

# Modifications diététiques nécessaires pour atteindre l'adéquation nutritionnelle sans augmenter le coût de l'alimentation en fonction du revenu: une analyse parmi les adultes français

Matthieu Maillot, Florent Vieux, Fabien Delaere, Anne Lluch, Nicole Darmon

Publié le: 30 mars 2017 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679>

## Abstrait

### Objectif

Explorer les changements alimentaires nécessaires pour atteindre une adéquation nutritionnelle entre les niveaux de revenus à un coût énergétique et énergétique constant.

### matériaux et méthodes

Une modélisation de l'alimentation individuelle a été utilisée pour concevoir des régimes optimisés iso-caloriques et nutritionnellement adéquats pour chaque régime observé chez un échantillon d'adultes normo-rapporteurs âgés de 20 ans et plus ( $n = 1\,719$ ) tirés de l'Enquête alimentaire individuelle et nationale (INCA2), 2006-2007. Le coût de l'alimentation a été estimé à partir des prix moyens nationaux des aliments (2006-2007). Une première série de modèles gratuits a exploré l'impact de l'optimisation sur la variation du coût de l'alimentation. Un deuxième ensemble de modèles iso-coûts a exploré les changements alimentaires induits par l'optimisation avec un ensemble de coûts égal à celui observé. Les analyses des changements alimentaires ont été conduites par quintiles de revenus, en tenant compte de l'apport énergétique, des variables sociodémographiques et socioéconomiques et du statut tabagique.

### Résultats

Le coût des régimes observés a augmenté avec l'augmentation des quintiles de revenus. Dans les modèles gratuits, l'optimisation augmentait les coûts de l'alimentation en moyenne ( $+0,22 \pm 1,03$  euros / j) et dans chaque quintile de revenu, sans différence significative entre les quintiles, mais avec des augmentations systématiques des coûts observés inférieurs à 3,85 euros / j. Dans les modèles iso-coût, il était possible de concevoir des régimes nutritionnels adéquats quel que soit le coût observé initialement. En moyenne, l'optimisation à iso-coût a entraîné une augmentation des fruits et légumes ( $+171$  g / jour), des féculents ( $+121$  g / j), de l'eau et des boissons ( $+91$  g / j) et des produits laitiers ( $+20$  g / j d) et a diminué les autres groupes d'aliments (par exemple, les plats composés et les snacks salés), entraînant une augmentation du poids total du régime ( $+300$  g / j). Ces changements étaient pour la plupart similaires entre les quintiles de revenu.

### Conclusions

En France, les changements alimentaires nécessaires pour atteindre une nutrition adéquate sans augmenter les coûts sont similaires quel que soit le revenu, mais peuvent être plus difficiles à mettre en œuvre lorsque le budget de l'alimentation est inférieur à 3,85 euros / j.

**Citation:** Maillot M, Vieux F, Delaere F, Lluch A, Darmon N (2017). Changements alimentaires nécessaires pour atteindre un niveau nutritionnel adéquat sans augmenter le coût de l'alimentation en fonction du revenu: une analyse parmi des adultes français. PLoS ONE 12 (3): e0174679. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679>

**Éditeur:** Jean Adams, Université de Cambridge, ROYAUME-UNI

**Reçu le** 31 août 2016; **Accepté:** 12 mars 2017; **Publié le:** 30 mars 2017

**Copyright:** © 2017 Maillot et al. Ceci est un article en accès libre distribué selon les termes de la licence Creative Commons Attribution, qui permet une utilisation, une distribution et une reproduction sans restriction sur tout support, moyennant mention de l'auteur et de la source d'origine.

**Disponibilité des données:** Les informations de l'enquête INCA2 sont mises à disposition par l'ANSES - Agence française de sécurité et d'hygiène de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Pour les utilisateurs de données et les chercheurs du monde entier, les données de l'enquête sont disponibles sur Internet à l'adresse <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-de-consommations-et-habitudes-alimentaires-de-letude-inca-2-3/>.

**Financement:** Ce travail a été soutenu par Danone Research. Fabien Delaere et Anne Lluch sont des employés à temps plein de Danone Research. Danone Research a fourni un soutien sous forme de salaires aux auteurs FD et AL, mais n'a joué aucun rôle supplémentaire dans la conception de l'étude, la collecte et l'analyse des données, la décision de publication ou la préparation du manuscrit. Les rôles spécifiques de ces auteurs sont définis dans la section "Contributions des auteurs".

**Intérêts concurrents:** Nous avons les intérêts suivants: Ce travail a été soutenu par Danone Research. AL et FD sont des employés à temps plein de Danone Research. MM et FV sont des employés de MS-Nutrition. Aucun brevet, produit en développement ou produit commercialisé à déclarer. Cela ne change en rien notre adhésion à toutes les politiques de PLOS ONE en matière de partage de données et de matériel.

## introduction

En dépit d'une amélioration globale des conditions de vie, l'Europe présente toujours des inégalités sociales de santé, avec des différences de morbidité et de mortalité en fonction de la position socio-économique (SEP) [ 1 - 3 ]. Ces inégalités sont particulièrement importantes en France et se creusent [ 4 ]. La nutrition, un déterminant majeur de la santé, contribue largement à ces inégalités [ 5 ], une alimentation malsaine augmentant le risque d'obésité, mais aussi de carences nutritionnelles et de maladies chroniques telles que le diabète, l'hypertension et les maladies cardiovasculaires [ 6 ].

Les choix alimentaires sont influencés par des facteurs individuels, culturels, sociaux, économiques et environnementaux [ 7 - 9 ]. Les habitudes alimentaires malsaines ne sont pas exclusives aux individus avec un SEP bas, mais sont plus fréquentes dans cette population que dans les couches les plus riches de la population [ 10 - 14 ]. Les aliments de moindre valeur nutritive et les régimes de moindre qualité coûtent généralement moins cher par calorie. Ils sont plus souvent consommés par des groupes de PES inférieure [ 15 ], probablement parce que les individus disposant de ressources limitées sont plus fortement influencés par les prix lors de l'achat de nourriture [ 16 - 19 ]. Étant donné que les dépenses alimentaires représentent une plus grande part du budget des ménages à faible revenu [ 20 ,21 ] et que les contraintes de coût orientent les choix alimentaires vers des aliments moins sains [ 22 , 23 ], les contraintes économiques contribuent en partie à la prévalence plus élevée de la mauvaise alimentation chez les personnes à faible SEP [ 15 ].

Les organismes officiels internationaux encouragent l'intégration des multiples déterminants des choix alimentaires dans l'élaboration de directives nutritionnelles fondées sur les aliments [ 24 - 26 ]. Pour lutter contre les inégalités socio-économiques en matière de santé, les facteurs économiques doivent faire l'objet d'une attention particulière. Cependant, les recommandations méthodologiques en matière d'alimentation basées sur les aliments ne donnent généralement pas de conseils méthodologiques pour la conception de régimes alimentaires sains et abordables. Aux États-Unis, des techniques d'optimisation de l'alimentation ont été mises en œuvre pour générer une série de diètes nutritives abordables, le « plan alimentaire thrifty », utilisé pour mettre en place le programme d'aide complémentaire à la nutrition [ 27 ]. En France, les aliments présentant un très bon rapport qualité / prix nutritionnel, c'est-à-dire capables de fournir un régime alimentaire conforme aux recommandations relatives à un coût minimal, ont été identifiés à l'aide de la modélisation du régime alimentaire [ 28 ], mais l'acceptabilité culturelle et sociale des régimes nutritifs les moins coûteux interrogé [ 29 , 30 ]. Pour remédier à ce problème, des techniques de modélisation du régime alimentaire individuel capables d'intégrer non seulement des considérations de coût et de nutrition, mais également des schémas et préférences alimentaires individuels [ 31 ] ont été développées.

Sur la base des données d'une enquête alimentaire française réalisée en France et des prix moyens nationaux des aliments, la présente étude a exploré la relation entre le revenu, la qualité de l'alimentation et le coût de l'alimentation. À l'aide de techniques de modélisation du régime alimentaire individuel, l'étude a ensuite cherché à déterminer si les modifications du régime alimentaire nécessaires pour atteindre un niveau nutritionnel adéquat au niveau individuel à un coût énergétique et énergétique constant dépendaient du revenu.

## Les méthodes

### Echantillon de population et protocole d'enquête

L'enquête française individuelle et nationale sur l'alimentation (INCA2) a été réalisée en 2006-2007 par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) afin d'évaluer les apports alimentaires et les comportements associés dans un échantillon représentatif de la population française au niveau national [ 32 ]. L'enquête comprenait deux visites à domicile par des enquêteurs qualifiés. Les variables socioéconomiques, démographiques et comportementales ont été collectées auprès d'individus à l'aide d'un questionnaire auto-administré et d'un entretien. Au cours de la première visite, l'enquêteur a consacré de 45 à 60 minutes à expliquer l'enquête et le registre des aliments. Au bout de sept jours, l'enquêteur revint pour examiner les deux documents (par exemple, pour rechercher des aliments souvent oubliés, tels que du pain ou de l'eau dans le registre des aliments, et pour savoir si des questions manquaient dans le questionnaire auto-administré). L'enquêteur a ensuite mené une interview sur le statut socio-économique et le mode de vie. La technique d'échantillonnage en grappes à plusieurs degrés est décrite ailleurs [ 32 ]. Pour assurer la représentativité nationale, un facteur de pondération a été attribué à chaque individu pour les probabilités d'échantillonnage inégales et pour les non-réponses différentielles.

Dans la présente étude, les jeunes personnes de l'adolescence à l'âge adulte ( à savoir,  $n = 72$  personnes âgées de moins de 20 ans) ont été exclus de l'échantillon initial de INCA2 ( $n = 2624$ ), en laissant un échantillon de 2552 adultes âgés de 20-79 ans ( S1 Figure ). Les sous-déclarants ont ensuite été éliminés à l'aide des équations de Black [ 33 ], laissant un échantillon de 1726 adultes. L'optimisation de la diète n'était mathématiquement pas réalisable chez sept personnes. Les présentes analyses ont donc été effectuées sur un échantillon final de 1 719 personnes (ci-après dénommé « échantillon d'étude ») pour lequel il a été possible de concevoir un régime alimentaire optimisé avec les modèles ID.

### Éthique

Pour des raisons pratiques, le recrutement des participants s'est fait par téléphone et le consentement verbal a été obtenu lors de l'appel. Toutes les procédures impliquant des sujets humains / patients ont été approuvées par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés. L'étude INCA2 a été menée conformément aux directives de la déclaration d'Helsinki.

### Variables sociodémographiques et socioéconomiques

Le sexe, l'âge, l'état matrimonial (célibataire ou en couple), le nombre d'enfants, le niveau d'éducation, le statut socioprofessionnel et le statut tabagique actuel étaient disponibles pour chaque participant. Le niveau d'éducation était classé « élevé » (niveau universitaire et équivalent), « intermédiaire » (lycée) et « bas » (secondaire moyen ou inférieur). Le statut socioprofessionnel était classé « élevé », « intermédiaire » et « faible ». « Élevé » a été attribué aux catégories de cadres, de cadres supérieurs et de professionnels, aux professions « intermédiaires » à intermédiaires (employés de bureau, techniciens, etc.) et « peu élevé » aux ouvriers et aux chômeurs. Une quatrième classe, intitulée « autres », comprenait les retraités, les étudiants et les conjoints non disponibles à l'emploi [ 32 ].

### Revenu par unité de consommation

Un questionnaire socioéconomique, comprenant le revenu total du ménage et le nombre de personnes vivant dans le ménage, a été soumis à chaque participant. Certaines valeurs manquantes (20%) ont été déclarées pour le revenu du ménage. Dans ce cas, pour estimer les revenus du ménage, les individus avec des informations manquantes ont été appariés à des individus avec des données complètes sur le revenu en fonction de leurs caractéristiques sociodémographiques (âge, sexe, état matrimonial et nombre d'enfants) et socio-économiques (statut socio-professionnel, niveau d'éducation), et variables de niveau de vie (propriétaire ou non, équipement du domicile) utilisant l'algorithme de Kohonen [ 34 , 35 ].

Le revenu par unité de consommation (ci-après «revenu») a ensuite été calculé en divisant le revenu net total du ménage auto-déclaré par le nombre d'unités de consommation du ménage. Le nombre d'unités de consommation a été calculé à l'aide de l'échelle équivalente modifiée de l'Organisation de coopération et de développement économiques (1 unité de consommation pour le ménage, 0,5 pour les autres membres du ménage âgés de 14 ans ou plus et 0,3 pour chaque enfant de moins de 14 ans) [ 36 ].

#### Données alimentaires

L'apport alimentaire a été évalué à l'aide d'un enregistrement alimentaire de 7 jours sur l'échantillon de l'étude de 1 719 adultes. Les aliments déclarés comme consommés par les participants ( $n = 1\,314$  aliments et boissons non alcoolisées, y compris l'eau) ont été classés dans 9 groupes d'aliments, 25 sous-groupes d'aliments et 54 catégories d'aliments dans la base de données nationale sur la composition en éléments nutritifs des aliments (CIQUAL 2013 [ 37 ]) associé à l'enquête. Les quantités de groupes d'aliments et de sous-groupes, ainsi que les teneurs en énergie et en éléments nutritifs (macronutriments, sodium, sucres libres, acides gras saturés, acides gras essentiels, fibres, vitamines et minéraux) ont été calculées pour chaque régime alimentaire.

#### Coût de l'alimentation

Le coût de l'alimentation a été calculé en multipliant la quantité de chaque aliment dans l'alimentation par son prix moyen national. Le coût de l'alimentation était exprimé par jour ou par 2000 kcal (coût énergétique). Comme décrit précédemment [ 34 ], les prix nationaux moyens ont été exprimés en euros par 100 g de denrées alimentaires comestibles et ont été préalablement obtenus à partir de la base de données des achats de 2006 du Kantar-World Panel [ 38 ], qui donne les dépenses alimentaires annuelles d'un échantillon représentatif de 12 000 ménages français. En résumé, pour chaque aliment de la base de données sur la composition des aliments, le prix moyen a d'abord été calculé en euros par 100 g d'aliment acheté, en divisant les dépenses annuelles par les quantités achetées pour tous les produits alimentaires correspondant à cet article dans le tableau Kantar-World. base de données. Étant donné que ces prix ont été payés par un panel représentatif de consommateurs, les prix nationaux moyens étaient plus susceptibles de représenter les formes les plus fréquemment achetées de chaque aliment. Les prix ont ensuite été exprimés en euros par 100 g de nourriture comestible, en utilisant les facteurs de conversion appropriés [ 37 ] pour tenir compte de la coupe et de la cuisson.

#### Indicateurs de qualité nutritionnelle

La densité énergétique solide (SED), le rapport d'adéquation moyen (MAR) et le rapport d'excès moyen (MER) ont été utilisés comme indicateurs de la qualité nutritionnelle et ont été estimés pour chaque régime observé. Le SED, en kcal / 100 g, a été calculé sur la base des articles généralement consommés comme *aliments*, y compris les soupes, mais à l'exclusion de l'eau de boisson et des articles généralement consommés comme *boissons*, tels que le lait, les jus et autres boissons [ 39 ]. Le SED a été calculé en divisant l'énergie totale fournie par les aliments solides par le poids des aliments solides. Un SED élevé est associé à une alimentation de mauvaise qualité [ 40 ]. Le MAR a été utilisé comme indicateur de bonne qualité nutritionnelle et a été calculé pour chaque régime alimentaire observé en tant que pourcentage moyen des apports quotidiens recommandés pour 20 nutriments essentiels (protéines, fibres, équivalents de rétinol, thiamine, riboflavine, niacine, vitamine B6, folates), vitamine B12, acide ascorbique, vitamine E, vitamine D, calcium, potassium, fer, magnésium, zinc, cuivre, iode et sélénium), comme décrit précédemment [ 34 ]. Le MER, indicateur de mauvaise qualité nutritionnelle, a été calculé comme étant le pourcentage quotidien moyen d'excès de sodium, d'acides gras saturés et de sucres libres, comme proposé par Vieux [ 41 ]. Dans les calculs MAR et MER, une ingestion élevée (faible) d'une composante ne pouvait pas compenser l'apport faible (élevé) d'une autre composante. Le coût de l'énergie en euros par 2000 kcal (estimé comme décrit ci-dessus) a également été considéré comme un indicateur de la qualité nutritionnelle [ 42 ].

#### Modélisation de l'alimentation

Des régimes iso-caloriques adéquats sur le plan nutritionnel ont été conçus avec une version améliorée des modèles de régimes individuels décrits précédemment (modèles ID) [ 31 ]. Les modèles ont été construits en partant du principe que les individus préfèrent manger ce qu'ils ont l'habitude de manger et ne sont pas disposés à modifier leur apport énergétique [ 43 ]. Pour chaque individu de l'échantillon final de l'étude, un nouveau régime modélisé a été conçu pour rester aussi proche que possible du régime observé, tout en respectant simultanément toutes les recommandations nutritionnelles au même niveau d'énergie. Dans les sept régimes pour lesquels l'optimisation n'était pas réalisable (c.-à-d. Les individus exclus de l'échantillon final), le caractère infaisable était dû à une incompatibilité entre la contrainte iso-calorique et les contraintes en protéines, glucides et lipides.

Les modèles de programmation linéaire sont généralement définis par une liste de variables de décision, une fonction objective et un ensemble de contraintes [ 44 ].

Les variables de décision étaient les quantités d'aliments disponibles pour la modélisation du régime alimentaire ( figure 1 ). Ces variables relatives aux aliments ont été divisées en aliments du répertoire (aliments déclarés comme étant consommés par l'individu) et en des aliments autres que ceux du répertoire (aliments déclarés comme consommés au moins une fois dans l'enquête, mais pas par cet individu).

$$Min F_i = \sum_{j \in R} D_{ij} + \sum_{j \in \bar{R}} w_j Q_j^{opt}$$

Repertoire foods<sup>1</sup>      Non-repertoire foods<sup>2</sup>

$F_i$  is the objective function<sup>3</sup> for individual  $i$

$R$  is the food repertoire of individual  $i$

$D_{ij}$  defines the negative relative deviation between the optimised and the observed quantity of repertoire foods  $j$  for individual  $i$

$Q_j^{opt}$  is the quantity (in gram) of additional food  $j$  in the optimised diet of individual  $i$

$w_j = \left( 1 + \frac{0.1 \times N}{NC_j} \right) \left( \frac{Q_j^{med}}{Q_j^{opt}} \right)$  is the weight to preferentially select the most consumed foods among additional foods

$Q_j^{med}$  is the median quantity (in gram) of food  $j$  observed in the sample

$N$  is the total number of individuals in the sample ( $N=1719$ )

$NC_j$  is the number of individuals who consumed food  $j$

<sup>1</sup> Repertoire foods are the foods declared as consumed by an individual during the survey

<sup>2</sup> Some specific foods were not allowed as non-repertoire foods for the following reasons:  
 -fortified foods were not allowed as non-repertoire foods because our aim was to identify the food choices that could enable an individual to meet DRIs without relying on fortification;  
 -calorie-free drinks (<4kcal/100g), and mineral water but not tap water, were excluded from the list of non-repertoire foods to encourage the addition of water as a drink to reach the recommended intake of water as a nutrient (i.e. H2O);  
 -organ meats, French foie gras, process meats with liver, cod liver, caviar and spices were excluded from the list of non-repertoire foods because it seems highly unlikely that an adult not having declared consuming them would introduce them in their habitual diet.

<sup>3</sup> The objective function was defined as the sum of the absolute negative deviations between the quantity of each repertoire-food in the observed diet and the quantity of that food selected in the modeled diet plus the sum of the quantities of non-repertoire-foods selected in the modeled diet.

**Fig 1. Description de la fonction objectif.**  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.g001>

La fonction objectif a été définie pour trouver le régime modélisé le plus proche possible du régime observé. Comme indiqué précédemment [ 31], la fonction objectif visant à (i) choisir préférentiellement les aliments du répertoire, (ii) réduire au minimum la réduction des aliments du répertoire et (iii) introduire des aliments non inscrits dans le répertoire (c'est-à-dire des aliments qui n'ont pas été déclarés comme consommés). Concernant l'introduction d'aliments hors répertoire, afin de favoriser l'acceptabilité, les aliments les plus consommés par la population française ont été sélectionnés de manière préférentielle et ont été introduits en quantité la plus faible possible. La justification de la construction de cette fonction objectif était de proposer un régime dans lequel la consommation d'aliments préférés individuellement est encouragée dans la mesure du possible, tandis que l'introduction de nouveaux aliments est limitée autant que possible. Pour ce faire, les réductions des quantités consommées d'aliments ont été pénalisées mais pas augmentées.

Les contraintes à respecter étaient un ensemble de contraintes nutritionnelles basées sur les apports nutritionnels de référence (ANR) [ 45 ] [ 46 ] [ 47 ] [ 48 ], un ensemble de contraintes d'acceptabilité (par exemple, des quantités maximales d'aliments et de groupes d'aliments) et un ensemble d'autres contraintes, en particulier le poids total du régime alimentaire et le coût total du régime alimentaire ( tableau 1 ). Les boissons sans calories ont été exclues du calcul du poids total de l'alimentation pour éviter la compétition entre les boissons sans calories et les aliments riches en nutriments et à faible teneur en énergie.

Constraint	Target
<b>Nutrients constraints</b>	
Energy, kcal/d*	= Observed Intake (OI)†
H <sub>2</sub> O g/d	≥ 2500‡
Protein§, g/kg/d	> 0.83
Total fat§, % energy	20–35
Carbohydrate§, % energy	50–75
Cholesterol§, mg/d	≤ 300 or OI
Alpha-linolenic acid§, % energy	≥ 0.5
Linoleic acid§, % energy	2.5–9
DHA plus EPA§, g/d	≥ 0.25
Omega 3§, % energy	0.5–2
PUFA§, % energy	6–11
SFA§, % energy	≤ 10 or OI
Free sugars§, % energy	≤ 10 or OI
Sodium§, mg/d	1500–2750 or OI
Fibre, 10 vitamins, 9 minerals**	≥ EAR or OI or RDA††
<b>Food group constraints</b>	
Food groups	≤ p95‡‡ or OI §§
Food sub-groups	≤ p95‡‡ or OI §§
Food categories	≤ p95‡‡ or OI §§
Individual foods	≤ p95‡‡ or OI §§
<b>Other constraints</b>	
Total diet weight, in g/d	≤ 115% of OI
Diet cost, euros/d	Free or = OI depending on the model used

\*1 kcal = 4.184 kJ

† OI = Observed Intake

‡ Scientific opinion of the EFSA on the Adequate Intake for water as a nutrient, i.e. H<sub>2</sub>O: 2500 g was the minimal daily amount recommended for men, 2000 g for women[41]

§ WHO guidelines were used for protein[42], fats including total fats, carbohydrates, cholesterol, ALA, LA, DHA plus EPA, Omega 3, PUFA, SFA and free sugars[43]

|| OI was used as an upper bound to avoid deterioration of the observed diet

¶ Nordic Nutrient Recommendations[44]: 2750 mg (i.e. 7 g NaCl) was the upper bound for men, 2365 mg (i.e. 6 g NaCl) for women.

\*\* French RDAs were used for fibre, vitamin A, thiamine, riboflavin, niacin, pantothenic acid, vitamin B6, folate, vitamin B12, ascorbic acid and vitamin E, and for calcium, phosphorus, potassium, iron, magnesium, zinc, copper, iodine and selenium[45]

†† Constraints took into account the age and gender of each individual, and the level of the OI for each nutrient. The minimum levels imposed were as follows: at least the Estimated Average Requirement (EAR, set at 77% of RDA values) when OI was lower than EAR, at least the Recommended Dietary Allowance (RDA) when OI was greater than RDA, and equal to OI when it lay between EAR and RDA.[11] Values of French RDA used in this study for the 10 vitamins and the 9 minerals were previously published [31]. A value of 30 g/d was applied for fibre

‡‡ P95 means 95th percentile and was calculated among consumers only and by gender

§§ OI was used as upper bound to take into account the specific features of individual food choice

|||| Excluding calorie-free drinks containing less than 4 kcal per 100 g and all kinds of water, to avoid competition between calorie-free drinks and nutrient-dense foods with low energy content

**Tableau 1. Contraintes utilisées dans les modèles de régimes individuels.**  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.t001>

Comme décrit précédemment, tous les régimes modélisés étaient iso-caloriques avec les régimes observés correspondants afin d'identifier les changements alimentaires minimaux nécessaires pour atteindre l'adéquation nutritionnelle à énergie constante. Pour améliorer la pertinence de la modélisation de l'alimentation individuelle, des modifications ont été apportées aux modèles d'identification précédemment publiés [ 31 ]. Toutes les modifications apportées aux modèles d'identification d'origine [ 31 ] sont décrites dans la méthode S1 . Une première série de modèles d'identification (ci-après dénommés «modèles d'identification gratuits») a été exécutée sans contrainte de coût afin d'explorer l'impact du processus d'optimisation sur le coût de l'alimentation.

Une deuxième série de modèles d'identification (ci-après dénommés «modèles d'identification iso-coût») a ensuite été utilisée en introduisant une contrainte de coût dans les modèles afin de fixer le coût du régime optimisé égal à celui du régime observé correspondant.

**analyses statistiques**

Les quintiles de revenu (Q1 le plus bas, Q5 le plus élevé) ont été définis sur l'échantillon initial ( n = 2 624), en utilisant le revenu par unité de consommation comme variable de revenu. Les variables sociodémographiques et socioéconomiques des individus de l'échantillon de l'étude ( n = 1 719) ont été décrites pour tous les quintiles de revenu, ainsi que les caractéristiques des aliments et des nutriments des régimes observés.

Pour les régimes optimisés sans contrainte de coût, la variation moyenne du coût de l'alimentation entre les régimes observés et optimisés a été analysée dans l'échantillon global de l'étude et par quintile de revenu.

Pour les régimes optimisés avec la contrainte d'égalité des coûts, les changements alimentaires entre les régimes observés et optimisés ont été décrits par groupe d'aliments et sous-groupe d'aliments pour l'échantillon global de l'étude et par quintile de revenu.

Le test du chi-carré non paramétrique a été utilisé pour comparer la distribution du sexe et d'autres variables socioéconomiques entre les quintiles de revenu. Des modèles GLM ajustés, tenant compte de la conception de l'enquête, ont été utilisés pour tester l'importance des effets de revenu sur les régimes alimentaires observés et les modifications du régime alimentaire induites par les modèles ID afin d'atteindre l'adéquation en éléments nutritifs. Alors que de fortes effets de structuration fondés sur le sexe du gradient social dans les régimes alimentaires ont été observés dans certaines populations [ 49 ], un terme d'interaction sexe \* revenu quintiles a été testé dans toutes les analyses en tant qu'analyse de sensibilité.

L'apport énergétique, l'âge, le sexe, l'état matrimonial et le nombre d'enfants ont été utilisés comme première série de variables d'ajustement. Dans un deuxième groupe, le statut socioprofessionnel, le niveau d'éducation et le statut tabagique actuel ont été ajoutés à titre de covariables. Lorsque l'effet de revenu était significatif, une tendance linéaire a également été testée ( p pour tendance). Une analyse supplémentaire, basée sur la méthode GLM et le test du chi-carré non paramétrique, a été réalisée afin de comparer les caractéristiques sociodémographiques et socioéconomiques des individus de l'échantillon de l'étude finale ( n = 1 719) avec ceux exclus de l'analyse ( n = 905). ).

Les progiciels de recherche opérationnelle et STAT de la version 9.4 de SAS (SAS Institute, Cary, NC) ont été utilisés pour exécuter des modèles de programmation linéaire et effectuer des analyses statistiques, respectivement. Pour assurer la robustesse des conclusions, une approche conservatrice a été utilisée, avec un niveau alpha de 1% pour tous les tests statistiques.

**Résultats**

**Caractéristiques sociodémographiques et socioéconomiques de l'échantillon, par quintile de revenu**

Les quintiles de revenu étaient associés positivement aux deux autres variables socioéconomiques, à savoir le statut socioprofessionnel et le niveau d'éducation ( tableau S1 ). L'âge a considérablement augmenté d'un quintile de revenu à l'autre II existait également une relation significative entre les quintiles de revenu et l'état matrimonial, avec davantage de célibataires dans le quintile de revenu inférieur. Les personnes appartenant au quintile de revenu inférieur étaient plus susceptibles d'être des femmes, bien que l'association globale entre les quintiles de revenu n'ait pas été significative. Comparativement à l'échantillon final de l'étude, les personnes exclues étaient nettement plus susceptibles d'être plus jeunes, d'avoir un revenu inférieur, de vivre seules, d'avoir un niveau de formation inférieur, de bénéficier d'un statut socio-professionnel inférieur et de fumer actuellement (voir le tableau S2 ).

**Caractéristiques nutritionnelles et alimentaires des régimes observés, par quintile de revenu**

Dans l'échantillon étudié, l'apport énergétique moyen n'était pas significativement différent selon les quintiles de revenu ( tableau 2 ). Le score MAR, le coût quotidien de l'alimentation et le coût énergétique des régimes observés étaient significativement et positivement associés aux quintiles de revenu ( p valeur de la tendance avec ajustement en fonction de l'apport énergétique, du sexe, de l'âge, de l'état matrimonial et du nombre d'enfants, et ils sont restés significatifs après ajustements supplémentaires (tabagisme, niveau d'éducation et statut socioprofessionnel). En particulier, le MAR a augmenté de 81,9% à 84,8% d'adéquation / j du T1 au Q5. Le coût de l'alimentation a augmenté de 6,4 à 7,2 euros / j sur tous les quintiles de revenus. Le poids total de l'alimentation, les apports énergétiques en macronutriments, la densité énergétique solide, le score MER et ses composants (sodium, sucres libres et acides gras saturés) n'étaient pas significativement différents selon les quintiles de revenu.

	Income quintile from lowest (Q1) to highest (Q5)										Adjusted p value*
	All (n=1719)	Q1 (n=338)	Q2 (n=338)	Q3 (n=338)	Q4 (n=338)	Q5 (n=338)	Mean	SD	Mean	SD	
Energy intake(kJ/energy)	2157.0	2119.2	2178.8	2144.2	2103.9	2185.8	2072.3	2128.8	495.4	...	...
Protein (% energy)	16.5	17.7	16.8	17.1	16.8	16.5	16.5	16.4	16.4	...	...
Carbohydrate (% energy)	42.7	41.1	43.4	43.1	43.9	42.3	42.7	42.1	42.2	...	...
Fats (% energy)	38.5	37.7	37.8	38.8	38.3	38.9	38.2	38.6	38.8	...	...
Total diet weight (g/d)	2022.4	1957.8	2051.7	2002.2	1969.9	2022.2	1987.0	1974.6	1992.7	...	...
Energy density (kJ/100g)	107.4	107.7	102.6	106.6	103.5	105.9	102.6	107.1	106.4	...	...
MAR score (% adequacy)†	83.8	81.9	81.9	83.1	83.3	84.1	83.6	85.1	84.1	...	...
MER score (% adequacy)†	32.2	30.9	32.4	30.3	31.3	28.1	29.0	32.0	30.1	...	...
Age (yr)‡	30(0.1)	28(0.4)	29(0.4)	29(0.5)	29(0.5)	30(0.6)	30(0.6)	30(0.7)	30(0.7)	...	...
Free sugars (% energy)§	9.5	9.1	10.2	9.5	9.3	9.5	9.8	9.3	9.7	...	...
Saturated fatty acids (% energy)¶	14.7	15.0	14.4	15.3	14.9	15.0	14.6	15.0	14.8	...	...
Sodium (mmol/d)¶	6.0	5.8	6.4	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	...	...
Energy cost (euros)¶	6.5	6.4	6.1	6.3	6.3	6.1	6.1	6.1	6.1	...	...

\* All means are survey-weighted.  
 † Significant differences between quintiles for an alpha level of 1%.  
 ‡ Adjusted for energy intake, age, gender, marital status, number of children.  
 § Adjusted for energy intake, age, gender, marital status, number of children, current smoking status, educational level and socio-occupational status.  
 ¶ Energy intake was not significantly different according to income quintile (unadjusted p = 0.428).  
 †† Based on 14842.  
 ††† SED: solid energy density, calculated based on items typically consumed as foods, including soups, but excluding drinking water and items typically consumed as beverages, such as milk, juices and other drinks.  
 https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.t002

**Tableau 2. Caractéristiques des régimes observés dans l'échantillon global de l'étude ( n = 1 719) et par quintile de revenu (Q1 le plus bas, Q5 le plus élevé).**  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.t002>

Très peu de différences significatives ont été observées entre les quintiles de revenu en ce qui concerne les apports alimentaires ( tableau 3 ). Pour certains sous-groupes, à savoir les légumes et les noix, les différences étaient significatives avec le premier ensemble d'ajustements, mais ne le restaient pas avec l'ensemble des ajustements. En revanche, pour le groupe des féculents et pour le groupe des fruits et légumes, et pour le sous-groupe des fruits, les différences n'étaient significatives qu'avec l'ensemble

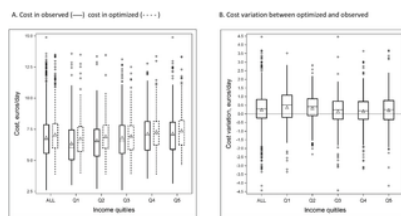
des ajustements. Les apports dans le groupe alimentaire fruits et légumes ont ainsi augmenté, passant de 342 g / j à 422 g / j (soit une différence de 1 portion de 80 g / j) entre le premier et le cinquième trimestre, principalement en raison d'une augmentation de la consommation de fruits à 195 g / j). L'analyse de sensibilité a montré une interaction significative sexe-revenu uniquement pour les boissons chaudes, sans tendance forte dans les quintiles.

	Income quintile from lowest (Q1) to highest (Q5)										Adjusted mean	95% CI	P < 0.05	
	All (n = 1719)	Q1 (n = 350)	Q2 (n = 350)	Q3 (n = 350)	Q4 (n = 350)	Q5 (n = 350)	Q1 (n = 350)	Q2 (n = 350)	Q3 (n = 350)	Q4 (n = 350)				Q5 (n = 350)
Fruit and vegetables	375.7	286.7	342.4	293.3	386.8	293.4	340.3	277.5	417.4	257.2	422.5	238.4	0.190	0.001
Fruits	162.1	126.7	153.0	142.3	172.9	129.9	148.1	108.0	195.0	102.2	152.0	124.0	0.001	0.001
Vegetables	213.5	159.3	200.8	149.1	213.9	163.5	192.2	109.4	222.4	100.0	170.0	114.0	0.001	0.001
Nuts	2.1	0.9	1.9	0.1	1.9	0.2	1.8	0.1	2.4	0.0	2.4	0.7	0.000	0.011
Starchy foods	254.2	193.9	209.3	193.6	270.4	122.4	146.5	113.2	204.4	114.5	224.9	100.0	0.000	0.010
Refined starchy	188.8	164.4	177.9	163.3	181.1	100.3	144.8	97.8	164.5	88.9	159.9	97.4	0.001	0.047
Unrefined starchy	65.3	29.3	31.4	30.3	89.3	22.1	1.7	16.3	39.9	25.6	65.0	3.6	0.000	0.000
Ready-to-eat cereals	4.9	16.3	5.1	20.0	3.8	12.0	5.3	17.3	5.6	15.4	4.5	15.2	0.012	0.365
Milk, single, fresh	188.9	192.2	185.6	215.1	180.3	188.6	170.4	175.7	183.9	191.0	185.0	187.0	0.000	0.000
Milk**	120.4	103.9	122.0	122.7	122.6	103.9	106.4	106.7	114.8	105.8	116.3	108.4	0.001	0.000
Eggs	15.6	17.6	16.1	16.9	16.8	16.3	16.0	17.1	15.6	17.0	13.2	15.1	0.000	0.004
Pasta†	30.9	29.6	27.2	29.8	30.2	27.8	28.0	28.0	33.6	29.5	30.5	30.1	0.000	0.493
Mixed dishes and cooked meats	120.8	91.4	118.8	94.1	118.8	80.3	120.2	97.3	122.8	94.0	109.5	74.4	0.001	0.009
Mixed dishes	69.9	67.7	75.4	65.2	71.2	67.7	77.5	68.1	68.1	65.4	61.6	53.0	0.001	0.403
Salted snacks‡	50.9	57.0	48.5	52.6	47.4	53.9	54.6	64.0	54.7	62.1	47.9	45.9	0.000	0.430
Soft products	201.9	188.0	192.3	193.5	197.2	192.1	211.7	207.2	204.8	170.5	208.8	145.1	0.001	0.002
Meat	60.8	145.8	74.7	126.9	87.8	128.0	96.1	100.7	90.9	141.0	82.9	103.2	0.004	0.405
Fresh dairy products§	80.9	81.3	78.1	80.6	79.7	77.7	80.2	77.6	77.7	82.4	87.8	77.2	0.002	0.753
Cheese	34.1	39.8	34.2	34.5	29.8	29.2	33.4	31.2	36.9	29.9	36.2	24.7	0.001	0.007
Sweet products	118.4	74.6	110.6	70.1	118.8	71.3	123.2	73.2	120.3	73.2	121.9	76.2	0.001	0.008
Meat or egg-containing desserts	114.4	31.0	171.1	38.7	211.2	36.7	149.0	28.4	176.1	27.1	183.0	20.9	0.001	0.000
Cakes and Viennese pastries	69.8	32.5	37.4	32.0	64.8	32.4	71.2	53.4	68.3	50.5	66.1	53.4	0.000	0.008
Biscuits and confectionery	50.2	32.0	36.1	32.0	30.2	30.7	33.1	32.1	34.4	29.8	37.4	34.2	0.000	0.077
Water and beverages	1201.6	812.2	1307.8	720.4	1281.2	619.2	1311.4	971.4	1217.2	626.1	1281.6	981.2	0.000	0.016
Water	798.5	509.9	747.0	573.2	780.0	578.9	800.6	564.6	824.5	581.2	814.5	549.2	0.000	0.024
Soft drinks	396.9	293.9	560.8	147.1	500.9	290.9	500.5	407.8	392.4	634.9	698.0	432.0	0.000	0.000
Hot sweet beverages	12.9	42.2	14.5	35.5	15.2	53.6	15.1	68.8	10.4	50.3	14.0	78.8	0.000	0.037
Sugar sweetened beverages	44.0	119.0	30.0	203.7	71.0	228.9	43.9	122.4	12.4	142.7	107.7	142.8	0.000	0.001
Fruit juices 100%	39.3	30.0	35.2	37.4	32.8	38.7	38.8	47.8	10.4	30.5	74.4	0.011	0.311	
Alcohol tea and beverages	45.1	23.4	44.8	25.0	45.3	22.8	45.7	22.9	48.6	25.3	40.0	20.8	0.001	0.014
Alcohol tea	14.2	13.6	13.8	13.7	14.5	13.4	13.4	13.2	12.5	14.1	12.8	0.000	0.000	
Alcohol wine	28.9	10.3	29.4	11.3	29.3	10.3	29.3	10.3	29.3	10.3	29.3	10.3	0.000	0.003
Spirit and aromatic plants	1.4	1.9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	0.000	0.777
Flavours based on eggs	3.5	25.4	4.5	21.8	3.3	26.0	2.8	23.5	1.7	18.7	3.5	26.8	0.000	0.047

**Tableau 3. Apports en groupes et sous-groupes d'aliments observés (g / j) pour l'échantillon global de l'étude ( n = 1 719) et par quintile de revenu (Q1 le plus bas, Q5 le plus élevé).**  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.t003>

**Impact des modèles d'identification gratuits sur le coût de l'alimentation, par quintile de revenu**

La répartition du coût des régimes dans les régimes observés et optimisés, ainsi que les variations de coût induites par le processus d'optimisation sont illustrées à la Fig . 2 . Dans l'échantillon global de l'étude, le coût de l'alimentation le plus bas était de 2,60 euros / j dans les régimes observés, contre 3,85 euros / j dans les régimes optimisés ( figure 2A ). En d'autres termes, quel que soit le quintile de revenu, lorsque le coût n'était pas limité, le processus d'optimisation augmentait systématiquement le coût du régime lorsque celui-ci était inférieur à 3,85 euros / j dans le régime observé. Le coût de l'alimentation a été augmenté en moyenne de +0,22 euro / j (ce qui correspond à + 3,2% du coût moyen de l'alimentation observé). Cette augmentation significative a été maintenue au sein de chaque quintile de revenu, quels que soient les ajustements ( Fig. 2B). Pour la plupart des individus (64%), le coût quotidien de l'alimentation a augmenté pour atteindre l'équilibre nutritionnel et cette proportion était inégalement répartie entre les quintiles de revenu (67,9%, 71,8%, 61,9%, 60,6%, 59,3% du premier au cinquième trimestre, respectivement). données non présentées). La variation du coût de l'alimentation entre les régimes observés et optimisés n'était pas significativement différente d'un quintile de revenu à l'autre. La différence de coût entre les régimes observés et optimisés variait considérablement (les extrêmes étaient de -5,06 à +4,46 euros / j).



**Fig 2. Impact de l'optimisation avec les modèles ID gratuits sur le coût de l'alimentation dans l'échantillon global de l'étude ( n = 1719) et par quintile de revenu.**  
 (A) Distributions (minimum, 1er quartile, médiane, 3ème quartile et maximum) et valeurs moyennes (symboles triangulaires) du coût de l'alimentation (en euros / j) dans les régimes observés et optimisés. Dans chaque quintile de revenu et pour l'échantillon global de l'étude, la répartition des coûts de l'alimentation était significativement différente entre les régimes observés et optimisés, quels que soient les ajustements. (B) Distribution des variations de coûts entre les régimes optimisés et observés. La variation des coûts moyens dans l'échantillon global ( n = 1 719) était significativement différente de zéro ( p < 0,01), quels que soient les ajustements. Les variations de coûts moyens n'étaient pas significativement différentes d'un quintile de revenu ( p = 0,094), quels que soient les ajustements.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.g002>

**Changements alimentaires induits par les modèles d'identification iso-coût, par quintile de revenu**

L'introduction de la contrainte de coût n'a pas altéré la faisabilité des modèles ID: il était possible de concevoir un régime optimisé sans coût supplémentaire pour chaque individu de l'échantillon de l'étude.

En moyenne, l'optimisation de l'alimentation a augmenté le poids de l'alimentation de 300 g / j, avec 137 g d'aliments du répertoire et 163 g d'aliments ajoutés au répertoire ( tableau 4 ). L'augmentation du poids total du régime alimentaire était généralement plus forte pour les quintiles de revenu inférieurs, mais la différence n'a pas atteint son importance après des ajustements supplémentaires. En moyenne, 7,7 aliments du répertoire ont été retirés d'un régime individuel et 4,5 aliments autres que du répertoire ont été ajoutés. Le nombre et le poids des aliments autres que de répertoire ajoutés par le processus d'optimisation ont considérablement augmenté avec la diminution des quintiles de revenu, mais des ajustements supplémentaires ont fait perdre de leur importance.

	All		Income quintiles from lowest (Q1) to highest (Q5)										Adjusted <sup>a</sup>	
	Mean	SD	Q1 (n = 200)	Q2 (n = 200)	Q3 (n = 200)	Q4 (n = 200)	Q5 (n = 200)	Q1 (n = 200)	Q2 (n = 200)	Q3 (n = 200)	Q4 (n = 200)	Q5 (n = 200)	β	95% CI
Total diet weight (g/d)	2000.0	487.30	1943.0	1933.0	1915.0	1779.0	1686.2	1617.8	1576.1	1530.0	1493.7	1457.7	0.007	0.001
Weight of repetitive foods (g/d)	1107.0	245.79	1104.0	1070.0	1019.0	927.0	847.0	784.0	740.0	700.0	660.0	0.007	0.001	
Weight of non-repetitive foods (g/d)	893.0	241.51	839.0	863.0	896.0	852.0	839.2	793.8	736.1	670.0	633.7	0.000	0.004	
Number of processed repetitive foods	7.7	0.3	7.6	7.5	7.3	7.0	6.8	6.7	6.6	6.5	6.4	0.001	0.001	
Number of added non-repetitive foods	4.5	0.0	4.4	4.2	4.0	3.8	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	<0.001	0.001	

**Tableau 4. Variations du poids des aliments et changements du répertoire dans le répertoire induits par les modèles d'identification iso-coût pour l'échantillon global de l'étude ( n = 1 719) et par quintile de revenu (Q1 le plus bas, Q5 le plus élevé).**  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.t004>

Des changements alimentaires étaient nécessaires pour atteindre un niveau nutritionnel suffisant, et le signe de ces changements était le même pour tous les quintiles de revenu ( tableau 5.): au niveau du groupe alimentaire, quel que soit le quintile de revenu, l'optimisation visait l'augmentation des fruits et légumes (principalement des fruits) et des féculents (raffinés et non raffinés), ainsi que la diminution des plats composés et des snacks salés ainsi que des produits sucrés; au niveau des sous-groupes d'aliments, les autres changements nécessaires pour atteindre un niveau nutritionnel adéquat sont une augmentation du poisson et une diminution de la viande, une augmentation du lait et des produits laitiers frais, une diminution du fromage, une augmentation de l'eau, des boissons chaudes et un régime boissons sucrées et une diminution des boissons sucrées et des jus de fruits, une augmentation des graisses végétales et une diminution des graisses animales. Les seules différences significatives entre les quintiles de revenus en ce qui concerne les changements alimentaires nécessaires pour atteindre un niveau nutritionnel adéquat concernent les fruits (et les fruits et légumes en tant que groupe alimentaire), vs . Q5), et pour les boissons édulcorées (diminutions plus importantes au T1 par rapport à la Q5). Ces petites différences entre les quintiles de revenu n'ont pas été maintenues après des ajustements supplémentaires, sauf pour les fruits (et le groupe d'aliments pour les fruits et légumes). L'analyse de sensibilité a montré une interaction significative sexe-revenu uniquement pour les féculents non raffinés, avec une tendance à la baisse (du T1 au T4) chez les hommes, mais pas chez les femmes.

	All		Income quintiles from lowest (Q1) to highest (Q5)										Adjusted <sup>a</sup>	
	Mean	SD	Q1 (n = 200)	Q2 (n = 200)	Q3 (n = 200)	Q4 (n = 200)	Q5 (n = 200)	Q1 (n = 200)	Q2 (n = 200)	Q3 (n = 200)	Q4 (n = 200)	Q5 (n = 200)	β	95% CI
<b>Fruit and vegetables</b>	1171.1	137.7	1160.0	1170.0	1177.0	1188.0	1208.0	1242.0	1262.0	1278.0	1282.0	1282.0	0.001	0.001
Fruit	419.0	100.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	410.0	0.001	0.001	
Vegetables	752.0	137.7	750.0	760.0	767.0	778.0	798.0	832.0	852.0	868.0	872.0	0.002	0.002	
<b>Meat</b>	132.0	48.0	132.0	132.0	132.0	132.0	132.0	132.0	132.0	132.0	132.0	0.001	0.001	
<b>Meat and poultry</b>	100.0	38.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.001	0.001	
<b>Meat, eggs, fish</b>	32.0	10.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	0.001	0.001	
<b>Eggs</b>	32.0	10.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	0.001	0.001	
<b>Meat and fish</b>	68.0	18.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	68.0	0.001	0.001	
<b>Meat and fish products</b>	32.0	10.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	0.001	0.001	
<b>Meat products</b>	28.0	9.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	0.001	0.001	
<b>Dairy products</b>	200.0	80.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	0.001	0.001	
<b>Fresh dairy products</b>	110.0	40.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	0.001	0.001	
<b>Processed dairy products</b>	90.0	40.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	0.001	0.001	
<b>Starch products</b>	110.0	40.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	0.001	0.001	
<b>Whole grain starch products</b>	110.0	40.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	0.001	0.001	
<b>Refined starch products</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.001	0.001	
<b>Other products</b>	10.0	4.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.001	0.001	
<b>Alcohol</b>	10.0	4.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	0.001	0.001	
<b>Other products</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.001	0.001	

**Tableau 5. Changements alimentaires induits par les modèles d'iso-coût ID pour l'ensemble de l'étude ( n = 1 719) et par quintile de revenu (Q1 le plus bas, Q5 le plus élevé).**  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.t005>

Dans les deux séries de modèles ID, les contraintes les plus contraignantes (c'est-à-dire les contraintes les plus difficiles à respecter) étaient celles relatives à l'énergie totale, au coût total de l'alimentation (dans le modèle), aux quantités maximales de sodium, aux sucres libres et aux acides gras saturés. et la quantité minimale de glucides totaux (données non présentées).

**Discussion**

Dans cet échantillon de Français adultes, un revenu inférieur était associé à des régimes moins adéquats et également moins coûteux. Atteindre un niveau nutritionnel suffisant a effectivement entraîné une augmentation du coût de l'alimentation pour la plupart des individus, mais en introduisant une contrainte de coût d'égalité, il a été possible de modéliser une alimentation optimale sans augmenter le coût de l'alimentation, quel que soit le coût initialement observé. Les changements alimentaires induits par l'optimisation étaient pour la plupart similaires entre les quintiles, bien qu'une augmentation plus importante des fruits et des légumes soit nécessaire pour que les personnes à faible revenu respectent les recommandations nutritionnelles. Des écarts plus importants par rapport aux régimes observés étaient également nécessaires lorsque le budget consacré aux aliments était inférieur à 3,85 euros / j.

L'une des forces de la présente étude est que le revenu, la qualité et le coût de l'alimentation ont été explorés de manière concomitante à l'aide des données de l'enquête française sur l'alimentation et des prix alimentaires nationaux. Les résultats montrent que les régimes des personnes à faible revenu étaient à la fois moins coûteux et moins adéquats que ceux des personnes à revenu élevé de cet échantillon français. Des relations positives entre le revenu (ou un autre indicateur de PES), le coût de l'alimentation et la qualité de l'alimentation avaient déjà été observées dans certaines cohortes de recherche non représentatives d'adultes au Royaume-Uni, en France et aux États-Unis [ 50 - 56 ], et dans un échantillon représentatif d'adultes aux États-Unis [ 57 ]. Dans d'autres études, seules deux des trois dimensions (SEP, coût de l'alimentation, qualité de l'alimentation) ont été analysées ensemble. Par exemple, dans une étude récente menée au Royaume-Uni auprès d'une population représentative d'adultes, une relation positive entre avoir un revenu inférieur et consommer un régime alimentaire de valeur monétaire moindre a également été mise en évidence, mais aucune tentative n'a été faite pour évaluer simultanément la qualité nutritionnelle des aliments. les régimes [ 58 ]. En ligne avec les études précédentes qui ont exploré la relation entre le coût de l'alimentation et la qualité de l'alimentation [ 11 , 13 , 50 , 59 , 60 ], nous avons également constaté un lien positif entre ces deux

dimensions. Les présents résultats concordent également avec ceux de plusieurs études menées dans des pays industrialisés [ 10 , 11 ], y compris en France [ 7 , 61 ], qui ont trouvé une relation positive entre SEP et qualité alimentaire. Dans la présente étude, il y avait très peu de différences entre les quintiles de revenus en ce qui concerne les apports alimentaires. Pour les fruits et les légumes, toutefois, les personnes du quintile de revenu inférieur ont consommé en moyenne une portion de 80 g de moins que celles du quintile supérieur, ce qui peut contribuer à la diminution de la quantité de nutriments (c.-à-d. Moins élevée) de leur régime alimentaire. En revanche, les apports en énergie et en macronutriments n'étaient pas liés au niveau de revenu, pas plus que les apports en sodium, en sucres libres et en acides gras saturés, et par conséquent en MER. L'observation selon laquelle SEP affecte davantage les aspects positifs de l'alimentation que les aspects négatifs, à l'exception peut-être de la consommation de boissons sucrées [ 12 , 34 , 62.], est également cohérent avec les résultats précédents, y compris dans la population américaine [ 63 , 64 ].

Une autre force de cette étude est que, pour chaque individu de la population, nous avons pu identifier les plus petits changements alimentaires nécessaires pour respecter l'ensemble des recommandations nutritionnelles sans augmenter les coûts. Par rapport aux régimes observés, l'optimisation avec les modèles ID augmentait tous les aliments à base de plantes et diminuait presque tous les aliments à base d'animaux, à l'exception du poisson et du lait et des produits laitiers frais, témoignant d'une conformité générale aux directives diététiques en vigueur [ 65 - 67 ]. Les modèles ID ont également entraîné une augmentation des boissons chaudes et une diminution des boissons sucrées et des jus de fruits. Tous ces changements alimentaires dictés par l'optimisation étaient cohérents avec les résultats précédemment publiés obtenus avec des modèles ID sans contrainte de coût [ 31 , 68]. Ils étaient également très cohérents entre les quintiles de revenu.

C'est la première fois que la dimension des coûts est explorée à l'aide de la modélisation de régimes individuels. En l'absence de contrainte de coût, le coût de l'alimentation a augmenté de 0,22 € / j en moyenne pour atteindre l'adéquation nutritionnelle, confirmant le lien positif connu entre la qualité de l'alimentation et le coût de l'alimentation [ 11 , 13 , 50 , 59 , 60 ]. Toutefois, même si le coût de l'alimentation a augmenté en moyenne, il a également diminué dans certains cas: dans chaque quintile de revenu, la variation de coût induite par les modèles ID sans contrainte de coût était très variable et n'était pas significativement différente d'un quintile de revenu à un autre. Cela rappelle des études menées aux États-Unis, où une grande variabilité de la qualité nutritionnelle a été observée au sein de chaque quintile de coûts de régime [ 60 ], et inversement, une grande variabilité du coût du régime alimentaire a été observée dans chaque quintile de qualité diététique [ 69 ], montrant le rôle de facteurs autres qu'économiques dans la détermination des choix alimentaires et de la qualité nutritionnelle des régimes alimentaires.

Le coût le plus bas était de 2,60 euros / j pour les régimes observés, mais de 3,85 euros / j lorsque les régimes étaient optimisés en l'absence de contrainte de coût, ce qui montre que pour les personnes dont le régime observé est inférieur à 3,85 euros / j, une plus grande différence par rapport à leur régime habituel. régime alimentaire serait nécessaire pour atteindre des objectifs nutritionnels similaires à ceux du reste de la population. Néanmoins, lorsque l'optimisation a été réalisée à coût iso, il a été possible de modéliser un régime nutritionnel adéquat quel que soit le coût initial, même le plus bas, soit 2,60 € / j. Ce résultat apparemment paradoxal est conforme à une étude basée sur la modélisation du régime alimentaire de la population, selon laquelle le coût minimal nécessaire pour parvenir à un régime alimentaire nutritif pour les adultes français était estimé à 3,50 € / j, mais pourrait ne pas dépasser 1,50 € / j lorsque des écarts substantiels par rapport aux modes de consommation alimentaire habituels ont été tolérés [30]. De même, dans la présente étude, il était possible d'obtenir un régime nutritif à très faible coût, mais un coût plus élevé était nécessaire pour optimiser le régime sans trop s'écarter des habitudes actuelles.

Une limite importante est que les analyses ont été effectuées dans un sous-échantillon représentant seulement 66% de l'échantillon initial de l'enquête INCA2 française pour adultes. En outre, les personnes présentant un faible SEP étaient en réalité sous-représentées dans l'échantillon de l'étude, ce qui peut limiter la généralisabilité de nos résultats. Afin de minimiser ce biais, les quintiles de revenu ont été calculés parmi l'ensemble de la population initiale (c'est-à-dire avant les exclusions). En conséquence, les quintiles de revenu ont montré des relations attendues avec la plupart des caractéristiques sociodémographiques, car ils étaient positivement associés au statut socioprofessionnel et au niveau d'instruction, avec davantage d'individus célibataires, plus de femmes et de fumeurs dans le quintile de revenu inférieur. Une autre limite est liée aux enquêtes diététiques et aux approches de modélisation: la validité des résultats obtenus avec l'analyse de modélisation de l'alimentation dépend de la qualité des données d'entrée et de la pertinence des modèles conçus. En particulier, dans la présente étude, nous avons adopté une approche conservatrice basée sur l'hypothèse selon laquelle les individus, en particulier ceux à faible revenu, sont susceptibles de conserver des habitudes alimentaires bien connues au sein de leurs apports caloriques habituels [70]. Cependant, dans un contexte où les taux d'obésité continuent d'augmenter, d'autres modèles auraient peut-être été plus pertinents, comme permettre une diminution du contenu énergétique des régimes alimentaires modélisés, du moins pour les personnes identifiées comme consommant plus de calories que nécessaire, comme proposé dans d'autres programmes. études de simulations [ 71 ]. La manière dont les aliments ont été classés peut être considérée comme une limitation: en particulier, le groupe des féculents n'incluait pas les produits à base d'ingrédients féculents riches en matières grasses, en sucre et / ou en sel, tels que les gâteaux et les biscuits (inclus dans les produits sucrés). groupe alimentaire), ou des hamburgers et des chips (y compris les plats composés et le groupe d'aliments à grignoter salés). Cependant, ce groupe est celui du Programme national français de nutrition, qui recommande de consommer des féculents (pain, pâtes, riz, pommes de terre, légumineuses, etc.) à chaque repas, tout en limitant la consommation de produits sucrés et de snacks salés [ 72 ]. Les aliments inclus dans le groupe des féculents avaient donc un profil nutritionnel relativement bon [ 73 ], ce qui peut expliquer pourquoi les féculents raffinés et non raffinés ont été augmentés (bien que le ratio raffiné / non raffiné ait diminué) par le processus d'optimisation. Les féculents ont également augmenté car, parmi les aliments de base habituellement consommés par la population, ils sont nécessaires pour faire face à la contrainte en hydrates de carbone (atteindre au moins 50% alors que les régimes observés étaient en moyenne de 42,7%). En ligne avec les études précédentes [ 68 ], la contrainte glucidique a été identifiée comme l'une des contraintes les plus difficiles à respecter, ainsi que les contraintes relatives aux quantités maximales de sodium, de sucres libres et d'acides gras saturés. En outre, des régimes modélisés ont été générés quelles que soient les combinaisons habituelles entre les aliments (par exemple, le pain et le beurre pour les rôties), et certains aliments normalement combinés pourraient être supprimés individuellement (par exemple, le beurre), ce qui compromettrait le réalisme de quelques régimes optimisés. Néanmoins, la communauté scientifique reconnaît bien que la modélisation du régime alimentaire constitue une approche souple et robuste pour la traduction des recommandations nutritionnelles en choix alimentaires réalistes [ 74 ]. Une autre limite est l'utilisation des prix moyens des aliments au lieu des dépenses réelles en nourriture pour estimer le coût de l'alimentation. Il suppose que les prix sont constants, en ignorant les variations dans le temps et dans l'espace. Cependant, dans la présente étude, la base de données sur les prix des aliments et la base de données sur les apports alimentaires étaient concurrentes (2005-2006) et nous pouvons donc supposer que les variations de prix dues à l'inflation ont été maîtrisées. De plus, l'utilisation des prix moyens des aliments peut sous-estimer le budget alimentaire des individus plus riches et surestimer celui de la PES faible. Par exemple, les dépenses réelles consacrées à l'alimentation des Français français à faible revenu sont inférieures de 1 € / personne par jour à celles estimées avec les prix nationaux moyens [ 75 ]. Par conséquent, un calcul basé sur les prix moyens des denrées alimentaires n'est qu'une approximation des dépenses réelles et du coût réel du régime alimentaire. En particulier, il n'intègre pas les stratégies d'achat de produits alimentaires, telles que l'achat d'options moins coûteuses pour le même produit alimentaire. Cependant, l'un des avantages de l'estimation du coût de l'alimentation avec les prix moyens est que les variations du coût estimé de l'alimentation reflètent les différences réelles en termes de choix alimentaires et peuvent être considérées comme un marqueur de la qualité des choix



alimentaires. Enfin, à notre connaissance, aucune étude à grande échelle n'a mesuré à la fois la consommation alimentaire individuelle et les dépenses effectives consacrées à ces aliments. Nous sommes conscients que les données relatives aux aliments fournies par INCA2 et aux prix des produits alimentaires remontent à presque dix ans, mais il s'agissait des données ouvertes les plus récentes disponibles pour la population française au moment de l'étude. 15 ], de nouvelles études explorant les achats réels de produits alimentaires fusionnés avec la composition nutritionnelle de produits alimentaires réels sont désormais nécessaires.

En conclusion, la présente étude montre que, pour améliorer la qualité de l'alimentation, les recommandations nutritionnelles peuvent être approximativement similaires en termes de groupes et de sous-groupes d'aliments pour tous les individus, quel que soit leur revenu. Cependant, les résultats suggèrent que pour atteindre un niveau nutritionnel suffisant sans modifier l'apport énergétique, les personnes à faible revenu devraient soit choisir des choix alimentaires plus coûteux, soit accepter de plus grands écarts par rapport à leur régime alimentaire habituel.

Ces résultats permettent de fournir des bons de fruits et légumes aux personnes à faible revenu [ 76 ] et suggèrent qu'en France, la population cible d'une telle mesure de santé publique pourrait être identifiée par un budget alimentaire inférieur à 3,85 euros / j.

## Renseignements à l'appui

### S1 Fig. Exemple d'organigramme.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.s001>  
(DOCX)

### Méthode S1. Liste des modifications apportées aux modèles de régimes individuels précédemment publiés.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.s002>  
(DOCX)

### S1 Table. Caractéristiques sociodémographiques des personnes de l'échantillon à l'étude (toutes) et par quintile de revenu (Q1 le plus faible, Q5 le plus élevé).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.s003>  
(DOCX)

### Table S2. Caractéristiques sociodémographiques des individus de l'échantillon initial INCA2 <sup>1</sup> adulte ( n = 2 624 ), de l'échantillon d'individus exclus <sup>2</sup> ( n = 905 ) et de l'échantillon final de l'étude ( n = 1 719 ).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679.s004>  
(DOCX)

## Contributions d'auteur

**Conceptualisation:** MM FV FD AL ND.

**Conservation des données:** MM FV.

**Analyse formelle:** MM FV ND.

**Enquête:** ND.

**Supervision:** ND.

**Rédaction - projet original:** MM ND.

**Rédaction - révision et édition:** MM FV FD AL ND.

## Références

- Marmot M, Allen J, Bell R, Bloomer E, Goldblatt P. Revue européenne de l'OMS sur les déterminants sociaux de la santé et la fracture sanitaire. *Lancette*. 2012; 380: 1011-1029. pmid: 22964159  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- Menvielle G, Stirbu I, Roskam AJ, MM Schaap, Leinsalu M, Kunst AE, et al. [Inégalités socioéconomiques de mortalité en Europe]. *Med Sci (Paris)*. 2009; 25: 192–6.  
Voir l'article • Google Scholar
- Mackenbach JP, Stirbu I, Roskam A-JR, Schaap MM, Menvielle G, Leinsalu M, et al. Inégalités socioéconomiques en matière de santé dans 22 pays européens. *N Engl J Med*. 2008; 358: 2468–81. pmid: 18525043  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- Leclerc A, JF Chastang, G Menvielle, Luce D. Inégalités socioéconomiques de mortalité prématurée en France: se sont-elles creusées au cours des dernières décennies? *Soc Sci Med*. 2006; 62: 2035-2045. pmid: 16162384  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- James WP, Nelson M, Ralph a, Leather S. Déterminants socioéconomiques de la santé. La contribution de la nutrition aux inégalités de santé. *BMJ*. 1997; 314: 1545-1549. pmid: 9183207  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- Organisation mondiale de la santé G. Régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques. Rapport d'une consultation mixte d'experts OMS / FAO. Directeur technique de l'OMS; 916. Organisation mondiale de la santé; 2003;

7. Inserm. INSERME Inégalités sociales de santé avec lien physique et physique. Dans: Collection Expertise collective, Inserm, Paris. 2014.
- 8 Drenowski A, Kawachi I. Les régimes et la santé: comment les décisions en matière d'alimentation sont influencées par la biologie, l'économie, la géographie et les interactions sociales. *Big Data*. 2015; 3: 193-197. pmid: 26487989  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 9 de Moraes Sato P, Gittelsohn J, Unsain RF, Roble OJ, Scagliusi FB. L'utilisation des concepts Distinction de Pierre Bourdieu dans des articles scientifiques sur l'alimentation et les repas: une revue narrative. *Appétit*. 2015; 96: 174-186. pmid: 26368578  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- dix. Giskes K, Avendaño M, Brug J, Kunst a. E. Une revue systématique des études sur les inégalités socio-économiques dans les apports alimentaires associés à la prise de poids et à la surcharge pondérale / obésité menée auprès d'adultes européens. *Obes Rev*. 2010; 11: 413-429. pmid: 19889178  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 11 Darmon N, Drewnowski A. La classe sociale prédit-elle la qualité du régime alimentaire? *Am J Clin Nutr*. 2008; 87: 1107-17. pmid: 18469226  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 12 Pechey R, Jebb SA, député Kelly, Almiron-Roig E, Conde S, Nakamura R, et al. Différences socioéconomiques entre les achats d'aliments plus et moins sains et de boissons: analyse de plus de 25 000 ménages britanniques en 2010. *Soc Sci Med*. 2013; 92: 22-6. pmid: 23849275  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 13 Rehm CD, Monsivais P, Drewnowski A. Relation entre le coût de l'alimentation et les scores de l'Indice de saine alimentation 2010 chez les adultes aux États-Unis 2007-2010. *Prev Med (Baltim)*. 2015; 73: 70-5.  
Voir l'article • Google Scholar
- 14 Turrell G, Hewitt B, C Patterson, B Oldenburg et Gould T. Différences socioéconomiques dans le comportement d'achat d'aliments et implications suggérées pour la promotion de la santé liée à l'alimentation. *J Hum Nutr Diet*. 2002; 15: 355-64. pmid: 12270016  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 15 Darmon N, Drewnowski A. Contribution des prix des aliments et du coût de l'alimentation aux disparités socioéconomiques de la qualité de l'alimentation et de la santé: revue et analyse systématiques. *Nutr Rev*. 2015; 73: 643-60. pmid: 26307238  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 16 Kontinen H, S. Sarlio-Lähteenkorva, K. Silventoinen, S. Männistö, Haukka A. Disparités socio-économiques dans la consommation de légumes, de fruits et d'aliments à haute densité énergétique: le rôle des priorités motrices. *Santé publique Nutr*. 2013; 16: 873-82. pmid: 22857602  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 17 Clark AM, Duncan AS, Trevoy JE, Heath S., Chan M. Un régime alimentaire sain chez les Canadiens à statut socioéconomique inférieur atteints de coronaropathie: il ne s'agit pas simplement d'une question de connaissance et de choix. *Coeur poumon*. 40: 156-63. pmid: 20561872  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 18 Wiig K, Smith C. L'art de faire l'épicerie avec un budget alimentaire: des facteurs qui influent sur les choix alimentaires des femmes à faible revenu qui essaient de joindre les deux bouts. *Santé publique Nutr*. 2009; 12: 1726-34. pmid: 19068150  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 19 Waterlander WE, de Mul A, AJ Schuit, JC Seidell, Steenhuis IH. Perceptions sur l'utilisation de stratégies de tarification pour stimuler la saine alimentation chez les résidents des quartiers défavorisés: une étude de groupe. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2010; 19:44 pmid: 20482857  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 20 Engel E. Die Productions und Consumtionsverhältnisse des Königreichs Sachsen. *Zeitschrift des Stat Büreaus des Königlich-Sächsischen Minist des Inn*. 1857; 8 et 9.  
Voir l'article • Google Scholar
- 21 Maël-Luc Buron, Élodie Kranklader et José Ribera, division Conditions de vie des ménages I. Insee — Publications — Enquête Budget de famille 2011. À: N° 158 Société. 2014.
- 22 Darmon N, Ferguson EL, Briend A. Une contrainte de coût a des effets négatifs sur la sélection des aliments et la densité nutritionnelle: une analyse du régime alimentaire humain par programmation linéaire. *J Nutr*. 2002; 132: 3764 à 3771. pmid: 12468621  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 23 Darmon N, Ferguson E, Briend A. Les contraintes économiques incitent-elles à choisir des régimes riches en énergie? *Appétit*. 2003; 41: 315-322. pmid: 14637330  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 24 Consultation conjointe FAO / OMS. QUI | Préparation et utilisation de recommandations diététiques basées sur les aliments. Nicosie, Chypre: Série de rapports techniques de l'OMS; 880; 1998.
- 25 Bureau régional de l'Organisation mondiale de la santé pour l'Europe. Plan d'action pour la mise en œuvre de la stratégie européenne de prévention et de contrôle des maladies non transmissibles 2012-2016. Copenhague; 2012.
- 26 Comité de la NDA de l'EFSA. Avis scientifique sur l'établissement de directives alimentaires diététiques | Autorité Européenne de Sécurité Alimentaire. EFSA J. 2010;  
Voir l'article • Google Scholar

- 27 Carlson A, Lino M, Juan WY, Hanson K, Basiotis PP. Thrifty Food Plan 2006. Alexandria, VA; 2007.
- 28 Maillot M, Ferguson EL, Drewnowski A, Darmon N. Le profilage des nutriments peut aider à identifier des aliments de bonne qualité nutritionnelle pour leur prix: une étude de validation avec programmation linéaire. *J Nutr.* 2008; 138: 1107-1113. pmid: 18492842  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 29 Wilde PE, Llobrera J. Utilisation du plan d'alimentation économe pour évaluer le coût d'un régime alimentaire nutritif. *J Consum Aff.* 2009; 43: 274-304.  
Voir l'article • Google Scholar
- 30 Maillot M, N Darmon, Drewnowski A. Les régimes alimentaires sains les moins coûteux sont-ils culturellement et socialement acceptables? *Santé publique Nutr.* 2010; 13: 1178-85. pmid: 20105388  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
31. Maillot M, Vieux F, Amiot MJ et Darmon N. La modélisation d'un régime individuel traduit les recommandations nutritionnelles en choix alimentaires réalistes et adaptés à chaque individu. *Am J Clin Nutr.* 2010; 91: 421-430. pmid: 19939986  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 32 Dubuisson C, S. Lioret, M. Touvier, A. Dufour, G. Calamassi-Tran, JV Volatier, et al. Tendances des apports alimentaires et nutritionnels des adultes français de 1999 à 2007: résultats des enquêtes INCA. *Br J Nutr.* 2010; 103: 1035-48. pmid: 20028601  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 33 Black AE. Évaluation critique de l'apport énergétique en utilisant le seuil de Goldberg pour l'apport énergétique: taux métabolique de base. Un guide pratique pour son calcul, son utilisation et ses limites. *Int J Obes.* 2000; 24: 1119-1130.  
Voir l'article • Google Scholar
- 34 Bocquier A, Vieux F, S Lioret, C Dubuisson, F Caillavet, Darmon N. Les caractéristiques socio-économiques, les conditions de vie et la qualité de l'alimentation sont associées à l'insécurité alimentaire en France. *Santé publique Nutr.* 2015; 18: 2952-61. pmid: 25563304  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 35 Cottrell M, Letrémy P. Valeurs manquantes: traitement avec l'algorithme de Kohonen. Actes du CD-ROM ASMDA 2005. Brest: ASMDA; 2007.
- 36 Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). Définitions et méthodes. Définitions Unité de consommation. [L'Internet]. 2014.
- 37 Centre d'information français sur la qualité des aliments. Table de composition des aliments français Ciqua 2013 [Internet]. 2013.
- 38 Kantar Worldpanel. Panel de consommateurs français - Kantar worldpanel [Internet]. 2014.
- 39 Ledikwe JH, Blanck HM, Khan LK, Serdula MK, Seymour JD, Tohill BC, et al. Densité énergétique alimentaire déterminée par huit méthodes de calcul dans une population des États-Unis représentative du pays. *J Nutr.* 2005; 135: 273-8. pmid: 15671225  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 40 Ledikwe JH, Blanck HM, Khan LK, Serdula MK, Seymour JD, Tohill BC, et al. Aux États-Unis, les régimes à faible densité énergétique sont associés à une alimentation de qualité supérieure. *J Am Diet Assoc.* 2006; 106: 1172-80. pmid: 16863711  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 41 Vieux F, Soler LG, Touazi D et Darmon N. Une haute qualité nutritionnelle n'est pas associée à de faibles émissions de gaz à effet de serre dans les régimes autosélectionnés d'adultes français. *Am J Clin Nutr.* 2013; 97: 569-83. pmid: 23364012  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 42 Darmon N, Darmon M, Maillot M, Drewnowski A. Norme de densité de nutriments pour les légumes et les fruits: éléments nutritifs par calorie et éléments nutritifs par coût unitaire. *J Am Diet Assoc.* 2005; 105: 1881-1887. pmid: 16321593  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 43 Etiévant P, F Bellisle, J Dallongeville, F Etilé, Guichard E, Padilla M, et al. Les comportements alimentaires. Quels sont les déterminants? Quelles actions, pour quels effets? Expertise scientifique collective, rapport, INRA. 2010.
- 44 Dantzig GB. Le problème de l'alimentation. *Interfaces (Providence).* 1990; 20: 43-47.  
Voir l'article • Google Scholar
- 45 Groupe scientifique de l'EFSA sur la nutrition et les allergies aux produits diététiques (NDA). Avis scientifique sur les valeurs nutritionnelles de référence pour l'eau | Autorité Européenne de Sécurité Alimentaire. *EFSA J.* 2010; 8: 48.  
Voir l'article • Google Scholar
- 46 Consultation mixte OMS / FAO / UNU. Besoins en protéines et en acides aminés en nutrition humaine. Représentant mondial pour la santé des organes, ser. 2007; 1-265, quatrième de couverture.
- 47 Becker W, N Lyhne, Pedersen A, Aro A, Fogelholm M., Phorsdottir I, et al. Nordic Nutrition Recommendations 2004 - intégrant la nutrition et l'activité physique. *Scand J Nutr.* 2004; 48: 178-187.  
Voir l'article • Google Scholar
48. Martin A. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3e édition. TEC & DOC. Paris: Lavoisier; 2001.

- 49** Vinther JL, Al Conklin, Wareham NJ, Monsivais P. Transitions conjugales et modifications associées de la consommation de fruits et de légumes: résultats de la cohorte prospective EPIC-Norfolk basée sur la population, Royaume-Uni. *Soc Sci Med.* 2016; 157: 120–6. pmid: 27082023  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 50** Cade J, H Upmeier, Calvert C, Greenwood D. Coûts d'un régime alimentaire sain: analyse de l'étude britannique sur la cohorte des femmes. *Santé publique Nutr.* 1999; 2: 505-12. pmid: 10656469  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 51.** Estaquio C, N. Druesne-Pecollo, P. Latino-Martel, L. Dauchet, S. Hercberg et S. Bertrais. Différences socioéconomiques dans la consommation de fruits et de légumes chez les adultes français d'âge moyen: application de la recommandation des 5 jours. *J Am Diet Assoc.* 2008; 108: 2021-2030. pmid: 19027405  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 52.** Monsivais P, Drewnowski A. Les régimes à densité d'énergie plus faible sont associés à des coûts monétaires plus élevés par kilocalorie et sont consommés par des femmes à statut socioéconomique supérieur. *J Am Diet Assoc.* 2009; 109: 814–822. pmid: 19394467  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- Monsivais P, Aggarwal a., Drewnowski a. Les disparités socio-économiques dans la qualité de l'alimentation sont-elles expliquées par le coût de l'alimentation? *J Epidemiol Community Heal.* 2012; 66: 530–535.  
**53** Voir l'article • Google Scholar
- 54** Aggarwal A, Monsivais P, Drewnowski A. Les apports en nutriments associés à de meilleurs résultats pour la santé sont associés à des coûts de régime plus élevés aux États-Unis. *PLoS One.* 2012; 7: e37533. pmid: 22662168  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 55.** Morris M a, Hulme C, GP Clarke, Edwards KL, Cade JE. Quel est le coût d'une alimentation saine? Utilisation des données de régime de l'étude de cohorte de femmes britanniques. *J Epidemiol Community Health.* 2014; jech-2014-204039-.  
Voir l'article • Google Scholar
- 56.** MA Beydoun, MT Fanelli-Kuczmarski, Allen A, HA Beydoun, BM Popkin, Evans MK, et al. La valeur monétaire de l'alimentation est associée à la qualité de l'alimentation et à l'adéquation en éléments nutritifs chez les adultes en milieu urbain, différemment selon le sexe, la race et le statut de pauvreté. *PLoS One.* 2015; 10: e0140905. pmid: 26536243  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 57** Rehm CD, Monsivais P, Drewnowski A. La qualité et la valeur monétaire des régimes alimentaires consommés par les adultes aux États-Unis. *Am J Clin Nutr.* 2011; 94: 1333-1339. pmid: 21918223  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 58.** KA Timmins, C Hulme, JE Cade. La valeur monétaire des régimes alimentaires consommés par les adultes britanniques: exploration des différences sociodémographiques dans les coûts des régimes au niveau individuel. *Santé publique Nutr.* 2015; 18: 151–9. pmid: 24168930  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 59** Andrieu E, Darmon N, Drewnowski a. Régimes à faible coût: plus d'énergie, moins de nutriments. *Eur J Clin Nutr.* 2006; 60: 434–436. pmid: 16306928  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 60.** Bernstein AM, Bloom DE, BA Rosner, Franz M, Willett WC. Relation entre le coût des aliments et la salubrité du régime chez les femmes américaines. *Am J Clin Nutr.* 2010; 92: 1197–203. pmid: 20810972  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 61.** Malon A, V Deschamps, B Salanave, M Vernay, E. Szego, Estaquio C, et al. Le respect des recommandations du programme français de nutrition et de santé est fortement associé aux caractéristiques socio-économiques de la population adulte en général. *J Am Diet Assoc.* 2010; 110: 848–56. pmid: 20497773  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 62** Mullie P, Aerenhouts D, Clarys P. Déterminants démographiques, socio-économiques et nutritionnels de la consommation de boissons sucrées et sucrées artificiellement et artificiellement au quotidien. *Eur J Clin Nutr.* 2012; 66: 150–5. pmid: 21829215  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 63.** Beydoun M a, Wang Y. Comment le statut socio-économique, les obstacles économiques perçus et les avantages nutritionnels affectent-ils la qualité de l'apport alimentaire chez les adultes américains? *Eur J Clin Nutr.* 2008; 62: 303–313. pmid: 17342164  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 64.** Kant AK, Graubard BI. Tendances séculaires des habitudes de consommation alimentaire autodéclarée par les Américains adultes: NHANES 1971-1975 à NHANES 1999-2002. *Am J Clin Nutr.* 2006; 84: 1215-1223. pmid: 17093177  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
- 65.** Ministère de la santé. Programme National Nutrition Santé (PNNS). 2001.
- 66.** Bureau régional de l'Organisation mondiale de la santé pour l'Europe. CINDI recommandations diététiques. Copenhague: Organisation mondiale de la santé; 2000.

67. US Department of Agriculture et US Department of Health and Human Services. Directives diététiques pour les Américains, 2015-2020. 8ème édition. Washington, DC: US Government Printing Office; 2015.
68. Maillot M, Issa C, Vieux F, Lairon D, Darmon N. Le moyen le plus rapide d'atteindre les objectifs nutritionnels consiste à adopter des choix alimentaires méditerranéens: preuves tirées de régimes personnalisés générés par ordinateur. *Am J Clin Nutr.* 2011; 94: 1127-1137. pmid: 21900460  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
69. Monsivais P, CD Rehm, Drewnowski A. Le régime DASH et les coûts du régime chez les groupes ethniques et raciaux aux États-Unis. *JAMA Intern Med.* 2013; 173: 1922-4. pmid: 23999924  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
70. Dowler E. Budgétisation de la nourriture au faible revenu au Royaume-Uni: le cas des familles monoparentales. *Politique alimentaire.* 1997; 22: 405-417.  
Voir l'article • Google Scholar
71. Vieux F, N Darmon, D Touazi, Soler LG. Émissions de gaz à effet de serre provenant de régimes individuels autosélectionnés en France: changer la structure du régime ou consommer moins? *Ecol Econ.* 2012; 75: 91-101.  
Voir l'article • Google Scholar
72. Hercberg S, Chat-Yung S, Chaulia M. Programme national français de nutrition et de santé: 2001-2006-2010. *Int J Santé publique.* 2008; 53: 68-77.  
Disponible à l' adresse suivante: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18681335> pmid: 18681335  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
73. Maillot M, N Darmon, M Darmon, L Lafay, Drewnowski A. Les groupes d'aliments riches en nutriments ont des coûts énergétiques élevés: une approche économétrique du profilage des éléments nutritifs. *J Nutr.* 2007; 137: 1815-18. pmid: 17585036  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
74. Buttriss JL, Briend A, N Darmon, EL Ferguson, Maillot M, Lluch A. Modélisation de la diète: comment elle peut éclairer l'élaboration de recommandations diététiques et d'une politique de santé publique. *Nutr Bull.* 2014; 39: 115-125.  
Voir l'article • Google Scholar
75. Marty L, C Dubois, MS Gaubard, A Maidon, A Lesturgeon, Gaigi H, et al. Meilleure qualité nutritionnelle sans coût supplémentaire pour les ménages à faible revenu: informations tirées de l'achat de produits alimentaires par des «déviant positifs». *Am J Clin Nutr.* 2015; 102: 190-8. pmid: 26016868  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar
76. Bihan H, C Méjean, K Castetbon, H Faure, Ducros V, Sedeaud A, et al. Impact des bons de fruits et légumes et des conseils diététiques sur la consommation de fruits et légumes dans une population à faible revenu. *Eur J Clin Nutr.* 2012; 66: 369-375. pmid: 21989324  
Voir l'article • PubMed / NCBI • Google Scholar