitiers	Yaourts, Fromages, Lait
Féculeux	Légumes secs, Produits céréaliers complets, Céréales petit déjeuner, Pommes de terre, Féculents raffinés
Produits gras-sucrés gras-salés	Produits gras-salés, Produits gras-sucrés (dont desserts lactés)
Matières grasses	Matière grasse animale, Matière grasse végétale

Dans un premier temps, nous avons décrit la hiérarchie des groupes d'aliments suivant leur contribution à l'apport énergétique et aux coûts des rations. Ensuite, nous avons estimé le coût de l'énergie (en €/10MJ) moyen des groupes et sous-groupes d'aliments. La qualité nutritionnelle des groupes et sous-groupes a également été estimée, à partir de deux indicateurs, le SAIN/10MJ (Score d'Adéquation Individuel aux recommandations Nutritionnelles) et le SCI/10MJ (Score de Composés Indésirables).

Pour chacun des individus, on calcule le coût quotidien (en €/j) de chaque groupe d'aliment qui est une estimation des dépenses alimentaires journalières pour ce groupe.

- ❖ Pour un volontaire i , le coût par jour du groupe k , en €/j est calculé comme suit :

$$COUT_{ik} = \sum_{j=1}^{j=J} (\text{quantité}_{ikj} * \text{prix}_j) / NE_i$$

où quantité_{ikj} est la quantité totale en Kg de l'aliment j du groupe k consommé par l'individu i et NE_i est le nombre de questionnaires complétés par l'individu i .

- ❖ Le coût total de la ration journalière de l'individu i ($COUT_i$) correspond à la somme des coûts de chaque groupe :

$$COUT_i = \sum_{k=1}^{k=7} COUT_{ik}$$

- ❖ On a calculé, pour chaque individu, l'énergie (en MJ) apportée quotidiennement par chaque groupe :

$$AE_{ik} = \sum_{j=1}^{j=J} AE_{ikj} / NE_i$$

où AE_{ikj} est la quantité totale d'énergie (en MJ) de l'aliment j du groupe k consommé par l'individu i .

- ❖ L'apport énergétique total de l'individu i (AE_i) correspond à la somme des apports énergétiques de chaque groupe :

$$AE_i = \sum_{k=1}^{k=7} AE_{ik}$$

- ❖ La contribution moyenne de chaque groupe au coût total de la ration journalière est calculée en pourcentage comme suit :

$$\left(\left[\sum_{i=1}^{i=n} DA_{ik} / DA_i \right] / n \right) * 100$$

où n est le nombre total d'individus.

- ❖ La contribution moyenne de chaque groupe à l'apport énergétique total de la ration journalière est calculée en pourcentage, comme suit :

$$\left(\left[\sum_{i=1}^{i=n} AE_{ik} / AE_i \right] / n \right) * 100$$

On a aussi calculé, pour chaque groupe, le coût de 10MJ apporté par ce groupe, c'est à dire le coût de l'énergie (€/10MJ).

- ❖ Le coût de l'énergie (en €/10MJ) apporté par le groupe k , pour un individu i donné, est calculé comme suit :

$$CE_{ik} = (COUT_{ik} / AE_{ik}) * 10$$

Pour mesurer la qualité nutritionnelle des rations consommées par les volontaires SU.VI.MAX. nous avons construit 2 indicateurs exprimés en pourcentages. Le premier indicateur que l'on appellera Score d'Adéquation Individuel aux recommandations Nutritionnelles (SAIN) ou Nutrient Adequacy Score (NAS), mesure la couverture moyenne des besoins en nutriments. Le second, nommé Score des Composés Indésirables (SCI) ou Undesirable Component Score (UCS), mesure l'excès d'apport en composés indésirables. Nous calculons ces deux indicateurs pour chaque groupe d'aliments consommés par les individus afin de comparer leur qualité nutritionnelle. Ces indicateurs sont fortement corrélés à l'énergie (en MJ), c'est pourquoi, nous les avons calculé pour un apport énergétique constant, plus précisément pour 10MJ. Cette valeur de 10MJ est du même ordre de grandeur que l'apport énergétique moyen par jour d'un adulte.

Calcul des deux indicateurs dans les groupes d'aliments :

- ❖ Score d'Adéquation Individuel aux recommandations Nutritionnelles pour 10MJ (SAIN/10MJ), en % :

$$SAIN_{ik}/10MJ = \left[\left(\sum_{p=1}^{p=14} (\text{Nutriment}_{ikp} / BNM_p) / 14 \right) * 100 \right] * 10 / AE_{ik}$$

où Nutriment_{ikp} est l'apport journalier (en g, mg ou μg) du nutriment p pour un individu i et pour un groupe k donné et BNM_p est le besoin nutritionnel moyen par jour pour le nutriment p (Tableau 2). Le BNM correspond à 77% de l'ANC (Apport Nutritionnel Conseillé).

AE_{ik} est la quantité totale d'énergie (en MJ) issue du groupe k et consommée par l'individu i. Nous avons retenu 14 nutriments dont les besoins nutritionnels ne sont, en moyenne, pas couverts dans la population française. Ainsi, les protéines, le rétinol ou les vitamines B3, B5 et B12 ne sont pas inclus dans le SAIN.

- ❖ Score des Composés Indésirables pour 10MJ (SCI/10MJ), en % :

$$SCI_{ik}/10MJ = \left[\left(\sum_{t=1}^{t=3} (\text{composé indésirable}_{ikt} / VMR_t) / 3 \right) * 100 \right] * 10 / AE_{ik}$$

où le composé indésirable_t est la quantité journalière (en g ou mg), consommée par un individu i, du composé t, dont l'apport doit être limité dans l'alimentation, VMR_t étant la valeur maximale recommandée à ne pas dépasser pour le composé t (Tableau 2). Les composés indésirables utilisés dans le SCI sont le sodium, le sucre ajouté et les acides gras saturés. Le cholestérol n'a pas été inclus car il est en général présent dans les aliments qui contiennent déjà des acides gras saturés (AGS) et car aucune limite maximale en cholestérol n'est préconisée pour les individus sains.

Tous ces calculs sont réalisés pour les 26 sous-groupes d'aliments.

Tableau 2. Liste des Besoins Nutritionnels Moyens (BNM) utilisés pour calculer le Score d'Adéquation Individuel aux recommandations Nutritionnelles (SAIN) et des valeurs maximales recommandées (VMR) utilisées dans le calcul de Score des Composés Indésirables (SCI).

	Hommes	Femmes
<u>Nutriments</u>	BNM	BNM
Fibres, g/d	19.25	19.25
Acide linolenic, g/d	1.54	1.23
DHA, g/d	0.092	0.077
Betacarotène/6, µg/d	308	231
Thiamine, mg/d	1.0	0.847
Riboflavine, mg/d	1.23	1.155
Vitamine B6, mg/d	1.386	1.155
Acide folate, µg/d	269.5	231
Acide ascorbic, mg/d	84.7	84.7
Vitamine E, mg/d	9.24	9.24
Calcium, mg/d	693	693
Potassium*, mg/d	2387	2387
Fer, mg/d	6.93	12.32
Vitamine D, µg/d	3.85	3.85
<u>Composés indésirables</u>	VMR	VMR
Acides gras saturés, g/d	19.5	16
Sucre ajouté, g/d	55	45
Sodium, mg/d	3995	3995

* la valeur de référence du potassium correspond à une recommandation européenne.

Enfin, la dernière étape consiste à comparer les valeurs moyennes du SAIN/10MJ, du SCI/10MJ et de coût de l'énergie (en €/10MJ), pour chaque groupe, selon que le calcul est effectué à partir des 691 aliments disponibles ou à partir des rations effectivement consommées par les volontaires de SU.VI.MAX. Lorsque les valeurs sont calculées à partir des consommations alimentaires, les individus statistiques sont les participants SU.VI.MAX. Dans ce cas, les valeurs vont dépendre des aliments sélectionnés par ces individus et des quantités relatives de chaque aliment dans chaque groupe. Pour connaître la qualité intrinsèque de chaque aliment, indépendamment de sa consommation en population, on calcule aussi ces trois variables en prenant l'aliment comme individu statistique, c'est à dire en effectuant le calcul à partir de la table de composition des aliments qui indique la teneur en nutriments pour 100g de chaque aliment. Pour chaque groupe, on calcule la moyenne des valeurs des aliments qui constituent ce groupe. La différence fondamentale entre ces deux calculs est que le premier reflète les habitudes alimentaires d'une population alors que le second représente les disponibilités alimentaires dans la table de composition utilisée. Par exemple, dans la table, le pain a le même « poids » que chacun des autres aliments du groupe « féculents ». En revanche, dans la ration journalière d'un individu, le pain qui est consommé

en assez grande quantité par rapport aux autres féculents, contribue de façon plus importante au calcul de la qualité nutritionnelle apportée par le groupe.

- ❖ Pour un aliment j donné, on calcule le SAIN comme suit :

$$SAIN_j = \left(\sum_{p=1}^{p=14} (\text{Nutriment}_{jp} / BNM_p) / 14 \right) * 100$$

où Nutriment_{jp} est la quantité (en g, mg ou μg) du nutriment p dans 100g d'aliment j, et où BNM_p est la valeur moyenne entre les BNM des hommes et des femmes pour le nutriment p.

- ❖ A partir du SAIN de chaque aliment, on calcule la valeur moyenne de SAIN pour 10MJ dans chaque groupe d'aliments :

$$SAIN_k/10MJ = \left[\sum_{j=1}^{j=J} (SAIN_j / AE_j) * 10 \right] / J$$

où J = nombre d'aliments dans le groupe k et où AE_j est la quantité d'énergie (en MJ) pour 100g de l'aliment j.

- ❖ Pour un aliment j donné, on calcule le SCI comme suit :

$$SCI_j = \left(\sum_{t=1}^{t=3} (\text{composé indésirable}_{jt} / VMR_t) / 3 \right) * 100$$

où $\text{composé indésirable}_{jt}$ est la quantité (en g ou mg) de composé indésirable t pour 100g d'aliment j, et où VMR_t est la valeur moyenne entre les VMR des hommes et des femmes pour le composé indésirable t.

- ❖ A partir des SCI par aliment, on calcule la valeur moyenne de SCI pour 10MJ dans les groupes d'aliments :

$$SCI_k/10MJ = \left[\sum_{j=1}^{j=J} (SCI_j / AE_j) * 10 \right] / J$$

- ❖ A partir du prix et de la teneur en énergie de 100g de chaque aliment, on calcule le coût moyen pour 10MJ dans chaque groupe k :

$$CE_k = \left[\sum_{j=1}^{j=J} (\text{PRIX}_j / AE_j) * 10 \right] / J$$

où PRIX_j est le prix pour 100g (€/100g) de l'aliment j et AE_j est la quantité d'énergie (en MJ) pour 100g de l'aliment j et où J est le nombre d'aliments dans le groupe k.

3. Analyse Statistique

Dans cette étude, l'hypothèse que l'on souhaite vérifier est que les groupes d'aliments qui sont des source d'énergie bon marché (c'est à dire qui ont un faible coût d'énergie) ont en moyenne une faible valeur pour l'indice de bonne qualité nutritionnelle (SAIN ou NAS) et une valeur élevée pour l'indice de mauvaise qualité nutritionnelle (SCI ou UCS). L'égalité des moyennes de NAS/10MJ et d'UCS/10MJ a été testée à l'aide de régressions linéaires multiples avec comme variables indépendantes le groupe d'aliments et l'identifiant de l'individu. En effet, il faut prendre en compte le fait qu'un individu consomme des aliments de tous les groupes, c'est-à-dire que l'on ajuste sur la variabilité intra-individuelle. Ensuite, les mêmes indicateurs et le coût de l'énergie ont été comparés selon que les calculs ont été réalisés à partir des aliments disponibles dans la table ou des rations consommées par les participants. Pour cela, nous avons, en premier lieu, testé l'égalité des variances, puis réalisé un test d'égalité des moyennes avec le test de Student en prenant en compte l'égalité ou la différence des variances. Le seuil de significativité des tests est 5 %. Toutes les analyses et tous les graphiques ont été réalisés avec le logiciel SAS.

B. Résultats

Comme l'indique le tableau 3, dans notre échantillon, l'apport énergétique moyen est de 8.4 MJ par jour (9.4 pour les hommes et 7.2 pour les femmes) et le coût des rations consommées est de 5.1 € par jour (5.5 pour les hommes et 4.5 pour les femmes). Le coût de l'énergie est donc en moyenne de 6.2 €/10MJ (6.0 pour les hommes et 6.3 pour les femmes).

Tableau 3. Moyennes de l'apport énergétique journalier, du coût par jour et du coût de l'énergie dans la population entière et par sexe.

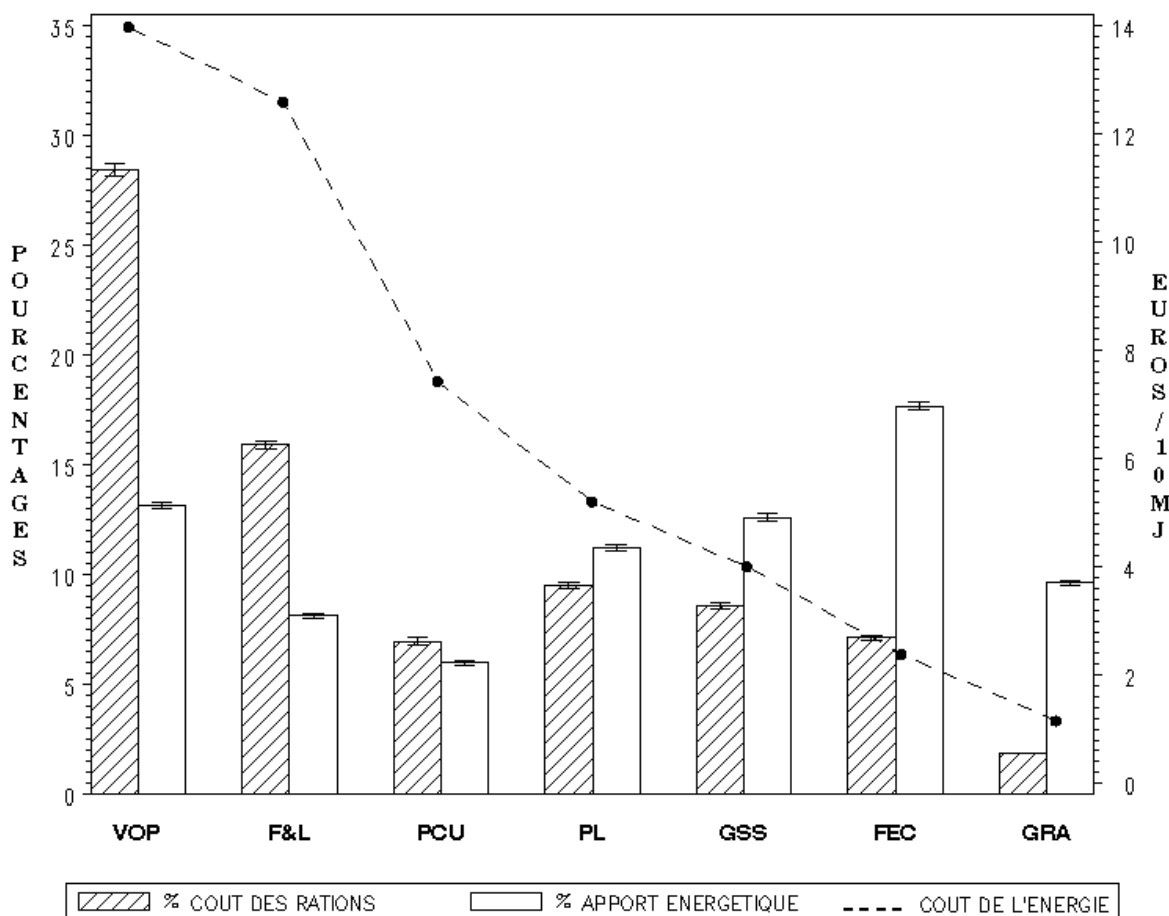
	Population totale		Hommes		Femmes	
n	4834		2559		2275	
	Moyenne (ET)		Moyenne (ET)		Moyenne (ET)	
Apport énergétique journalier, MJ/j	8.4	2.31	9.4	2.20	7.2	1.82
Coût par jour, €/j	5.1	1.42	5.5	1.41	4.50	1.22
Coût de l'énergie, €/10 MJ	6.2	1.31	6.0	1.25	6.3	1.35

Hiérarchie coût / énergie entre groupes d'aliments

Tout d'abord, nous nous sommes intéressés à la contribution moyenne de chaque groupe d'aliments au coût journalier des rations, en pourcentage (figure 1). En moyenne, la plus grande part (28.50%) du coût des rations des volontaires de SU.VI.MAX. est destinée aux « viandes/œufs/poissons ». Viennent ensuite les « fruits et légumes » qui représentent environ 16% du coût journalier. Les « plats cuisinés », les « produits laitiers », les « féculents » et « produits gras-sucrés gras-salés » représentent chacun moins de 10% du coût journalier. Enfin, les « matières grasses » animales et végétales représentent seulement 2% du coût journalier. A chacun de ces pourcentages, nous avons comparé la part moyenne de l'apport énergétique. Ainsi, nous avons constaté que les groupes qui contribuent le plus au coût des rations ne sont pas ceux qui contribuent le plus à l'apport énergétique total des individus. Le groupe des « viandes/œufs/poissons » contribue seulement à 13% de l'apport énergétique total et celui des « fruits et légumes » à 8.5% alors qu'ils représentent respectivement 28.5% et 16% du coût des rations.

Dans toutes les figures, les groupes d'aliments sont représentés dans l'ordre décroissant du coût de l'énergie. Le coût de l'énergie est représenté par une courbe dans les figures 1 et 2 afin de comparer directement la place des indicateurs de bonne et mauvaise qualité nutritionnelle par rapport à ce coût d'énergie.

Figure 1. Contribution des 7 groupes d'aliments au coût et à l'énergie de l'alimentation moyenne des volontaires de SU.VI.MAX., et coût de l'énergie de chacun des groupes.



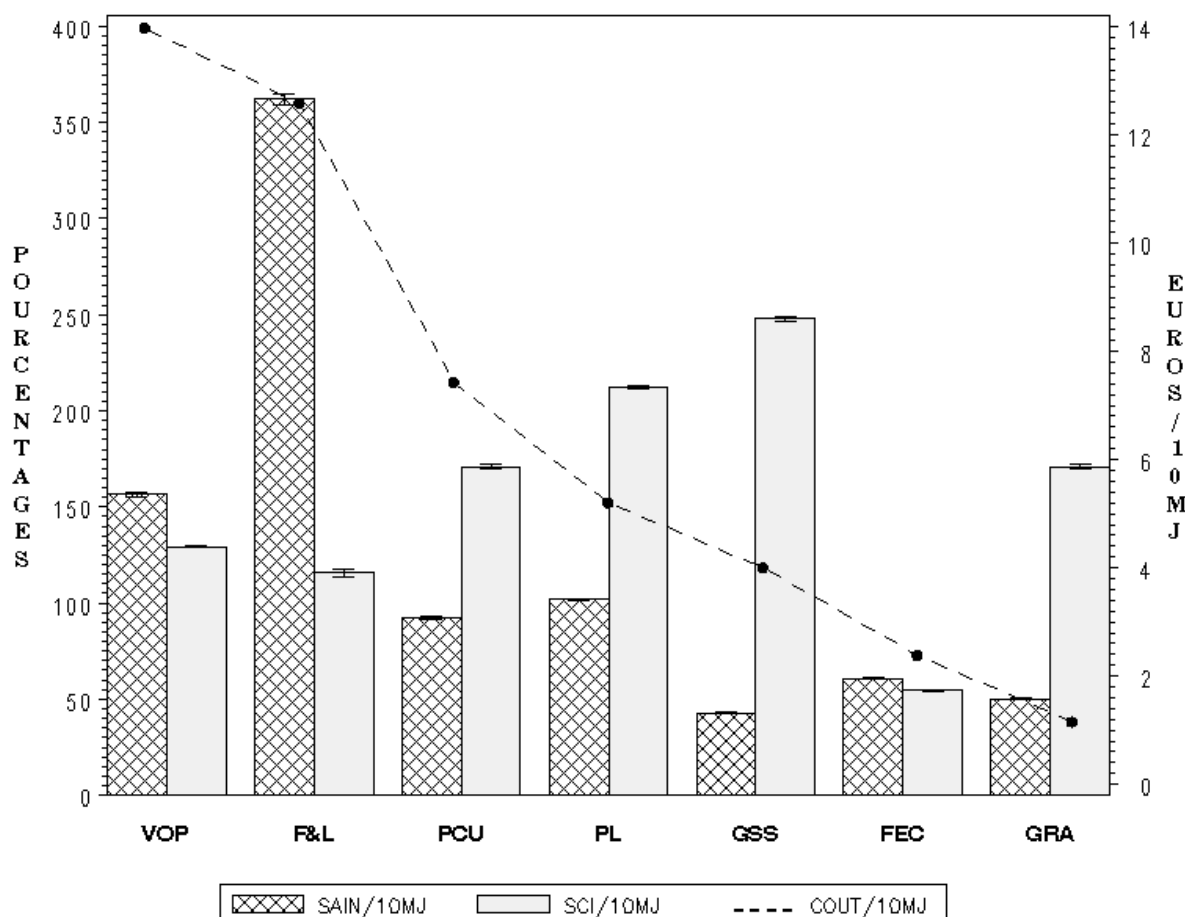
Hiérarchie qualité nutritionnelle / coût entre groupes d'aliments

Sur la figure 2, les deux indicateurs (SAIN et SCI) sont exprimés pour 10MJ. Le groupe des « fruits et légumes » se distingue par sa valeur moyenne de NAS/10MJ qui est largement supérieure à celle des autres groupes puisqu'elle atteint 365 % pour 10MJ, c'est à dire que, en moyenne, un individu couvrirait 365% de son besoin nutritionnel moyen s'il consommait 10MJ de fruits et légumes. Pour une même quantité d'énergie, les « viandes/œufs/poissons » permettent de couvrir 155% des besoins nutritionnels moyens, et les « produits laitiers » 101%. Les autres groupes ont tous un SAIN inférieur à 100%. Parmi eux, les « plats cuisinés » ont un indice moyen de qualité nutritionnelle pour 10MJ supérieur à celui des « féculents » et « matières grasses », qui ont eux-mêmes des SAIN/10MJ semblables. Le groupe qui a le plus faible SAIN (40%/10MJ) est le groupe des « produits gras-sucrés gras-salés ».

En comparant la courbe du coût de l'énergie et l'histogramme du SAIN/10MJ, il semblerait que les groupes d'aliments ayant un faible coût de l'énergie (en €/10MJ) sont également ceux qui ont une faible qualité nutritionnelle, avec toutefois deux cas particuliers : le groupe des « fruits et légumes » ainsi que celui des « produits gras-sucrés gras-salés ». Le SAIN/10MJ moyen des fruits et légumes est élevé et celui des produits gras-sucrés gras-salés est faible par rapport à leurs coûts d'énergie respectifs.

Les « plats cuisinés », les « produits laitiers », les « produits gras-sucrés gras-salés » et les « matières grasses » sont les groupes contenant le plus de composés indésirables car leur moyenne de SCI/10MJ est supérieure à 150 %. Les « viandes/œufs/poissons » et surtout les « fruits et légumes » ont des indicateurs plus proche de 100 %, ce qui signifie que les valeurs maximales en composés indésirables ne seraient pas dépassées, en moyenne, avec 10MJ des aliments de ces groupes. Le groupe des « féculents » se distingue des autres par sa très faible valeur de SCI/10MJ puisque celle-ci n'est que de 60%/10MJ. Cela signifie que, en moyenne, un individu qui consommerait 10MJ de féculents ne dépasserait pas les limites maximales en composés indésirables. Ce groupe est le seul à avoir un SCI inférieur à 100%.

Figure 2. Moyenne du SAIN/10MJ, du SCI/10MJ et Coût de l'énergie des différents groupes d'aliments consommés par les volontaires de SU.VI.MAX.

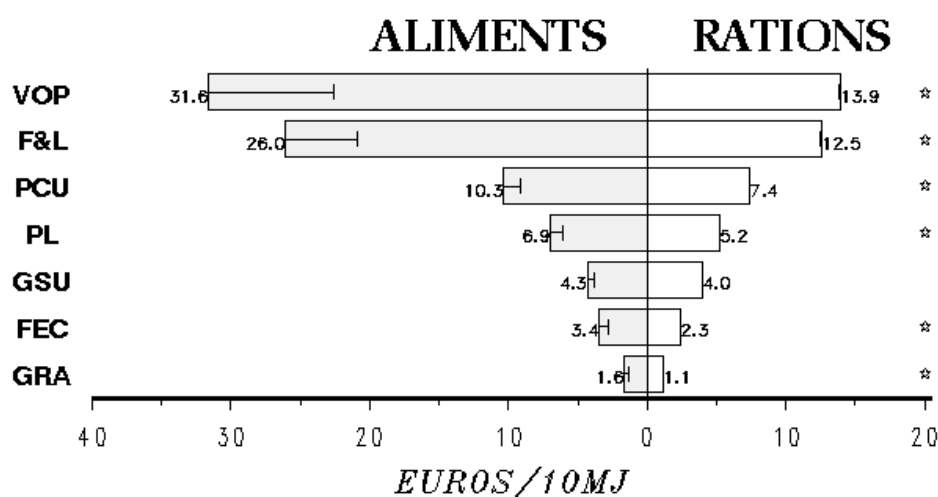


Comparaisons consommations alimentaires / aliments disponibles

Dans chaque groupe d'aliments, nous avons ensuite comparé le coût de l'énergie moyen ainsi que la qualité nutritionnelle moyenne selon que ces indicateurs étaient calculés à partir des aliments présents dans la table SU.VI.MAX ou des consommations chez les volontaires.

Figure 3. Coût de l'énergie moyen d chaque groupe calculé à partir des aliments disponibles dans la table (ALIMENTS) ou à partir des rations consommées par les participants de l'étude SU.VI.MAX. (RATIONS).

☆ : indique une différence significative au seuil de 5% entre la valeur calculée à partir des aliments et celle calculée à partir des rations.

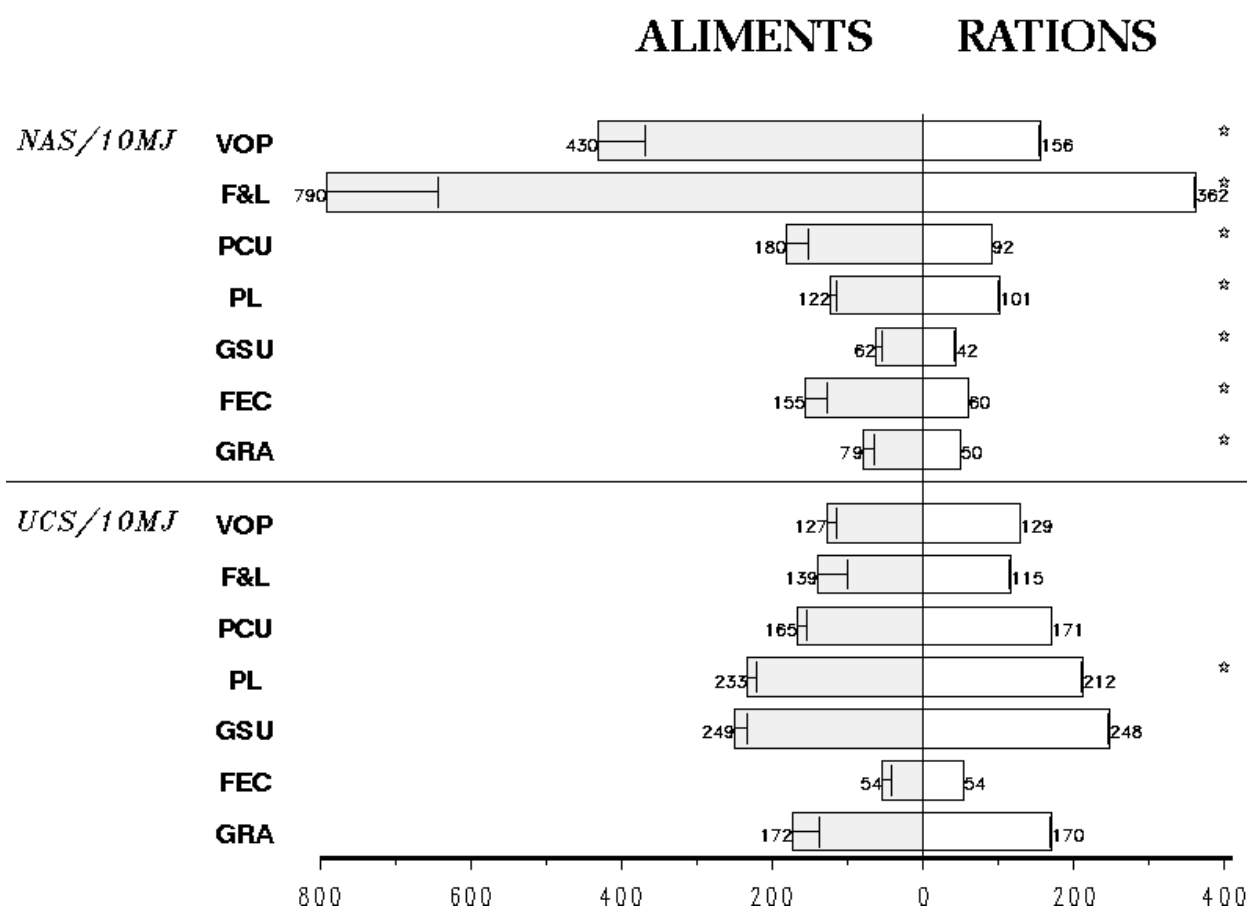


En terme de coût de l'énergie, on retrouve approximativement la même hiérarchie entre groupes d'aliments que les calculs soient fait à partir des rations ou à partir des aliments (Figure 3). La variabilité du coût de l'énergie est toujours plus élevée lorsque les calculs sont faits à partir des aliments, surtout dans le groupe des « viandes/œuf/poissons » et des « fruits et légumes ». Dans tous les groupes sauf celui des « produits gras-sucrés gras-salés », les conclusions des tests de Student avec variances inégales montrent que les coûts de l'énergie sont plus élevés en moyenne quand le calcul est fait à partir des aliments.

Ces résultats indiquent que les individus sélectionnent, dans chaque groupe, les aliments qui sont les sources les moins chères d'énergie. Nous voulons savoir si ces choix conduisent également à une qualité nutritionnelle plus faible (Figure 4).

Figure 4. SAIN/10MJ moyen et SCI/10MJ moyen de chaque groupe calculé à partir des aliments disponibles dans la table (ALIMENTS) ou à partir des rations consommées par les participants de l'étude SU.VI.MAX. (RATIONS).

☆ : indique une différence significative au seuil de 5% entre la valeur calculée à partir des aliments et celle calculée à partir des rations.



La hiérarchie du SAIN/10MJ entre groupes d'aliments est approximativement la même qu'il soit calculé à partir des aliments disponibles ou à partir des rations consommées. La variabilité de cet indicateur est toujours plus élevée lorsqu'il est estimé à partir des aliments de la table. Parmi les aliments disponibles, les plus grandes variabilités s'observent dans le groupe des « fruits et légumes » et des « viandes/œuf/poissons ». Dans les sept groupes, le SAIN/10MJ moyen dans les rations consommées est significativement inférieur à celui des aliments disponibles.

Quant à l'indicateur de mauvaise qualité nutritionnelle, on retrouve exactement la même hiérarchie entre les groupes d'aliments, que les calculs soient faits à partir des aliments de la table ou des rations consommées, à savoir que plus le coût d'énergie est faible plus le SCI/10MJ est fort, excepté pour les « féculents » et les « matières grasses ».

Dans tous les groupes, la variabilité du SCI/10MJ est plus grande lorsqu'il est calculé à partir des aliments de la table. Contrairement aux autres indicateurs (CE et SAIN/10MJ) on n'observe aucune différence statistiquement significative selon le mode de calcul du SCI, sauf pour les « produits laitiers », où les individus consommeraient préférentiellement ceux avec un SCI/10MJ plus faible. Une autre explication possible à cette différence entre les 2 modes de calcul dans ce groupe est que les produits laitiers (98) avec un fort SCI sont sur-représentés dans la table par rapport à ceux qui ont un SCI faible, ce qui est probablement le cas étant donné le nombre important de fromages (54) dans la table de composition SU.VIMAX

Globalement, la variabilité de l'UCS/10MJ est plus faible que celle du NAS/10MJ.

Tableau 4. NAS/10MJ, UCS/10MJ et coût de l'énergie (€/10MJ) des volontaires SU.VI.MAX. issus des sous-groupes d'aliments.

Groupes	Sous-groupes	NAS / 10MJ		UCS / 10MJ		COUT / 10MJ	
		Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET
VOP	Crustacés	325	187	149	95	88,4	73,6
	Poissons	523	298	92	73	21,6	14,2
	Volailles	129	58	119	63	14,7	4,8
	Viande rouge	79	26	106	30	13,0	3,7
	Abats	280	179	103	42	11,0	5,5
	Charcuterie	74	41	219	42	7,8	4,4
	Œufs	199	56	142	25	4,2	0,6
F&L	Condiments	377	297	297	211	36,8	56,7
	Légumes	572	238	233	150	20,3	7,5
	Fruits	319	190	32	35	10,3	4,5
	Fruits secs	107	49	4	1	4,7	1,1
	Graines oléagineuses	108	41	62	38	2,8	1,1
PCU	Plats cuisinés	108	48	170	51	8,4	5,7
	Pizzas, quiches, tartes salées	75	33	176	38	6,3	2,8
PL	Yaourts	127	40	167	58	6,3	1,8
	Fromages	80	17	273	28	5,9	1,7
	Lait	126	35	143	37	2,8	0,6
FEC	Légumes secs	164	47	48	41	4,8	1,5
	Produits céréaliers complets	76	21	56	18	4,4	1,2
	Céréales petit déjeuner	173	62	139	46	2,9	0,5
	Pommes de terre	125	31	61	40	2,2	0,8
	Féculents raffinés	34	7	47	12	2,0	0,3
GSU	Produits gras-salés	60	45	169	45	4,1	1,1
	Produits gras-sucrés	43	15	255	47	4,0	1,3
GRA	Matière grasse animale	25	5	316	36	1,6	0,3
	Matière grasse végétale	68	18	89	23	0,9	0,3

Place des sous-groupes d'aliments à l'intérieur de chaque groupe

Le tableau 4 indique les valeurs moyennes du coût de l'énergie, du SAIN/10MJ et de l'UCS/10MJ pour chacun des groupes et sous-groupes d'aliments. A l'intérieur de chaque groupe, les sous-groupes sont triés dans l'ordre décroissant du coût de l'énergie. (tableau 4). Les valeurs prises par les 3 indicateurs sont très variables d'un sous-groupe d'aliment à l'autre, même au sein d'un même groupe d'aliment. Ceci est en accord avec la forte variabilité des indicateurs précédemment observée dans chaque groupe.

Dans le groupe des « **viandes/œufs/poissons** » on repère rapidement que le *poisson*, les *crustacés* et les *abats* sont les aliments qui ont le plus fort SAIN/10MJ. La *viande rouge* (79%/10MJ) et la *charcuterie* (74 %/10MJ) sont les seuls du groupe à avoir un SAIN/10MJ inférieur à 100% mais la *viande rouge* a un SCI/10MJ plus faible (106 %) que celui de la charcuterie (219 %).

Tous les « **fruits et légumes** » ont un SAIN/10MJ supérieur à 100%. Dans ce groupe, les condiments sont à part puisque leur coût pour 10MJ est très élevé. Le SAIN/10MJ des *légumes* tels que consommés par les volontaires (572%) est plus élevé que celui des *fruits* (319%). En revanche, le SCI/10MJ des fruits (32 %) est nettement plus faible que celui des légumes (233 %). Les *fruits secs* et *graines oléagineuses* ont un SAIN/10MJ faible mais également et un faible SCI/10MJ et sont des sources peu chères d'énergie, relativement aux autres sous-groupes du groupe « **fruits et légumes** ».

Remarque: Contrairement à ce que pourrait attendre un nutritionniste, les fruits et légumes n'ont pas un SCI/10MJ nul. En fait, il est globalement du même ordre de grandeur que celui des « **viandes/œufs/poissons** » (130 % et 120 % pour les « **fruits et légumes** » et pour les « **viandes/œufs/poissons** », respectivement). La présence de sel dans les légumes et leur faible densité énergétique (il faut beaucoup de Kg de légumes pour apporter 10MJ d'énergie) explique ce relativement fort SCI des légumes.

Au sein des « **produits laitiers** », les laitages (comme les *yaourts*) ont en moyenne un SAIN/10MJ et un SCI/10MJ très proche de celui du *lait* pour un coût d'énergie deux fois plus fort. Nous rappelons que les desserts lactés (crème, flans, ...) ne sont pas inclus dans les « **produits laitiers** » mais dans les « **produits gras-sucrés gras-salés** ». Les *fromages* quant à eux ont un SAIN/10MJ inférieur à 100%, plus faible que celui des autres sous-groupes du même groupe, et un SCI/10MJ très élevé (273%), plus élevé que celui des autres sous-groupes du même groupe.

Dans le groupe des « **féculents** », on distingue immédiatement les *féculents raffinés*, qui en moyenne ont un SAIN/10MJ très faible (34%) , plus faible que celui de tous les autres

féculents qui ont un SAIN/10MJ généralement supérieur à 100% (sauf les *produits céréaliers complets* dont le SAIN/10MJ est égal à 76 %). Les *produits céréaliers complets* ont un SAIN/10MJ similaire (76 %) à celui, dans les autres groupes, de la *viande rouge*, des *charcuteries*, des *pizzas*, du *fromage*, mais leur SCI est plus faible (YY%). D'une façon générale, le SCI/10MJ des « **féculents** » est faible (inférieur à 65%) sauf celui des *céréales du petit déjeuner* (139%).

Les « **produits gras-sucrés et gras-salés** » ont évidemment un très faible SAIN/10MJ (40 %) et un fort SCI/10MJ (250 %).

Enfin, au sein des « **matières grasses** », la différence entre matières grasses *végétales* et *animales* est très nette. Malgré un coût d'énergie plus faible que celui des *matières grasses animales*, les *matières grasses végétales* ont un plus fort SAIN/10MJ et un plus faible SCI/10MJ. Elles ont donc incontestablement un meilleur rapport qualité nutritionnelle/prix que les *matières grasses animales*. .

C. Discussion

Nos résultats mettent en évidence l'existence d'une hiérarchie entre les grands groupes d'aliments, en terme de rapport coût-énergie. Le groupe des « viandes/œufs/poissons » et des « fruits et légumes » absorbent la plus grande part du budget alimentaire alors qu'ils contribuent peu aux apports énergétiques. Dans les groupes « produits gras-sucrés gras-salés », « féculents » et « matières grasses », on observe une relation inverse : la part de l'apport énergétique est bien supérieure à la part des dépenses alimentaires. Enfin, les deux derniers groupes (« produits laitiers » et « plats cuisinés ») se distinguent par le fait que les pourcentages des dépenses et d'énergie sont très proches (bien qu'ils soient statistiquement différents du fait des très faibles écart-types liés au grand nombre de sujets). Les valeurs de coût d'énergie (en €/10MJ) montrent que les « viandes/œufs/poissons » et les « fruits et légumes » sont des sources chères d'énergie alors que les « plats cuisinés » et « produits laitiers » sont des sources d'énergie de prix moyen et que les « féculents », « produits gras-sucrés gras-salés » et « matières grasses » sont des sources d'énergie bon marché.

Les résultats indiquent également que cette hiérarchie du coût de l'énergie est globalement associée à une hiérarchie en terme de qualité : les groupes de plus fort coût d'énergie étant globalement ceux de qualité nutritionnelle plus élevée, ce qui se traduit par un SAIN élevé et un SCI faible pour 10MJ. Certains groupes échappent cependant à cette règle générale. Les « fruits et légumes » ont un SAIN exceptionnellement élevé (le plus fort) par rapport à leur coût d'énergie, proche de celui des « viandes/œufs/poissons ». Les « féculents » se distinguent par leur faible SCI (le seul à ne pas dépasser 100%) malgré un très faible coût de l'énergie. Ceci est dû au peu de sel, de sucre et d'AGS présents dans ces aliments. Enfin, le groupe des « produits gras-sucrés gras-salés », constitué d'aliments essentiellement composés de féculents raffinés, de sucre et/ou de sel, et de matières grasses n'a aucun avantage car il a le plus faible SAIN et le plus fort SCI malgré un coût d'énergie non négligeable puisqu'il coûte près de deux fois plus cher pour 10MJ que les « féculents ».

On retrouve la même hiérarchie qualité/prix entre groupes d'aliments, que les calculs soient faits à partir des aliments de la table ou à partir des consommations alimentaires des individus, ce qui suggère que cette hiérarchie est due à la structure même des prix des aliments disponibles au sein de chaque groupe et à leur composition nutritionnelle, et non pas aux choix alimentaires des individus. Cependant, quel que soit le groupe, les valeurs du coût

de l'énergie et du SAIN/10MJ sont plus élevées quand les calculs sont réalisés à partir des aliments de la table plutôt qu'à partir des consommations alimentaires réellement observées. Ceci suggère que, dans chaque groupe, les individus délaissent les aliments qui sont des sources chères d'énergie et qui ont un fort SAIN/10MJ. Cette sélection pourrait être due, au moins en partie à des raisons d'ordre économique.

Les grands écarts de moyennes entre les deux modes de calcul sont observés au sein des groupes pour lesquels la qualité nutritionnelle des aliments varie beaucoup (variation indiquée par les intervalles de confiances). Ainsi les aliments de très bonne qualité nutritionnelle dans les « fruits et légumes » ou les « féculents » sont peut être des aliments peu communs et donc peu consommés par les individus. A l'inverse, dans les groupes « produits gras-sucrés gras-salés » et « matières grasses », les aliments sont homogènes (ou faiblement hétérogènes), par conséquent le choix des aliments a moins d'impact sur la couverture moyenne du besoin nutritionnel, qui de toute façon est très faible avec ce type d'aliments. Dans les groupes des « féculents », des « fruits et légumes » et des « viandes/œufs/poissons », on voit très clairement que les individus sélectionnent les « moins bons ».

Il semblerait que dans les groupes où on trouve une grande variabilité de la qualité et du prix des aliments, les volontaires SU.VI.MAX se soient tournés vers les aliments les moins chers en énergie mais également les moins denses en nutriments essentiels. Dans ces mêmes groupes, on pourrait s'attendre à ce que l'indice de mauvaise qualité nutritionnelle soit donc plus élevé dans les rations que dans les aliments de la table, mais ce n'est pas le cas : ils sont en moyenne égaux. Cette comparaison entre les deux modes de calcul permet de conclure que les individus sélectionnent dans chaque groupe les aliments les moins chers mais aussi les moins intéressants en terme de SAIN, mais pas vraiment en fonction du SCI.

Dans les détails des sous-groupes, on remarque que les individus n'achètent pas cher l'énergie des *charcuteries*, mais ils en paient les conséquences puisque l'apport en nutriments est très faible et que l'apport en mauvais composés, au contraire, est élevé. La valeur moyenne du SAIN/10MJ dans le groupe des « viandes/œufs/poissons » étant plus faible quand il est calculé à partir des rations qu'à partir des aliments de la table, il se pourrait que les individus consomment en majorité les *viandes rouges*, *charcuteries*, *volailles* et *œufs*, d'autant que ce sont les aliments les plus communs et surtout les moins chers. Au sein de ce groupe, pourtant, la viande rouge et les charcuteries devraient être consommées en quantité limitée et les poissons favorisés. Dans le groupe des « fruits et légumes », les individus consomment

certainement en majorité les *fruits* ainsi que les *légumes* plutôt que les *condiments* et *graines oléagineuses*. Parmi ces deux sous-groupes, la variabilité étant grande également, les individus doivent sélectionner les aliments les plus faibles en SAIN/10MJ. Dans le groupe des « produits laitiers », la consommation de *fromages* plutôt que du *lait* et des *autres produits laitiers* fait diminuer la couverture des besoins nutritionnels et augmente l'excès en mauvais composés. Ces résultats indiquent que les *fromages* devraient être consommés en quantité modérée au sein des produits laitiers.

Globalement, à l'intérieur des groupes, on ne retrouve pas de façon très appuyée le lien positif entre le coût de l'énergie et le SAIN/10MJ entre sous-groupes. En effet, il y a des sous-groupes forts en SAIN/10MJ et faibles en €/10MJ comme par exemple le *lait* et les *œufs* ou encore les *céréales du petit déjeuner* et les *pommes de terre*. A l'inverse, certains sous-groupes sont faibles en SAIN/10MJ et élevés en coût de l'énergie comme les *viandes rouges*, les *plats cuisinés* ou les *pizzas*.

Une analyse plus fine au niveau des aliments à l'intérieur de chaque sous-groupe devrait permettre d'identifier les aliments de meilleur rapport qualité prix. Par exemple, cette étude suggère que la consommation de poisson et de légumes devrait être favorisée mais que cela risquerait d'entraîner un surcoût. Il est possible néanmoins que certains aliments se distinguent à l'intérieur de chacun de ces sous-groupes par un meilleur rapport qualité prix. Des outils mathématiques sophistiqués tel que la programmation linéaire ou la classification ascendante hiérarchique pourraient aider à identifier ses aliments.

III. Classification des aliments en terme de coût et de qualité.

La première étude a montré qu'une alimentation de bonne qualité nutritionnelle est globalement plus chère qu'une alimentation de mauvaise qualité nutritionnelle. La deuxième étude a montré que cette association positive entre coût et qualité nutritionnelle des rations pouvait être attribuée à l'existence d'une hiérarchie entre les grands groupes d'aliments. Il y a néanmoins quelques exceptions à cette règle. Notamment, le groupe des « féculents » apporte très peu de composés indésirables bien qu'il soit une source très bon marché d'énergie. De même, à l'intérieur de chaque grand groupe d'aliments, les sous-groupes de meilleure qualité nutritionnelle ne sont pas toujours les plus chers. Cette étude a également montré que le coût et la qualité nutritionnelle des groupes d'aliments, tels que consommés par les individus étaient inférieurs au coût et à la qualité nutritionnelle des groupes d'aliments tels que disponibles dans la table de composition des aliments. Ceci suggère que les individus sélectionnent préférentiellement, au sein de chaque groupe, les aliments les moins chers et/ou de moins bonne qualité nutritionnelle.

Cette troisième étude avait initialement pour objectif de vérifier s'il existait aussi, au sein de des groupes d'aliments, une hiérarchie qualité-prix entre les aliments (les plus chers étant toujours les meilleurs) similaire à la hiérarchie entre groupes au sein de l'alimentation dans sa globalité. Cependant, une étude menée en parallèle, dans l'équipe, sur le rapport qualité-prix des « fruits et légumes » avait montré qu'il n'existait pas, au sein de ce groupe, de corrélation entre le prix et la qualité nutritionnelle des aliments¹ (Annexe 3.1).

De plus, des résultats préliminaires (non montrés) suggèrent que la même absence de relation est retrouvée au sein de chaque groupe d'aliments. En effet, si une relation positive entre qualité et prix semble toujours exister, elle est généralement faible, ce qui signifie que beaucoup d'aliments échappent à cette règle générale. C'est à dire qu'il doit être possible, au sein de chaque groupe, d'identifier des aliments bon marché et de bonne qualité nutritionnelle et, au contraire, des aliments chers et de mauvaise qualité nutritionnelle. C'est l'objectif de cette troisième étude d'identifier ces aliments, au sein de chaque groupe. Dans ce document, seuls les groupes « produits laitiers », « viandes/œufs/poissons » et « féculents » ont été traités.

¹Darmon N, Darmon M, Maillot M, Drewnowski A. A nutrient density standard for vegetables and fruit: Nutrients per calorie and nutrient per unit cost. *JADA* 2005 (sous presse)

A. Méthodes

1. Données et variables actives

Les données utilisés sont issues de la table de composition des aliments de SU.VI.MAX. dans laquelle 691 aliments (dont les plats cuisinés) ont été sélectionnés. Pour chacun d'entre eux, on dispose de la quantité d'énergie, de leur prix et de la quantité de chaque nutriment, pour 100g d'aliment. Nous avons réalisé une classification de ces aliments, en termes de prix et de qualité nutritionnelle. Pour cela, les variables utilisées (que l'on peut appeler « variables actives ») sont les mêmes que dans les deux analyses précédentes : le coût de l'énergie (en €/10MJ), la densité énergétique (en MJ/Kg), le SAIN pour 10MJ (en %/10MJ) et le SCI pour 10MJ (en %/10MJ). Ces indicateurs ont été calculés sur chacun des 691 aliments issus de la table de composition des aliments de SU.VI.MAX..

Rappel des calculs :

Pour un aliment j donné :

❖ Coût de l'énergie, en €/10MJ : $COUT_j/10MJ = (PRIX_j / AE_j) * 10$

où $PRIX_j$ est le prix pour 100g de l'aliment j et AE_j est l'apport énergétique (en MJ) pour 100g de l'aliment j.

❖ Densité énergétique, en MJ/Kg : $DE_j = AE_j * 10$

❖ SAIN/10MJ, en %/10MJ : $SAIN_j/10MJ = [((\sum_{p=1}^{p=14} (Nutriment_{jp} / BNM_p) / 14) * 100) / AE_j] * 10$

où $Nutriment_{jp}$ est la quantité (en g, mg ou µg) du nutriment p pour 100g d'aliment j. BNM_p est la valeur moyenne entre les BNM des hommes et des femmes pour le nutriment p.

Le nom anglais correspondant à SAIN est le NAS, qui signifie Nutrient Adequacy Score.

❖ SCI/10MJ, en %/10MJ : $SCI_j/10MJ = [((\sum_{t=1}^{t=3} (Comp. Ind._{jt} / VMR_t) / 3) * 100) / AE_j] * 10$

où composé indésirable_{jt} est la quantité (en g ou mg) de composé indésirable t pour 100g d'aliment j. VMR_t est la valeur moyenne entre les VMR des hommes et des femmes pour le composé indésirable t.

Le nom anglais correspondant à SCI est l'UCS, qui signifie Undesirable component Score.

La classification, estimée sur ces quatre indicateurs, a été réalisée sur les aliments de chacun de trois groupes (« produits laitiers », « viandes/œufs/poissons » et « féculents ») indépendamment les uns des autres. C'est à dire que nous avons classé les aliments du groupe « produits laitiers », puis dans un second temps, ceux du groupe « viandes/œufs/poissons », et enfin les "féculents". En effet, nous souhaitons comparer des aliments comparables. Par exemple, dire que l'huile de noix a un meilleur rapport qualité nutritionnelle prix que la volaille n'a pas d'intérêt puisque l'on ne va pas consommer de l'huile à la place de la viande. L'objectif est bien de trouver, parmi une catégorie (la plus objective possible) d'aliments, ceux ayant les meilleures caractéristiques. Les sept grands groupes d'aliments (Tableau 1) sont les mêmes que ceux de l'étude précédente avec toutefois un petit changement au niveau des desserts lactés. Pour la classification, nous les avons inclus dans le groupe des « produits laitiers » ce qui n'était pas le cas précédemment puisqu'on les avait introduits dans le groupe des « produits gras-sucrés gras-salés ».

Tableau 1. Détails des groupes. Les groupes traités sont colorés en jaune.

Groupes	Sous-groupes
Viandes, Œufs, Poissons	Crustacés, Poissons, Volailles, Viande rouge, Abats, Charcuterie, Œufs
Fruits et Légumes	Condiments, Légumes, Fruits, Fruits secs, Graines oléagineuses
Plats Cuisinés	Plats composés prêts à l'emploi, Pizzas et quiches et tartes salées
Produits Laitiers	Yaourts, Fromages, Lait, Desserts lactés
Féculents	Légumes secs, Produits céréaliers complets, Céréales petit déjeuner, Pommes de terre, Féculents raffinés
Produits gras-sucrés gras-salés	Produits gras-salés, Produits gras-sucrés
Matières grasses	Matière grasse animale, Matière grasse végétale

2. Analyse statistique

L'analyse statistique, pour un groupe d'aliments donné, se déroule en deux étapes. Tout d'abord, on effectue une Analyse en Composantes Principales (ACP) centrée-réduite avec les 4 variables actives, qui sont le coût de l'énergie (en €/10MJ), la densité énergétique (en MJ/Kg), le SAIN/10MJ et le SCI/10MJ, sur les aliments concernés. L'interprétation des axes principaux de l'ACP nous aide à structurer la classification. De plus, les 4 nouveaux axes, issus de l'ACP, sont indépendants, donc l'information n'est plus redondante.

La deuxième étape consiste à réaliser une classification ascendante hiérarchique (CAH) avec le critère de Ward sur les nouveaux axes principaux de l'ACP. Ainsi, les résultats de la classification seront plus robustes. Nous rechercherons le nombre de classes idéal à l'aide du dendrogramme, du R^2 et du semi-partial R^2 . Le R^2 correspond à la part de la variance inter-classe dans la variance totale et le semi-partial R^2 correspond à l'augmentation de R^2 entre n classes et $n-1$ classes.

Afin de réaliser ces classifications, on a créé un outil (macro SAS) qui automatise toute la procédure statistique (ACP puis CAH) et qui crée des graphiques, facilitant l'interprétation des résultats (Annexe 3.2). Cette macro sas peut être utilisée pour n'importe quelle classification précédée d'une ACP.

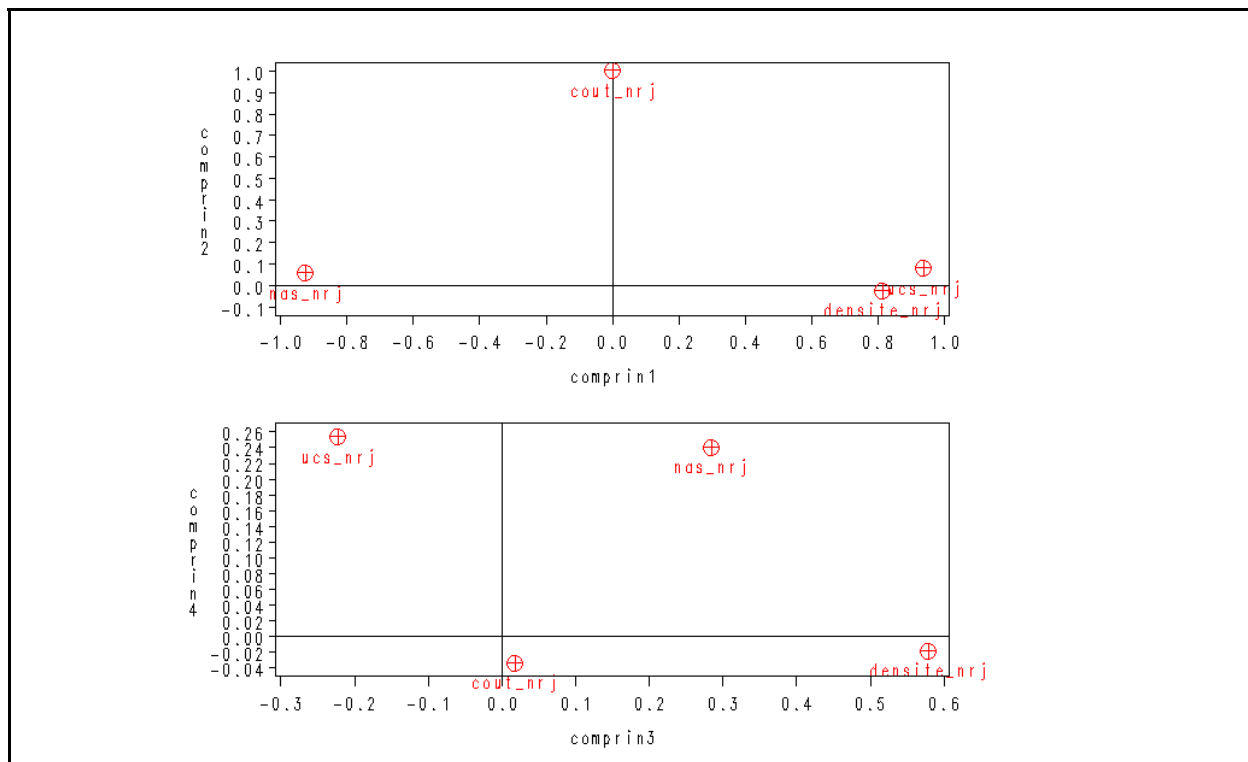
B. Résultats

L'interprétation des résultats issus de la macro SAS sont détaillés pour un groupe d'aliments : les « produits laitiers ». Puis les résultats finaux des deux autres classifications sont résumés dans un tableau.

1. Résultats de l'ACP et de la CAH sur les produits laitiers

L'Analyse en Composante Principale centrée-réduite réalisée sur les 104 produits laitiers avec comme variables actives le coût de l'énergie, la densité énergétique, le SAIN/10MJ et le SCI/10MJ, aboutit à la répartition de l'inertie totale sur les quatre axes principaux tel que : l'axe 1 est porteur de 60% de l'inertie totale, l'axe 2 de 25%, l'axe 3 de 12% et l'axe 4 de 3%. On interprète les axes principaux à l'aide de la représentation graphique des points variables (Figure 1) dans l'espace de représentation des variables et des valeurs de cosinus carrés et de contribution à l'inertie de ces points variables.

Figure 1. Représentation graphique des points variables sur les deux premiers plans factoriels.



L'axe 1 oppose les produits laitiers ayant une densité énergétique et un SCI /10MJ élevés et un SAIN/10MJ faible, aux aliments ayant une densité énergétique et un SCI/10MJ faible et un SAIN/10MJ élevé. Cet axe mesure la qualité nutritionnelle des produits laitiers. Le second axe mesure le coût de l'énergie. Le troisième axe oppose les aliments dense en énergie et faible en SCI/10MJ aux aliments peu dense en énergie et dense en SCI. Enfin, le quatrième axe discrimine les produits laitiers ayant un rapport qualité-prix (SAIN/10MJ élevé et COUT/10MJ faible) élevé aux produits laitiers de mauvais rapport qualité-prix (SAIN/10MJ faible et COUT/10MJ élevé).

Tableau 1. Résumé pour les 10 derniers regroupements, des valeur des indices permettant de choisir le nombre de classes.

NCL	Clusters	Joined	FREQ	SPRSQ*	RSQ**	ERSQ	CCC	PSF
10	451	807	2	0.0127	.855	.834	2.04	61.5
9	CL20	CL31	9	0.0164	.839	.820	1.68	61.7
8	CL21	CL17	18	0.0177	.821	.804	1.48	62.8
7	CL18	CL14	11	0.0357	.785	.783	0.14	59.1
6	CL15	CL12	29	0.0383	.747	.758	-.77	57.8
5	CL8	CL11	53	0.0443	.702	.724	-1.4	58.4
4	CL9	CL7	20	0.0537	.649	.678	-1.7	61.6
3	CL6	CL10	31	0.0784	.570	.607	-1.7	67.0
2	CL3	CL5	84	0.1532	.417	.458	-1.3	73.0
1	CL4	CL2	104	0.4171	.000	.000	0.00	.

* SPRSQ = Semi-partial R^2 = l'augmentation de R^2 entre n classes et n-1 classes

** RSQ = R^2 = part de la variance inter-classe

La macro a ensuite réalisé la classification ascendante hiérarchique en regroupant chaque aliment suivant le critère de Ward. Les résultats sont dans le tableau 1.

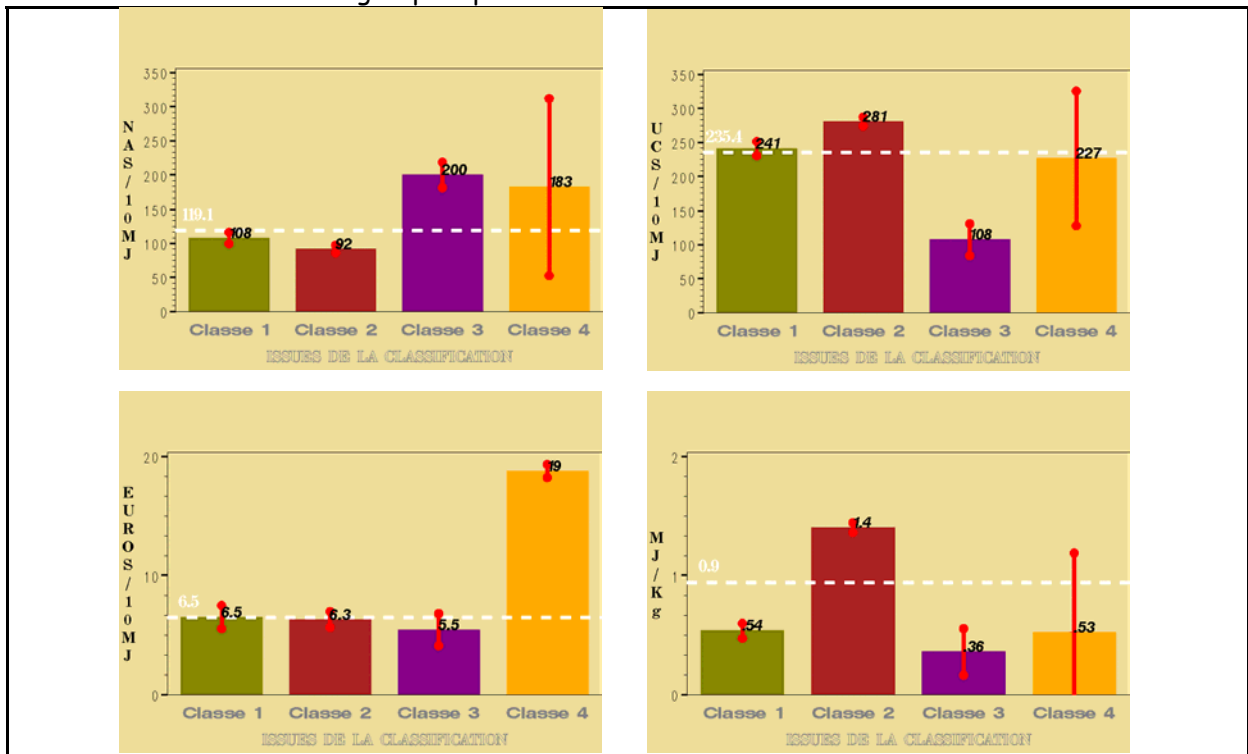
A chaque regroupement de classes, la part de la variance inter-classes diminue. En général, on arrête le regroupement quand on constate un saut important de cette variance. Ici, on constate qu'il y a deux sauts : entre 8 et 7 classes et entre 4 et 3 classes. On choisit de garder quatre classes car le nombre d'aliments étant restreint, nous préférons éviter d'avoir des classes avec seulement un ou deux aliments. En limitant le nombre de classes, on augmente la variance intra-classe et on peut trouver, à l'intérieur d'un groupe, un aliment atypique.

Cela n'a pas de conséquence grave puisque grâce à l'ACP on peut détecter ce type d'aliment à l'intérieur d'un groupe. Le choix du nombre de classes peut également se faire à l'aide d'un dendrogramme (Annexe 3.3), qui est la représentation graphique des regroupement de classe en fonction du semi-partial R^2 .

Afin de comprendre les caractéristiques de chaque classe, la macro édite des histogrammes (Figure 2) permettant de comparer entre les classes la valeur moyenne de chaque variable active. La droite horizontale en pointillés sur les graphiques de la figure 2 correspond à la

moyenne de la variable concerné sur l'ensemble des aliments du groupe « produits laitiers ». Pour mieux comprendre certaines différences entre aliments au sein d'un même groupe, la macro fournit également la représentation des points individus sur les plans factoriels en les colorant en fonction de leur classe.

Figure 2. Histogrammes des moyennes des variables actives par classes. La droite horizontale en pointillés sur les graphiques de la figure 2 correspond à la moyenne de la variable concerné sur l'ensemble des aliments du groupe « produits laitiers ».



La classe 1, regroupe les produits laitiers ayant un SAIN, un SCI et un coût moyen pour 10MJ égaux à ceux de la moyenne de l'ensemble des produits laitiers. Leur caractéristique principale est leur faible densité énergétique par rapport à la moyenne du groupe. Cette classe contient tous les laitages du type yaourt aromatisé, sucré, au lait entier, petit suisse nature, sucré et aromatisé et tous les desserts lactés tel que les crème dessert, le riz au lait, les flans et enfin, trois fromages allégés (exemple : camembert allégé).

Les aliments de la classe 2, qui correspondent à l'ensemble des fromages, ont un coût pour 10MJ proche du coût moyen des aliments du groupe. En revanche, ils ont le plus faible SAIN/10MJ, la plus forte densité énergétique et l'indicateur de mauvais composés le plus élevé. Cette classe regroupe donc les produits laitiers les moins bons sur le plan nutritionnel.

Les aliments de la classe 3 ont un coût proche du coût moyen dans le groupe pour un SAIN/10MJ supérieur à la moyenne de l'ensemble des produits laitiers, et un SCI/10MJ et une densité énergétique plus faibles que la moyenne générale. Cette classe correspond donc aux meilleurs produits laitiers qui sont tous les laits (écrémé, demi-écrémé, entier), les yaourts nature ou allégés et les fromages blancs à 20 % de matière grasse ou moins.

Enfin, la classe 4 se distingue des autres uniquement par son coût d'énergie qui est très élevé (19 €/10MJ contre 6.5 €/10MJ). Grâce à la représentation des produits laitiers en fonction de leur classe d'appartenance, on constate que cette classe ne regroupe que deux aliments qui en effet se distinguent des autres uniquement par leur coût élevé. Ces deux aliments sont le yaourt au soja qui est plutôt de bonne qualité nutritionnelle et le chèvre mou dont la qualité nutritionnelle n'est pas meilleur que la moyenne.

2. Résultats finaux des CAH sur les 2 groupes d'aliments :
« viandes/œufs/poissons » et « féculents ».

❖ « viandes/œufs/poissons »

Les résultats de l'ACP et de la CAH sont en annexe 3.4.

Les 155 aliments du groupe « viandes/œufs/poissons » ont été regroupés en 7 classes. Les caractéristiques de ces classes sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 2. Résumé des caractéristiques des 7 classes dans lesquelles sont regroupés les aliments du groupe « viandes/œufs/poissons ».

	Fréquence	SAIN/10MJ	SCI/10MJ	Densité énergétique (MJ/Kg)	Coût de l'énergie (€/10MJ)
Classe 1	56	faible	moyen	moyen	faible
Classe 2	25	faible	élevé	élevé	faible
Classe 3	48	élevé	faible	faible	moyen
Classe 4	7	très élevé	moyen	moyen	faible
Classe 5	13	moyen	élevé	faible	moyen
Classe 6	4	élevé	moyen	moyen	très élevé
Classe 7	2	très élevé	très élevé	moyen	moyen

La classe 1 regroupe surtout la viande rouge mais aussi quelques abats (tripes, langue de bœuf, cœur, rognons), de la volaille et certaines charcuteries (boudin blanc et andouillette) et du poisson en croquettes. Ce sont tous des aliments dont le prix est moyen, le SCI/10MJ moyen également et dont le SAIN est plutôt faible par rapport aux autres aliments du même groupe.

La classe 2 regroupe les aliments qui suivent la règle évoquée dans la partie 2, à savoir qu'ils sont bon marché, de faible qualité nutritionnelle, de forte densité énergétique et ils ont un indicateur de mauvaise qualité élevé. Ce sont toutes les charcuteries (sauf boudin blanc et andouillette), certaines volailles (canard, oie), le travers de porc et le steak haché (20 % de matière grasse). Le canard et l'oie sont certainement plus caractérisés par un SCI/10MJ élevé que par un coût de l'énergie faible.

La classe 3 regroupe des aliments de bonne qualité nutritionnelle, sans mauvais composés excessifs, pour un prix moyen. Ce sont l'ensemble des poissons et des crustacés, et des abats comme la cervelle ou le foie et du sanglier.

La classe 4 regroupe la plupart des poissons gras (hareng, saumon fumé ou nature, maquereau, sardine et thon rouge). Ce sont les aliments de meilleur rapport qualité prix dans le groupe « viande/œufs/poissons ». De plus, ils ont une densité énergétique et un SCI/10MJ moyen.

La classe 5 regroupe des aliments à prix et qualité nutritionnelle moyens mais dense en mauvais composés. Ce sont les charcuteries comme le jambon (cuit ou sec) et le bacon, le poisson pané et le hadock, et des crustacés comme les crevettes, les bulots, les gambas et le surimi.

Les aliments de la classe 6 suivent également la règle énoncée précédemment puisqu'ils sont à la fois chers et de très bonne qualité nutritionnelle. Ce sont des crustacés de luxes : caviar, coquille St Jacques, palourde et praire.

La classe 7 regroupe deux aliments particuliers : les œufs de poissons et l'anchois. Ils ont un prix moyen et une bonne qualité nutritionnelle mais ils sont également denses en mauvais composés.

❖ « Féculents »

Les résultats de l'ACP et de la CAH sont en annexe 3.5.

Les 54 aliments du groupe « féculents » ont été regroupés en 5 classes. Les caractéristiques de ces classes sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 3. Résumé des caractéristiques des 5 classes dans lesquelles sont regroupés les aliments du groupe « féculents ».

	Fréquence	SAIN/10MJ	SCI/10MJ	Densité énergétique (MJ/Kg)	Coût de l'énergie (€/10MJ)
Classe 1	16	faible	moyen	élevé	faible
Classe 2	16	moyen	très faible	faible	faible
Classe 3	7	élevé	élevé	élevé	faible
Classe 4	6	moyen	très faible	faible	élevé
Classe 5	9	moyen	élevé	faible	moyen

La classe 1 est caractérisée par un faible prix et une densité énergétique élevée. Elle regroupe l'ensemble des pains (complet, de mie, blanc, seigle), l'ensemble des farines, les flocons d'avoine et les pommes de terre frites. Ces aliments ont la plus faible qualité nutritionnelle parmi les féculents.

La classe 2 regroupe des aliments à prix faible et de qualité nutritionnelle moyenne mais surtout avec très peu de mauvais composés. Ce sont les légumes secs, quelques féculents raffinés (pâtes, riz, semoule), quelques produits céréaliers complets (riz complet, riz sauvage, pâtes complètes), le pain de campagne et les pommes de terre (cuites à l'eau ou à la vapeur). Ces aliments sont donc les plus intéressants en terme de rapport qualité nutritionnelle prix, au sein des féculents.

La classe 3 regroupe les aliments à prix faibles et ayant à la fois une forte densité énergétique, une forte densité nutritionnelle et beaucoup de mauvais composés. Ce sont les céréales du petit déjeuner.

Les aliments de la classe 4 sont caractérisés par un prix élevé (le plus élevé) et une densité en mauvais composés très faible. Ce sont des féculents proches de la pomme de terre : manioc et igname par exemple.

La classe 5 regroupe les aliments ayant une densité en mauvais composés élevée pour un coût et une qualité nutritionnelle moyenne. Ce sont les soupes de lentilles, les haricots blancs en conserve, les flageolets en conserve, le maïs en conserve et les pommes de terre cuisinées (purée salée, pomme noisette, pomme dauphine, pomme sautée).

C. Discussion

Nous avons exprimé les quatre indicateurs pour 10MJ d'énergie car en nutrition on quantifie l'alimentation en énergie et non en grammes. La pertinence de ces indicateurs, surtout du NAS et de l'UCS a été discutée dans la première partie. Le principal défaut de l'UCS pour 100g d'un aliment est qu'il reflète parfois trop l'apport énergétique pour 100g du même aliment. Mais dans ce type d'analyse (l'ACP), on est capable de distinguer les aliments denses en composés indésirables et faibles en densité énergétique des aliments denses en énergie et faibles en UCS/10MJ. Par exemple, le lait demi-écrémé en poudre a une valeur d'UCS/10MJ faible alors qu'il est dense en énergie. L'utilisation de l'ACP dans cette analyse peut paraître surprenante car en règle générale, on utilise cette technique pour réduire l'information lorsqu'on dispose d'un nombre important de variables. Ici, nous n'avons que quatre variables, et nous recalculons de nouvelles variables indépendantes les unes des autres afin d'augmenter la robustesse de la classification.

Les résultats obtenus sur les produits laitiers sont plutôt cohérents car l'algorithme discrimine bien les différents types de produits laitiers auxquels on s'attendait. Globalement, ils ont tous un coût d'énergie proche de la moyenne, et se différencient par trois niveaux de qualité nutritionnelle : ceux qui sont denses en nutriments (lait et yaourts naturels), ceux qui sont moyens en NAS et UCS (laitages aromatisés et desserts lactés) et les moins bons, qui ont un NAS/10MJ faible et un UCS/10MJ élevé (les fromages).

Dans le groupe « viandes/œufs/poissons », les aliments de meilleure qualité nutritionnelle sont soit de prix moyen (poissons et abats), soit les plus chers (crustacés). Dans la classification statistique les abats de très bonne qualité nutritionnelle (la cervelle et le foie) sont regroupés avec les poissons mais en réalité ses aliments ont un coût plus faible. On remarque également que certains crustacés (crevettes, bulots, gambas) et certaines charcuteries à prix moyen ont une faible qualité nutritionnelle et surtout sont denses en mauvais composés. Parmi les aliments à faible coût, on trouve soit les viandes rouges et des volailles qui ont une qualité nutritionnelle moyenne, soit les charcuteries qui sont très denses en mauvais composés. Les aliments de meilleur rapport qualité prix sont les abats (foie et cervelle) et ensuite les poissons.

Deux classes de féculents ont un coût d'énergie élevé ou moyen. Les féculents les plus chers sont en réalité des aliments rarement consommés (ils ne correspondent pas aux habitudes culinaires françaises). Leur prix n'est pas du tout lié à leur qualité nutritionnelle puisque celle-ci est moyenne. Les autres aliments (pommes dauphines, pommes noisettes, maïs en conserve,...) ayant un coût d'énergie moyen sont plutôt de mauvaise qualité nutritionnelle car leur apport en mauvais composés est important. Parmi les féculents à faible coût, il y a ceux à faible qualité nutritionnelle et forte densité énergétique comme le pain (complet, blanc, ...), les farines et les frites, et il y a ceux de qualité nutritionnelle moyenne et contenant très peu de composés indésirables comme les légumes secs, le pain de campagne, les pâtes, le riz et les pommes de terre vapeur et enfin, il y a les céréales du petit déjeuner qui sont de bonne qualité nutritionnelle mais qui sont également denses en composés indésirables.

CONCLUSION

a

Les trois études que nous avons menées apportent des résultats différents et complémentaires. Tout d'abord, en étudiant les rations consommées par les individus d'un échantillon de la population SU.VI.MAX., nous avons montré un lien positif entre la qualité nutritionnelle des rations, estimée par le SAIN, et le coût des rations, estimés par le coût de l'énergie. Il semblerait donc que les individus ayant une alimentation plus saine d'un point de vue nutritionnel alimentation plus chère.

La première étude a montré que l'alimentation des volontaires SU.VI.MAX. est d'autant plus chère qu'elle est de bonne qualité nutritionnelle, chez les hommes et les femmes.

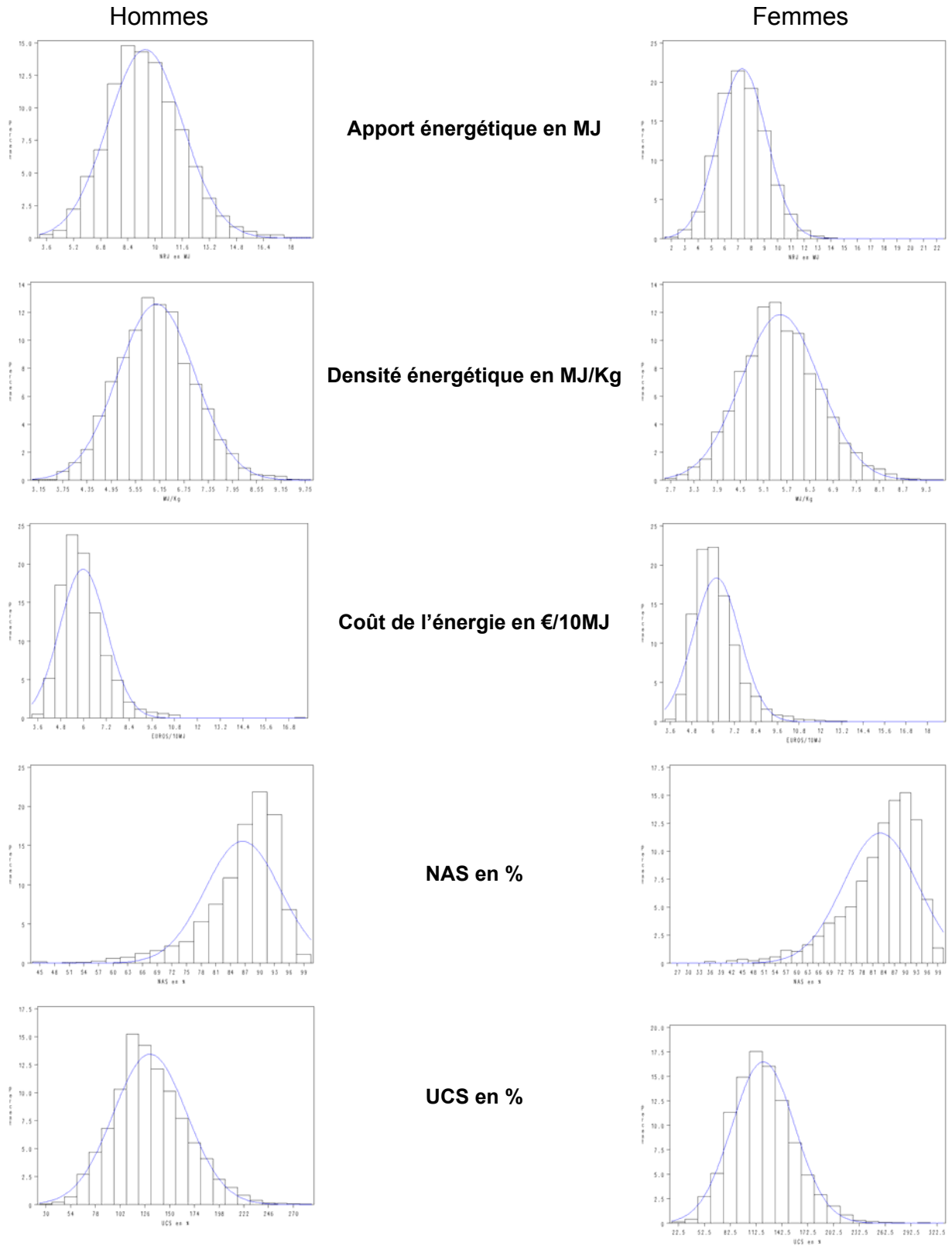
La deuxième étude a montré que cette association positive entre coût et qualité nutritionnelle des rations pouvait être attribuée à l'existence d'une hiérarchie entre les grands groupes d'aliments. Les groupes qui sont les sources d'énergie les plus chères sont aussi les principaux vecteurs de nutriments essentiels. Par exemple, les fruits et légumes sont des sources chères d'énergie mais leur qualité nutritionnelle est plus élevée que dans n'importe quel autre groupe. Les groupes qui sont les sources d'énergie les moins chères sont les principaux vecteurs de composés indésirables et ont une moindre qualité nutritionnelle : c'est le cas en particulier des aliments du groupe des « produits gras-sucrés gras-salés ». Il y a néanmoins quelques exceptions à cette règle. Notamment, le groupe des « féculents » apporte très peu de composés indésirables bien qu'il soit une source très bon marché d'énergie. De même, à l'intérieur de chaque grand groupe d'aliments, les sous-groupes de meilleure qualité nutritionnelle ne sont pas toujours les plus chers. La deuxième étude a également montré que le coût et la qualité nutritionnelle des groupes d'aliments, tels que consommés par les individus étaient inférieurs au coût et à la qualité nutritionnelle des groupes d'aliments tels que disponibles dans la table de composition des aliments. Ceci suggère que les individus sélectionnent préférentiellement, au sein de chaque groupe, les aliments les moins chers et/ou de moins bonne qualité nutritionnelle.

Dans une autre étude, menée dans l'équipe, les résultats montrent qu'il n'y a pas de lien entre prix et qualité nutritionnelle dans le groupe des « fruits et légumes ». Au sein d'un même grand groupe, beaucoup d'aliments sont susceptibles de ne pas vérifier ce lien entre qualité et prix. La troisième analyse, qui consistait à classer les aliments d'un même groupe à l'aide des indicateurs de bonne et mauvaise qualité nutritionnelle, de la densité énergétique et du coût de

l'énergie, avait pour but d'identifier et de regrouper des aliments à caractéristiques proches comme un bon ou un mauvais rapport qualité-prix. Dans le groupe des « produits laitiers », nous avons montré que le lait a un meilleur rapport qualité-prix que les laitages (yaourts, ...) et que les fromages, au contraire, ont un mauvais rapport qualité-prix. Parmi les aliments du groupe « viandes/œufs/poissons », les poissons gras et les abats tels que le foie et la cervelle se distinguent par leur grande qualité nutritionnelle et leur coût moyen. On a mis en évidence la très faible qualité nutritionnelle des charcuteries et leur faible coût. Et enfin, parmi les « féculents », on distingue ceux qui contiennent très peu de mauvais composés pour un prix faible, à savoir, les légumes secs, les pâtes, le riz (blanc, complet, sauvage), la semoule, le pain de campagne et la pomme de terre (cuite à l'eau ou à la vapeur).

En résumé, le coût de l'alimentation est directement relié à sa qualité nutritionnelle. Ceci est dû à la structure même des prix alimentaires, puisque les groupes d'aliments qui sont les sources d'énergie les plus chères sont aussi les plus riches en nutriments essentiels. Au sein de chaque groupe, les individus semblent sélectionner les aliments les moins chers mais aussi les moins riches en nutriments essentiels. Pourtant, il existe, dans chaque groupe, des aliments de bonne qualité nutritionnelle pour un prix moyen. En donnant la préférence à ces aliments, il doit être possible d'obtenir une alimentation de bonne qualité nutritionnelle pour un coût modéré.

Annexe 1.1 : Distributions des variables continues



Annexe 1.2 : Corrélations simples de Pearson entre les variables continues

Hommes

	Coût de l'énergie, €/10MJ	Densité énergétique, MJ/Kg	NAS, %	UCS, %	Apport énergétique, MJ	Quantité, Kg
Coût de l'énergie, €/10MJ	1.00000	-0.21851 <.0001	-0.02650 0.1827	-0.30720 <.0001	-0.32283 <.0001	-0.17151 <.0001
Densité énergétique, MJ/Kg	-0.21851 <.0001	1.00000	-0.18147 <.0001	0.30784 <.0001	0.22367 <.0001	-0.40536 <.0001
NAS, %	-0.02650 0.1827	-0.18147 <.0001	1.00000	0.53107 <.0001	0.65343 <.0001	0.69945 <.0001
UCS, %	-0.30720 <.0001	0.30784 <.0001	0.53107 <.0001	1.00000	0.89760 <.0001	0.63223 <.0001
Apport énergétique, MJ	-0.32283 <.0001	0.22367 <.0001	0.65343 <.0001	0.89760 <.0001	1.00000	0.78435 <.0001
Quantité, Kg	-0.17151 <.0001	-0.40536 <.0001	0.69945 <.0001	0.63223 <.0001	0.78435 <.0001	1.00000

Femmes

	Coût de l'énergie, €/10MJ	Densité énergétique, MJ/Kg	NAS, %	UCS, %	Apport énergétique, MJ	Quantité, Kg
Coût de l'énergie, €/10MJ	1.00000	-0.28060 <.0001	0.01759 0.3049	-0.33927 <.0001	-0.30248 <.0001	-0.09871 <.0001
Densité énergétique, MJ/Kg	-0.28060 <.0001	1.00000	-0.17397 <.0001	0.36639 <.0001	0.26226 <.0001	-0.42123 <.0001
NAS, %	0.01759 0.3049	-0.17397 <.0001	1.00000	0.52895 <.0001	0.68257 <.0001	0.72330 <.0001
UCS, %	-0.33927 <.0001	0.36639 <.0001	0.52895 <.0001	1.00000	0.91695 <.0001	0.58949 <.0001
Apport énergétique, MJ	-0.30248 <.0001	0.26226 <.0001	0.68257 <.0001	0.91695 <.0001	1.00000	0.74057 <.0001
Quantité, Kg	-0.09871 <.0001	-0.42123 <.0001	0.72330 <.0001	0.58949 <.0001	0.74057 <.0001	1.00000

Annexe 3.1 : poster Rome

Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

Annexe 3.1 : poster Rome

A nutrient density standard for vegetables and fruit: nutrients per calorie and nutrients per unit cost

Nicole Darmon¹, Michel Darmon², Matthieu Maillot¹, Adam Drewnowski³

OBJECTIVES

To develop a nutrient density score (NDS) and a nutrient to price ratio (NPR) to estimate the relationship between nutrient density and food cost for vegetables and fruit.

METHODS

We used the French national food composition database for 637 foods, including 129 vegetables and fruit. Mean national retail prices were obtained for each food.

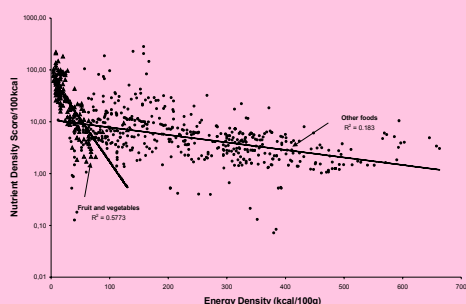
For each food, we calculated :

- the **Price**, in €/100g of edible portion.
- the **Energy Density (ED)**, in kcal/100g edible portion.
- the **Energy Cost (EC)**, in €/100kcal.
- the **Nutrient Adequacy Score (NAS) per 100g**, defined as the mean of percent daily values for 16 key nutrients in 100g of food: $NAS = (\sum(Nutrient_i/DV_i) * 100) / 16$, where Nutrient_i is the content of nutrient i in 100g of edible portion of food, and DV_i is the French recommended Daily Value for this nutrient (see Table 1).
- the **Nutrient Density Score (NDS) per 100kcal**, obtained by: $NDS = (NAS/ED)*100$
- the **Nutrient-to-Price Ratio (NPR) per 1 euro**, obtained by: $NPR = NAS/Price$

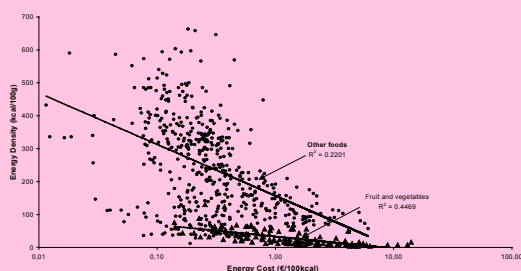
Table 1. French recommended daily values for 16 key nutrients

Nutrient	Daily Value
Protein	60 g
Fiber	25 g
Vitamin A	700 µg
Thiamin	1.2 mg
Riboflavin	1.55 mg
Niacin	12.5 mg
Vitamin B5	5 mg
Vitamin B6	1.65 mg
Folate	315 µg
Vitamin B12	2.4 µg
Vitamin C	110 mg
Vitamin E	12 mg
Vitamin D	5 µg
Calcium	900 mg
Iron	12.5 mg
Magnesium	390 mg

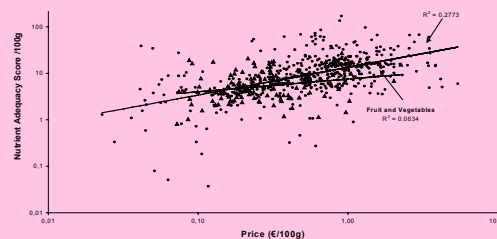
RESULTS



1. ED and NDS were inversely linked. Fruit and vegetables had higher NDS/ED ratios.



3. There was an inverse relationship between ED and EC, confirming previous findings



2. On the whole, NAS and Prices/100g were positively associated. However, nutrients provided by vegetables and fruit were not linked directly to their cost (R²=0.06).

Median values of % Nutrient Adequacy	Fruit & vegetables (n=129)	Other foods (n=508)
per 100g (NAS)	5.2	9.7
per 100kcal (NDS)	26.4	4.9
per 1 € (NPR)	20.4	17.1

4. Fruit and vegetables had a higher NDS, showing that they were nutrient-rich in relation to their energy content. They also had a higher NPR, showing that they provided nutrients at a reasonable cost compared with other foods.

CONCLUSION

The results confirmed the popular belief that energy-dense foods tend to be nutrient-poor. The data showed that nutrient-rich foods were associated with higher prices per unit weight. Although vegetables and fruits are a costly source of dietary energy when compared to other foods, they provide key nutrients at an accessible price. The twin concepts of nutrients per calorie and nutrients per unit cost can be usefully applied to food labels.

Contacts: matthieu-maillot@wanadoo.fr, adamdrew@u.washington.edu, darmon@cnam.fr

Matthieu Maillot

Master de Santé Publique « Méthodologie et Statistique en Recherche Biomédicale »
Promotion 2004-2005

Annexe 3.2 : Macro Classification.

❖ Macro principale :

```
%macro classification(donnees=,nbclasse=,variable=,
                      ident=,fich_out=,couleur=,label=);
options formdlm = '~' mprint nosymbolgen nomlogic spool;
goptions reset=all device=html;
%include '/home2/maillot/macros/ACP_classif.sas';
data _NULL_;
    set &donnees;
    array vect(*) &variable;
dimension=dim(vect);
call symput ('nbvar',left(dimension));
run;
%let axe_fin=&nbvar;
%if &nbvar=3 %then %let plan_fact=1 2 2 3;
%else %if &nbvar=4 %then %let plan_fact=1 2 3 4;
%else %if &nbvar=5 %then %let plan_fact=1 2 3 4 4 5;
%else %do;
%let plan_fact=1 2 3 4 5 6;
%let axe_fin=6;
%end;

%if &nbclasse ne %then %do;
%let edition=non;
%end;
%else %do;
%let edition=oui;
%end;

%ACP(chemin=,
     fichier= &donnees,
     varact= &variable ,
     varident=&ident ,
     varpond= ,
     varsup= ,
     centre=oui ,
     reduite=oui ,
     titre=ACP CENTRE-REDUITE ,
     editstand=&edition ,
     editout=,
     editstat=&edition ,
     printto= ,
     indsup= ,
     nbaxepa=2 ,
     axedeb=1 ,
     axefin=&axe_fin,
     editind=non ,
     editindsup= ,
     editvar=&edition,
     editvarsup=,
     plans=&plan_fact);
/* Classification Ascendante Hiérarchique : critere de Ward*/
%if &nbclasse= %then %do;
proc cluster data=indact
    outtree=arbre
    method=ward
    print=15
    ccc pseudo rmsstd
    rsquare
    ;
title1 "Classification : methode WARD";
    var axeprin1-axeprin&nbvar;
    id &ident;
run;
goptions reset=all device=html cback=white;
proc tree data=arbre
    horizontal cframe=white;
    title2 "Arbre selon le critere de WARD";
run;
%end;
%if &nbclasse ne %then %do;
goptions device=html cback=white;
```

Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

```
proc tree data=arbre
    noprint
    nclusters=&nbclasse
    out=part(rename=cluster=classe);
    title2 "Arbre selon le critere de WARD";
    copy axeprin1-axeprin&nbvar &ident;
run;
/* Création du fichier avec les nouvelles classes d'alim */
proc sort data=part;
    by &ident;
proc sort data=&donnees;
    by &ident;
run;
data &fich_out;
    merge part &donnees;
    by &ident;
run;
data &fich_out;
    length classe_car $8.;
    set &fich out;
    if classe=1 then classe_car='Classe 1';
    else if classe=2 then classe_car='Classe 2';
    else if classe=3 then classe_car='Classe 3';
    else if classe=4 then classe_car='Classe 4';
    else if classe=5 then classe_car='Classe 5';
    else if classe=6 then classe_car='Classe 6';
    else if classe=7 then classe_car='Classe 7';
    else if classe=8 then classe_car='Classe 8';
    else if classe=9 then classe_car='Classe 9';
    else if classe=10 then classe_car='Classe 10';
run;

proc sort data=&fich_out;by classe_car;
proc means data=&fich_out n mean median std min max;
var &variable;
by classe_car;
output out=res(keep=classe_car nas_nrij_m nas_nrij_s) mean=nas_nrij_m std=nas_nrij_s;
run;

/* lancement de la macro */
%include "/home2/maillot/macros/macro_graph_classif.sas";
%let a1=1;
%let a2=2;
%do %while (&a2 <= &axe_fin);
%let titre=PREMIER SECOND TROISIEME QUATRIEME CINQUIEME
        SIXIEME;
%let j=%scan(&plan_fact,&a1);
%let k=%scan(&plan_fact,&a2);
%put ** j=&j ****;
%put ** k=&k ****;
    %let axex=%scan(&titre,&j);
    %let axey=%scan(&titre,&k);
    %let titre=%scan(&titre,%eval((&a1+1)/2));
%put *** axex=&axex ***;
%put *** axey=&axey ***;
%put ***** titre=&titre*****;

%plotacp(tab=&fich_out,
        id=&label,
        axel=axeprin&j,
        axe2=axeprin&k,
        h=0.6,
        colori=&couleur,
        tit=&titre,
        titx=&axex,
        tity=&axey,
        var_classe=classe,
        nbre_cl=&nbclasse,
        legende="CLASSE D'ALIMENTS"); run;
%let a1=%eval (&a1+2);
%let a2=%eval (&a2+2);
%put **** a1 = &a1 ****;
%put **** a2 = &a2 ****;
%end;

%include "/home2/maillot/macros/macro_histo.sas";
```

Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

```
%if &nbclasse=2 %then %let lab_abc='Classe 1' 'Classe 2' 'Classe 3';
%if &nbclasse=3 %then %let lab_abc='Classe 1' 'Classe 2' 'Classe 3';
%if &nbclasse=4 %then %let lab_abc='Classe 1' 'Classe 2' 'Classe 3' 'Classe 4';
%if &nbclasse=5 %then %let lab_abc='Classe 1' 'Classe 2' 'Classe 3' 'Classe 4' 'Classe 5';
%if &nbclasse=6 %then %let lab_abc='Classe 1' 'Classe 2' 'Classe 3' 'Classe 4' 'Classe 5'
'Classe 6';
%if &nbclasse=7 %then %let lab_abc='Classe 1' 'Classe 2' 'Classe 3' 'Classe 4' 'Classe 5'
'Classe 6' 'Classe 7';
%if &nbclasse=8 %then %let lab_abc='Classe 1' 'Classe 2' 'Classe 3' 'Classe 4' 'Classe 5'
'Classe 6' 'Classe 7' 'Classe 8';
%do m=1 %to &nbvar %by 1;
%histogram(fichier=&fich_out,
var_quanti=%scan(&variable,&m),var_quali=classe_car,
color=&couleur/*green orange purple*/,
label_abcisse=&lab_abc)
%end;
%end;
%mend;
```

❖ Macro nuage de points :

```
%macro plotacp(tab,id,axel,axe2,h,colori,tit,titx,
tity,var_classe,nbre_cl,legende);
goptions device=html cback=white;

%do t=1 %to &nbre_cl %by 1;
    %let c&t=%scan(&colori,&t);
%end;
%put ***** c1 = &c1 ***;
%put ***** c2 = &c2 ***;
data ann;
    set &tab;
        length color $10.;
    retain function 'label' xsys ysys position '2' style 'simplex';
    text=&id;
    x=&axel; y=&axe2;
    size=&h;
%do t=1 %to &nbre_cl %by 1;
    if classe=&t then do;
        color="&c&t";end;
%end;output;
run;
proc means data=ann noprint;
var x y;
output out=res max=maxx maxy min=minx miny;
run;
data _nulle_;
set res;
if minx<0 then minx=int(minx)-1;else minx=int(minx);
if miny<0 then miny=int(miny)-1;else miny=int(miny);
if maxx>0 then maxx=int(maxx)+1;else maxx=int(maxx);
if maxy>0 then maxy=int(maxy)+1;else maxy=int(maxy);
call symput ('minx',left(minx));
call symput ('miny',left(miny));
call symput ('maxx',left(maxx));
call symput ('maxy',left(maxy));
run;
axis1 label=(h=0.9 font=centb justify=center color=black "&titx AXE PRINCIPAL" )
order=(&minx to &maxx by 1)
major=(h=1)
minor=none;
axis2 order=(&miny to &maxy by 1)
label=(justify=left font=centb color=black h=0.8 rotate=90 angle=-90 "&tity AXE
PRINCIPAL" )
major=(height=1)
minor=none;
legend1 cborder=black cframe=lio position=(bottom center outside)
label=(position=(bottom left) font=centb c=black h=1.3 &legende );
title j=center h=1.7 color=black bcolor=lio box=2 color=black f=centb
"REPRESENTATION DES ALIMENTS EN FONCTION DE LEUR CLASSE D'APPARTENANCE : &tit PLAN FACTORIEL";
%do i=1 %to &nbclasse %by 1;
symbol&i v=dot i=none c=%scan(&colori,&i) h=0.5 pointlabel=none;
%end;
proc gplot data=ann;
plot y*x=classe /annotate=ann legend=legend1 haxis=axis1 vaxis=axis2 href=0 vref=0 ;
run;quit;
%mend plotacp;
```

❖ Macro histogramme :

```
%macro histogram(fichier=,var_quanti=,var_quali=,color=,label_abscisse=);
options formdlm = '~' mprint nosymbolgen nomlogic spool;

proc means data=&fichier noprint;
var &var_quanti;
by &var_quali;
output out=moy(keep=&var_quali moyenne ecartype n) mean=moyenne std=ecartype n=n;
run;
/*récupération de la moyenne de la var quanti
dans l'ensemble des indiv*/
proc means data=&fichier noprint;
var &var_quanti;
output out=moy_tot(keep=moyenne) mean=moyenne;
run;
data anno moy tot;
length color function text style $8 ;
retain xsys '1' ysys '2' hsys '4' when 'a' size 10;
set moy_tot;
function='move'; x=0; y=moyenne;
output;
function='draw'; x=100; y=moyenne; color='white';
line=20;size=5; output;
function='label'; x=5; y=moyenne; size=2;
position='2'; color='white';style='centb';
text=left(put(moyenne,8.1)); output;
run;
data anno;
length color function text style $8 ;
retain xsys ysys '2' hsys '4' when 'a' size 10;
set moy;
function='symbol'; midpoint=&var_quali;
if moyenne-((1.96*ecartype)/sqrt(n))>=0 then do;
y=moyenne-(1.96*ecartype)/sqrt(n);
text='dot';end;
else text='';hsys='4';
color='red';size=2;style='';position='';output;
function='symbol'; midpoint=&var_quali; y=moyenne+((1.96*ecartype)/sqrt(n));hsys='4';
color='red';size=2;style='';text='dot';position='';output;

function='move'; midpoint=&var_quali;
if moyenne-((1.96*ecartype)/sqrt(n))>=0 then y=moyenne-((1.96*ecartype)/sqrt(n));
else y=0;hsys='4';
color='red';size=6;text='';output;
function='draw'; midpoint=&var_quali; y=moyenne+((1.96*ecartype)/sqrt(n));hsys='4';
color='red';size=6;text='';output;
function='label'; midpoint=&var_quali;y=moyenne; position='C';
style='swissbi';hsys='1';
if y<10 then text=left(put(moyenne,3.2));
else text=left(put(moyenne,8.0));color='black';size=6; output;
run;
data nbclass;
set moy end=fin;
n=_n_;
if fin;
data _nulle_;set nbclass;
call symput ('nbclasse',left(n));
run;
data moy;set moy;borne_sup=moyenne+((1.96*ecartype)/sqrt(n));
proc means data=moy noprint;
var borne_sup;output out=borne_s max=borne_sup;
run;
data _nulle_;length maxy 8.0;set borne_s;
if borne_sup<1 then do;
if (round(borne_sup,0.1)-borne_sup)<0 then do;maxy=round(borne_sup,0.1)+0.1;inc=0.1;end;
else do;maxy=round(borne_sup,0.1);inc=0.1;end;
end;
else if borne_sup<10 then do;maxy=int(borne_sup)+1;inc=1;end;
else if borne_sup<100 then do;
if (round(borne_sup,10)-borne_sup)<0 then do;maxy=round(borne_sup,10)+10;inc=10;end;
else do;maxy=round(borne_sup,10);inc=10;end;
end;
else if borne_sup<1000 then do;
if (round(borne_sup,100)-borne_sup)<0 then do;maxy=round(borne_sup,100)+50;inc=50;end;
else do;maxy=round(borne_sup,100);inc=100;end;
end;
```

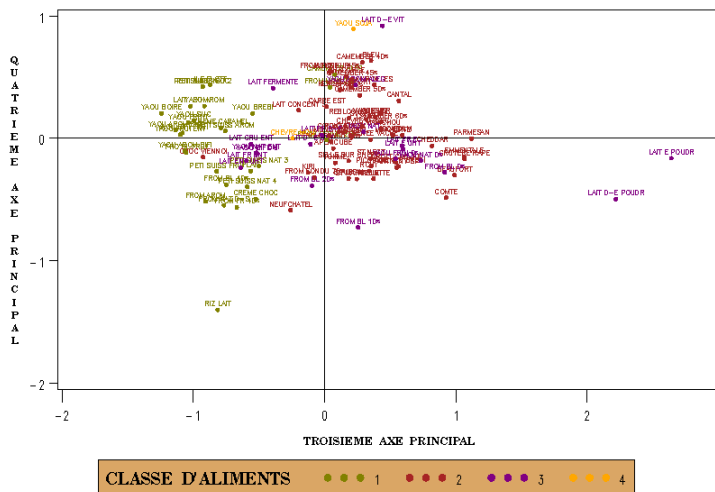
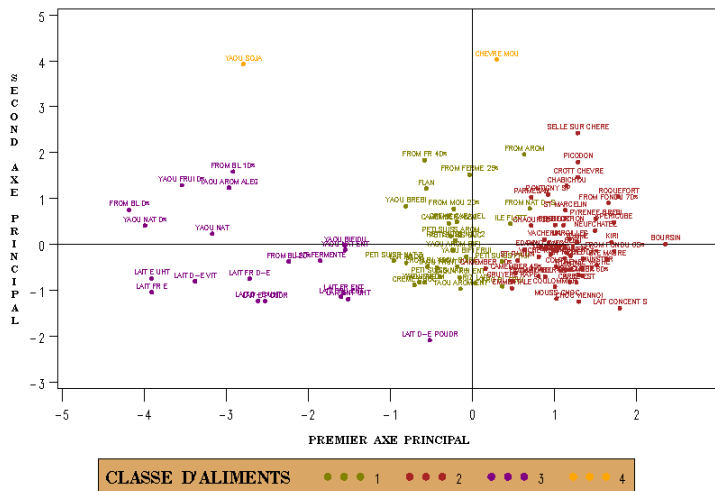
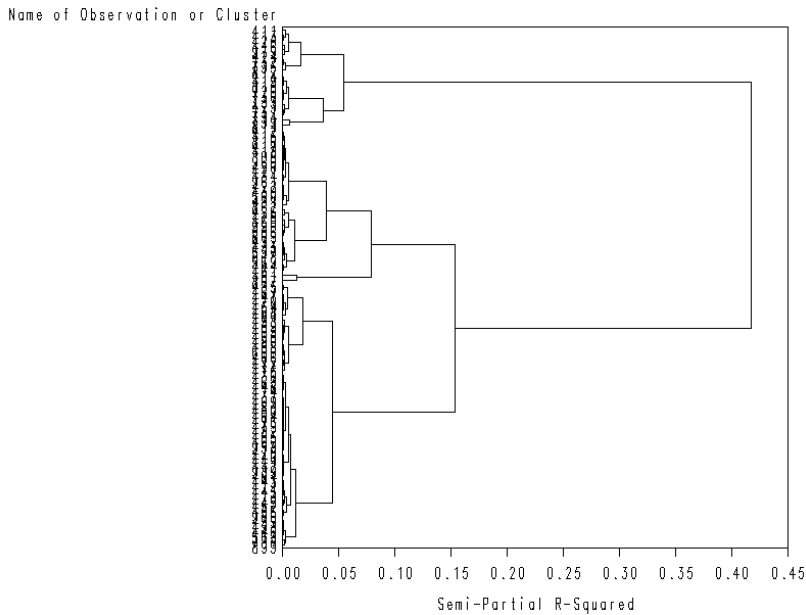
Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

```
end;
else do;
if (round(borne_sup,1000)-borne_sup)<0 then do;maxy=round(borne_sup,1000)+500;inc=500;end;
else do;maxy=round(borne_sup,1000);inc=500;end;
end;
call symput ('maxy',left(maxy));
call symput ('inc',left(inc));run;
%put ***** nbclasse= &nbclasse *****;
%put ***** maxy= &maxy *****;

axis1 order=(&label_abcisse)
valuec=gray f=swissxb a=0 r=0)
label=(c=gray h=1.7 f=centbe "ISSUES DE LA CLASSIFICATION") ;
axis2 label=(j=left c=black h=1.7 a=-90 r=90 f=centb )
order=(0 to &maxy by &inc)
value=(h=1.5 c=black)
major=(h=1 width=2)
minor=(h=0.5 n=5 width=0.5);
title1 j=center font=centb color=black 'MOYENNES PAR CLASSE' color=black bcolor=lio box=2;
%do i=1 %to &nbclasse %by 1;
pattern&i color=%scan(&color,&i) v=s;
%end;
goptions device=html cback=cream;
proc gchart data=&fichier annotate=anno_moy_tot;
vbar &var_quali / sumvar=&var_quanti
type=mean
space=10
patternid=midpoint
width=12
maxis=axis1
raxis=axis2
legend=legend1
annotate=anno
;

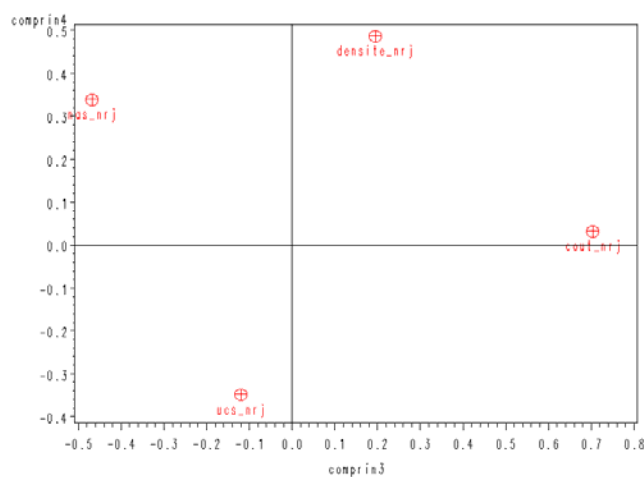
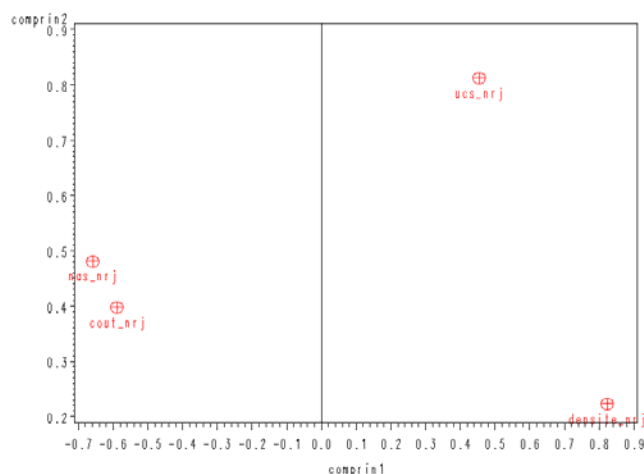
run;
quit;
%mend;
```


Annexe 3.3 : Dendrogramme et représentation graphiques sur les deux premiers plans factoriels des produits laitiers.



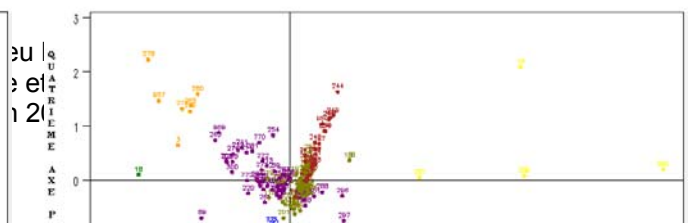
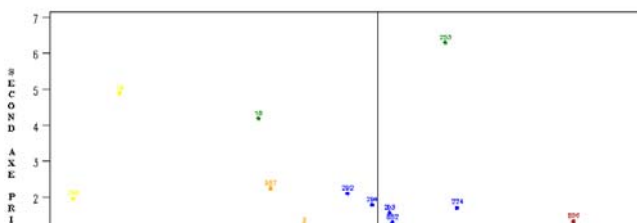
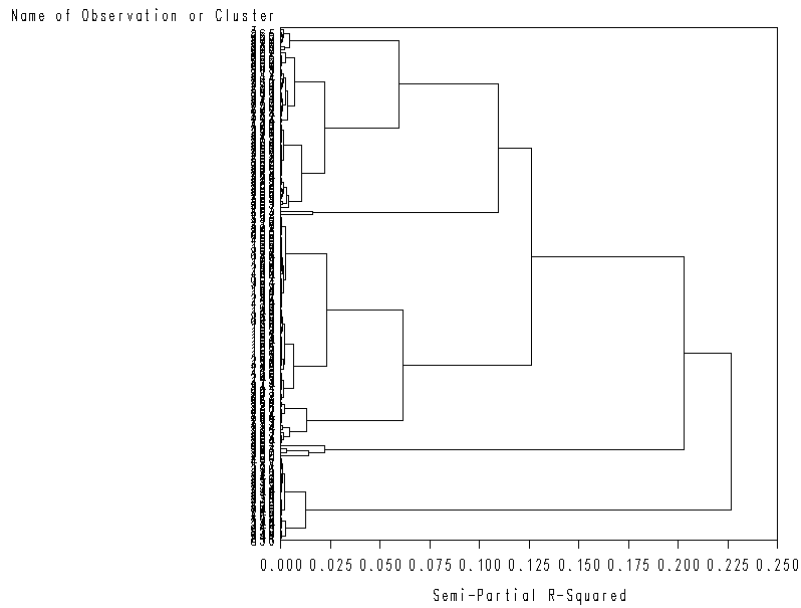
Annexe 3.4 : Résultats de la CAH au sein du groupe « viandes/œufs/poissons »

Inerties portées par les axes factoriels			
	Valeur propres	Proportion	Cumulée
1	2.40294937	0.6007	0.6007
2	1.00865076	0.2522	0.8529
3	0.46522013	0.1163	0.9692
4	0.12317974	0.0308	1.0000

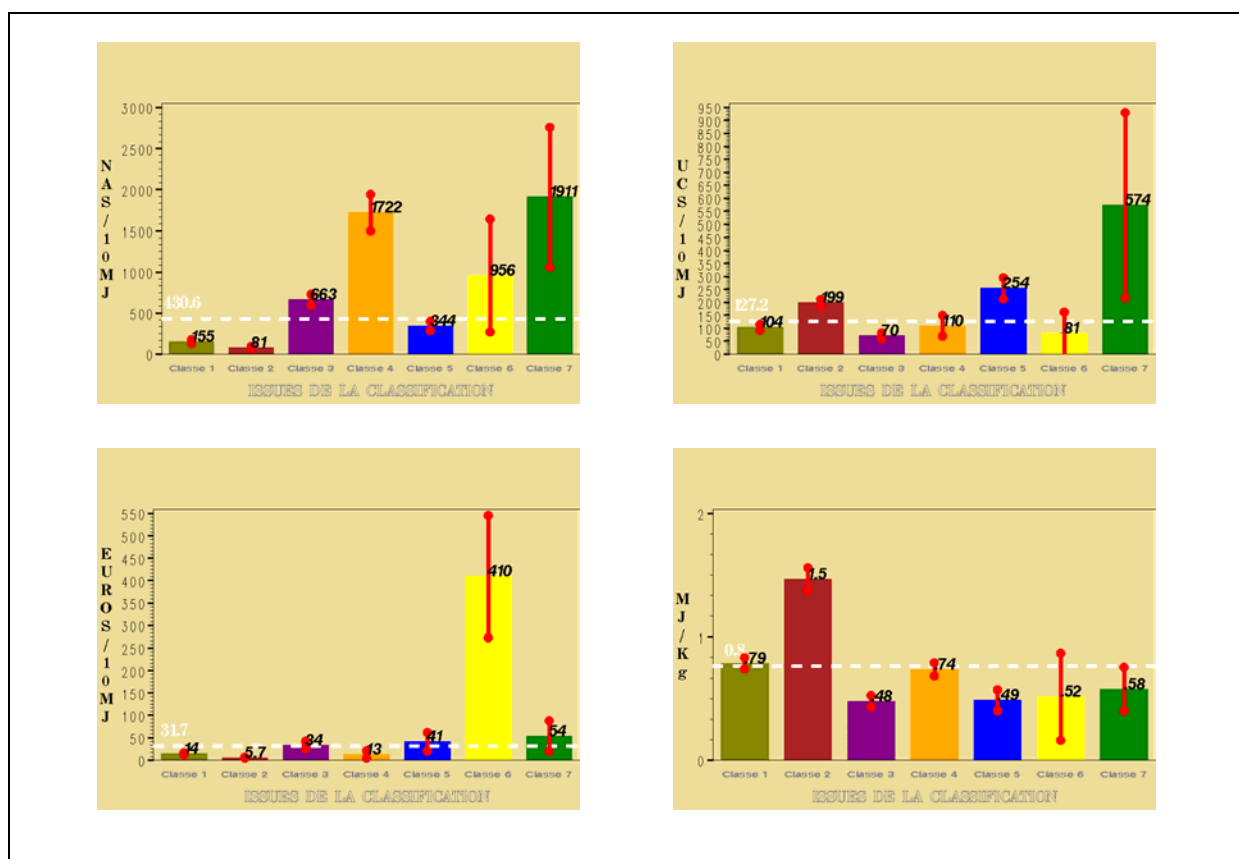


Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

NCL	Clusters Joined	FREQ	SPRSQ	RSQ	ERSQ	CCC	PSF
10	18 253	2	0.0158	.853	.747	13.6	93.6
9	CL15 CL14	48	0.0221	.831	.729	12.1	89.8
8	19 CL11	4	0.0221	.809	.709	11.2	88.9
7	CL24 CL16	56	0.0229	.786	.684	10.8	90.6
6	CL18 CL9	55	0.0592	.727	.654	6.87	79.3
5	CL7 CL12	69	0.0615	.665	.616	4.31	74.5
4	CL6 CL10	57	0.1096	.556	.565	-.62	62.9
3	CL4 CL5	126	0.1259	.430	.477	-2.6	57.3
2	CL3 CL8	130	0.2031	.227	.319	-4.4	44.9
1	CL2 CL13	155	0.2267	.000	.000	0.00	.

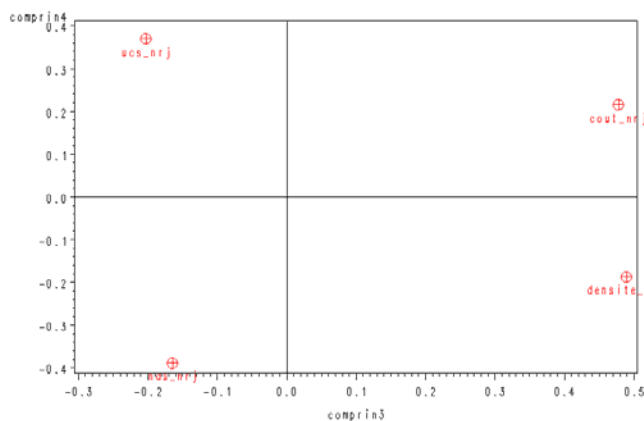
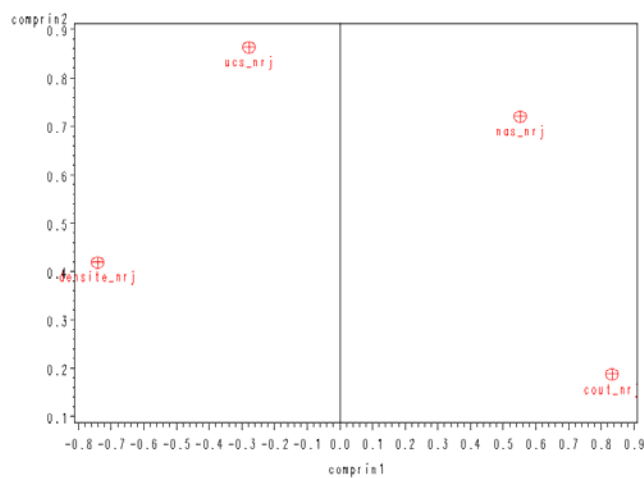


Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?



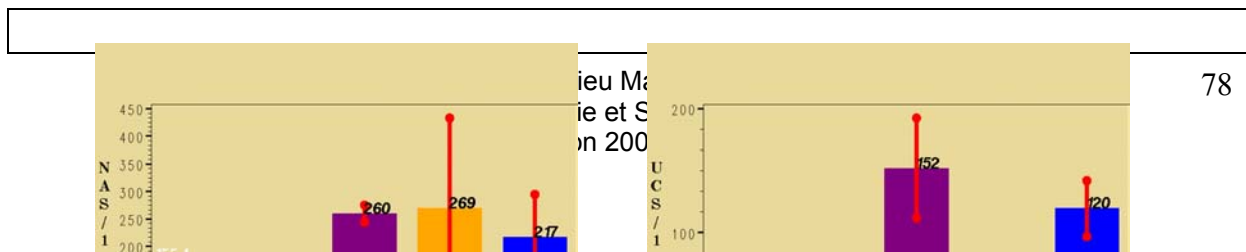
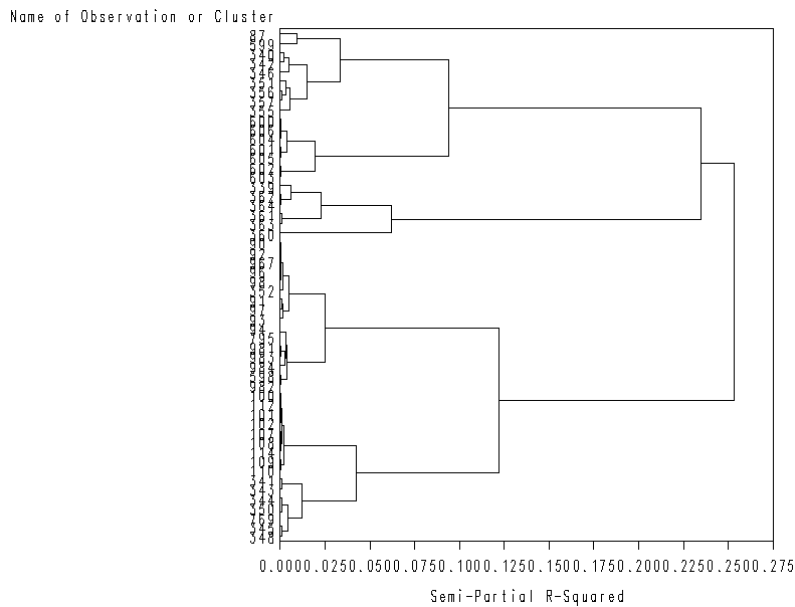
Annexe 3.5 : Résultats de la CAH au sein du groupe
« féculents »

Inerties portées par les axes factoriels			
	Valeur propres	Proportion	Cumulée
1	1.62455522	0.4061	0.4061
2	1.47305879	0.3683	0.7744
3	0.53425481	0.1336	0.9080
4	0.36813118	0.0920	1.0000



Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

NCL	Clusters Joined	FREQ	SPRSQ	RSQ	ERSQ	CCC	PSF
10	CL19 CL46	7	0.0191	.888	.819	6.34	38.9
9	CL14 CL28	5	0.0225	.866	.801	5.36	36.3
8	CL16 CL20	16	0.0250	.841	.779	4.60	34.7
7	CL13 CL11	9	0.0331	.808	.753	3.65	32.9
6	CL25 CL12	16	0.0422	.766	.721	2.64	31.3
5	CL9 360	6	0.0620	.704	.682	1.02	29.1
4	CL7 CL10	16	0.0942	.609	.628	-.76	26.0
3	CL8 CL6	32	0.1218	.488	.548	-1.9	24.3
2	CL4 CL5	22	0.2345	.253	.328	-2.1	17.6
1	CL2 CL3	54	0.2531	.000	.000	0.00	.



Y a-t-il un lien entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et son coût ?

