



**HAL**  
open science

## Modélisation de l'impact du respect des nouvelles recommandations alimentaires françaises sur les apports nutritionnels des adultes

Matthieu Maillot, Nicole Darmon

### ► To cite this version:

Matthieu Maillot, Nicole Darmon. Modélisation de l'impact du respect des nouvelles recommandations alimentaires françaises sur les apports nutritionnels des adultes. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 2020, 55 (1), pp.18-29. 10.1016/j.cnd.2019.10.003 . hal-02903647

**HAL Id: hal-02903647**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02903647>**

Submitted on 3 Jun 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

1 **Modélisation de l'impact du respect des nouvelles recommandations alimentaires**  
2 **françaises sur les apports nutritionnels des adultes**

3  
4 **Modeling the impact of compliance with the new French food-based dietary guidelines on**  
5 **nutrient intakes of adults**

6  
7 **Titre abrégé : Implication nutritionnelle du suivi des nouvelles recommandations**  
8 **alimentaires françaises**

9  
10 Matthieu Maillot<sup>1</sup>, Nicole Darmon<sup>1,2</sup>

11 <sup>1</sup>MS-Nutrition, MARSEILLE, France

12 <sup>2</sup> MOISA, INRA, CIHEAM-IAMM, CIRAD, Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34060  
13 Montpellier, France

14  
15 **Responsable de la correspondance :**

16 Nicole Darmon

17 MOISA, INRA, CIHEAM-IAMM, CIRAD, Montpellier SupAgro, 2 place Pierre Viala, 34060  
18 Montpellier, France

19 [nicole.darmon@inra.fr](mailto:nicole.darmon@inra.fr)

20

21

## 22 **Résumé**

23 L'impact du respect des nouvelles recommandations alimentaires françaises sur les apports  
24 nutritionnels a été testé, et comparé selon le nombre de portions de produits laitiers : 2p/j  
25 (recommandation actuelle) ou 3p/j (recommandation précédente). Pour chaque diète observée  
26 des adultes de l'enquête INCA2, deux nouvelles diètes (iso-énergétiques) ont été modélisées,  
27 l'une respectant l'ensemble des nouvelles recommandations alimentaires avec 2 portions de  
28 produits laitiers/j (PL2), l'autre avec 1 portion supplémentaire (PL3). Sur la base d'indicateurs  
29 globaux (Mean Adequacy Ratio, Mean Excess Ratio et densité énergétique), les diètes PL2 et  
30 PL3 avaient une meilleure qualité nutritionnelle que les diètes observées. Les AGS totaux  
31 diminuaient avec les deux modèles, mais plus avec PL2 (13,8%, 11,9% et 12,8% de l'énergie  
32 pour **les diètes observées**, PL2 et PL3, respectivement). La différence la plus importante entre  
33 les deux modèles portait sur le **niveau d'inadéquation des apports en calcium : par rapport au**  
34 **niveau dans l' « observé » (51% d'inadéquation)**, PL2 dégradait **légèrement la situation (58%**  
35 **d'inadéquation)** alors que PL3 l'améliorait **nettement (seulement 16% d'inadéquation)**.

36

37 **Mots clés (3 à 5) :** Calcium, optimisation de rations, guides alimentaires, qualité nutritionnelle.

38

39

40

41

42

43

44

45 **Abstract**

46 The impact of compliance with the new French food-based dietary guidelines on nutrient intakes  
47 was tested, and compared according to the number of portions of dairy products: 2/d (current  
48 recommendation) or 3/d (previous recommendation). For each observed diet of adults in the  
49 INCA2 survey, two new diets (iso-energetic with the observed) were modeled, one respecting all  
50 the dietary recommendations with 2 portions of dairy products / day (PL2 model), the other with  
51 1 additional portion (PL3 model). On the basis of global indicators (Mean Adequacy Ratio, Mean  
52 Excess Ratio and energy density), the PL2 and PL3 diets had a better nutritional quality than the  
53 observed diets. Total SFA decreased with both models, but more with PL2 (13.8%, 11.9% and  
54 12.8% of energy, for observed, PL2 and PL3, respectively). The main difference between the two  
55 models concerned calcium: the PL2 model degraded the situation while the PL3 model improved  
56 it (51; 58 and 16% of inadequate calcium intakes, for observed, PL2 and PL3, respectively).

57

58 **Key words:** Calcium, Diet optimisation, food-based dietary guidelines, nutritional quality

59

60

## 61 **Introduction**

62 Les recommandations alimentaires visent à influencer favorablement les choix alimentaires pour  
63 maintenir une bonne santé et contribuer à prévenir les maladies chroniques. Ces  
64 recommandations alimentaires sont diffusées au grand public sous la forme de guides  
65 pédagogiques appelés guides alimentaires. En accord avec les lignes directrices adoptées lors  
66 de la Deuxième Conférence internationale sur la nutrition sous l'égide de la FAO et de l'OMS en  
67 2014 (1), plus d'une centaine de pays se sont dotés d'un guide alimentaire (2). Le respect des  
68 recommandations alimentaires promues par ces guides est censé permettre de couvrir  
69 l'ensemble des besoins nutritionnels tout en respectant les habitudes alimentaires de la  
70 population concernée (3).

71 En France, le « Guide alimentaire pour tous » (4) a été diffusé pour la première fois en 2001 dans  
72 le cadre du premier Programme National Nutrition Santé (PNNS) et n'avait fait l'objet d'aucune  
73 révision depuis cette date. Cette révision a été confiée par la Direction générale de la Santé à  
74 Santé publique France, qui a élaboré les messages opérationnels, sur la base de plusieurs  
75 éléments et notamment : un rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,  
76 de l'environnement et du travail (Anses) (5), un avis du Haut Conseil de santé publique (HCSP)  
77 (6), une expertise collective sur la communication en matière d'alimentation (7) et des  
78 consultations et enquêtes spécifiques réalisées auprès d'experts, de professionnels et de  
79 consommateurs, issus notamment de populations modestes (8).

80 Précédemment appelés repères de consommation, les conseils diététiques qui sont  
81 communiqués au public en 2019 sont maintenant appelés recommandations alimentaires. Par  
82 rapport aux recommandations alimentaires précédentes, on note i) l'ajout de messages portant  
83 sur des catégories d'aliments qui ne faisaient pas précédemment l'objet de recommandations  
84 spécifiques (légumes secs, charcuteries, fruits à coques, produits céréaliers complets), ii) une  
85 précision des messages sur les matières grasses (promotion des huiles de colza, de noix et  
86 d'olive) et sur les viandes (distinction entre la volaille et les viandes « hors volaille »), et iii) une  
87 diminution de la fréquence recommandée pour les produits laitiers qui passent de 3 à 2 portions/j.  
88 Les produits laitiers sont le seul groupe alimentaire dont la fréquence recommandée a été

89 diminuée par rapport aux recommandations alimentaires précédentes, sans que cette baisse n'ait  
90 été explicitée dans aucun des rapports cités plus haut (5,6,8,9).

91 Or, le groupe des produits laitiers est de loin le premier contributeur aux apports en calcium dans  
92 la population française (10). On peut dès lors se poser la question de l'impact de la diminution de  
93 la fréquence recommandée d'apports en produits laitiers sur la couverture des apports  
94 recommandés en calcium.

95 Le processus à suivre pour l'élaboration et la révision d'un guide alimentaire a été documenté par  
96 l'OMS et la FAO (3) ainsi que par l'EFSA (11). L'EFSA conseille de faire appel à des approches  
97 de modélisation pour identifier les **combinaisons d'aliments** facilitant la couverture des besoins  
98 nutritionnels (11). La modélisation de diètes par optimisation sous contraintes est largement  
99 utilisée pour traduire des recommandations nutritionnelles (i.e. basées sur les nutriments) en  
100 **combinaison d'aliments** (12), individuels notamment (13). Elle est également adaptée pour tester  
101 la pertinence nutritionnelle des recommandations alimentaires (11,14,15). L'objectif de cette  
102 étude était de simuler, à l'aide de l'optimisation sous contraintes, le respect des nouvelles  
103 recommandations alimentaires françaises et en analyser l'impact sur la composition nutritionnelle  
104 des diètes, en comparant notamment cet impact selon que la fréquence pour les produits laitiers  
105 est égale à 2 ou à 3 portions/j.

106

## 107 **Matériels et méthodes**

### 108 Données de consommation alimentaire et de composition nutritionnelle

109 Les données de l'enquête alimentaire INCA2 (16) réalisée en 2006-2007 sur un échantillon  
110 représentatif de la population française ont été utilisées pour cette étude. Les participants ont  
111 rempli un carnet alimentaire pendant 7 jours consécutifs. Seuls les adultes âgés de 18 ans et  
112 plus, normo-déclarants et ayant déclaré 7 jours ont été retenus, ce qui a abouti à un échantillon  
113 final de 1863 individus. Les 1300 aliments déclarés comme consommés par ces participants ont  
114 été agrégés afin de les relier aux items alimentaires de la table Sutable (6), qui indique la  
115 composition nutritionnelle moyenne de 206 items alimentaires couramment consommés en  
116 France, **ainsi que leur teneur en phytates**. Les 206 items ont été rassemblés en 55 catégories,

117 27 sous-groupes et 8 groupes (fruits et légumes, céréales et féculents, viandes/poissons/oeufs,  
118 produits laitiers, plats mixtes, produits sucrés, boissons et matières grasses ajoutées). Cette  
119 première nomenclature couvre la totalité de l'alimentation. Les groupes et sous-groupes  
120 d'aliments qui la constituent sont appelés groupes et sous groupes Sustable dans le présent  
121 article. Une seconde nomenclature couvrant uniquement les aliments pour lesquels existe une  
122 recommandation spécifique par Santé publique France a été utilisée pour la présente étude (dans  
123 ce cas, il sera fait référence aux groupes SPF et sous-groupes SPF), tels que les fruits et  
124 légumes, les fruits à coques, les produits céréaliers complets, les légumes secs, la volaille, les  
125 autres viandes, la charcuterie, le jambon cuit, les produits sucrés, les boissons sucrées (incluant  
126 les jus de fruits), les matières grasses animales (beurre et crème), les matières grasses végétales  
127 à favoriser (huiles de colza et de noix, et huile d'olive), les produits laitiers (lait, yaourt, fromage).  
128 Les produits laitiers ont été comptabilisés en portion, en utilisant les quantités indiquées dans le  
129 rapport de Santé publique France (8), à savoir : 150mL pour le lait, 125g pour les yaourts et 30g  
130 pour le fromage.

131 Les deux nomenclatures de se recoupent donc pas forcément. Par exemple, dans la  
132 nomenclature Sustable, le groupe « boissons » comprend les sous-groupes eaux,  
133 thé/café/infusions, boissons sucrées, jus fruits et boissons alcoolisées, alors que dans la  
134 nomenclature SPF, il n'y a pas de groupe boissons, mais un sous-groupe « boissons sucrées  
135 (incluant les jus de fruits) » au sein du groupe « produits et boissons sucrés ».

136 Tous les items alimentaires composés d'au moins 2 groupes SPF ont été décomposés. Par  
137 exemple, un sandwich baguette-crudités-fromage a été décomposé dans les groupes SPF  
138 produits céréaliers non complets, fruits et légumes et produits laitiers. De même, le fromage ou  
139 le lait présents dans les plats composés ont été respectivement comptabilisés dans les quantités  
140 totales de fromage et de lait, tel que préconisé par SPF. La décomposition des items alimentaires  
141 de la table Sustable a été réalisée à partir de recettes moyennes provenant de l'ANSES.

142

143 Modélisation de diètes respectant les nouvelles recommandations alimentaires françaises

144 La modélisation de diètes individuelles a été développée par Maillot et al. en 2010 (7). Cette  
145 approche s'applique à un échantillon d'individus pour lesquels les consommations alimentaires  
146 sont connues sur plusieurs jours. Le principe est d'appliquer la programmation linéaire pour  
147 **modéliser** une nouvelle diète (appelée **diète modélisée**) respectant un ensemble de contraintes  
148 pour chaque individu de l'échantillon, et en restant le plus proche possible de **sa** consommation  
149 alimentaire initiale (**appelée diète observée**). Dans un modèle de programmation linéaire, les  
150 variables correspondent aux quantités d'aliments que le modèle peut faire varier pour respecter  
151 un ensemble de contraintes sur les nutriments et/ou sur les aliments (i.e. fourchettes de quantités  
152 d'aliments et de groupes d'aliments recommandées ou jugées acceptables). Une combinaison  
153 linéaire des variables (appelée fonction objectif) est choisie pour être optimisée (c'est-à-dire  
154 minimisée ou maximisée).

155 Dans cette étude, l'approche de modélisation individuelle de diètes (13) a été appliquée chez les  
156 adultes de façon à obtenir pour chaque diète observée (c'est-à-dire les apports alimentaires  
157 déclarés comme « consommés ») deux diètes modélisées, l'une respectant l'ensemble des  
158 nouvelles fréquences recommandées avec les 2 portions de produits laitiers/j (modèle PL2),  
159 l'autre avec 1 portion de produits laitiers supplémentaire (modèle PL3). Dans les deux modèles,  
160 une contrainte imposait que le contenu énergétique de chaque diète **modélisée** soit égal à l'apport  
161 observé (+ ou - 1%), mais aucune autre contrainte n'était imposée sur les nutriments (à part le  
162 sodium, voir ci-dessous). La fonction objectif a été définie comme l'écart entre la diète observée  
163 et la diète modélisée, et cet écart a été minimisé afin d'obtenir la diète la plus proche possible de  
164 celle de départ. Le détail de la fonction objectif a été publié (13,17).

165

#### 166 *Les contraintes sur les groupes et sous-groupes d'aliments **SPF***

167 Les contraintes assurant le respect des nouvelles recommandations alimentaires françaises dans  
168 les diètes modélisées sont listées dans le **Tableau 1**.

169 Pour les fruits et légumes, les fruits à coque, les légumes secs, les produits laitiers et les poissons  
170 (gras et non gras), les recommandations sont quantifiées et ont donc été directement traduites  
171 en contraintes chiffrées dans les modèles. Pour les recommandations de limiter la consommation

172 d'un groupe SPF (c'est le cas des viandes (dans leur ensemble), des charcuteries, des produits  
173 sucrés, des boissons **sucrées** (incluant les jus de fruits) et des matières grasses totales), elles  
174 ont été traduites en interdisant une augmentation de ce groupe dans les diètes **modélisées** par  
175 rapport aux quantités présentes dans chaque diète observée. En accord avec la recommandation  
176 sur les boissons **sucrées** (incluant les jus de fruits), ce groupe SPF a été limité à une portion par  
177 jour, signifiant que les consommateurs de plus d'une portion par jour voyaient leur quantité totale  
178 de boisson diminuer dans les diètes **modélisées**. Pour les matières grasses totales, en accord  
179 avec la recommandation d'éviter les excès, une contrainte limitant pour chaque diète la quantité  
180 de matières grasses totales au 3<sup>ème</sup> quartile de la distribution observée a été imposée.

181 Pour les recommandations visant à privilégier certains sous-groupes SPF au sein de leur groupe  
182 SPF d'appartenance, on a considéré que le sous-groupe devait représenter au moins 50% de la  
183 quantité totale de son groupe : la volaille **au sein** des viandes, le jambon cuit **au sein** des  
184 charcuteries, les jus de fruits **au sein** des boissons sucrées et jus de fruits, et les huiles  
185 recommandées (colza, noix, olive) **au sein** des matières grasses **ajoutées** (animales et  
186 végétales). La recommandation de privilégier les produits céréaliers complets a été traduite par  
187 au moins 2/3 de produits céréaliers complets dans l'ensemble des produits céréaliers. N'ayant  
188 pas connaissance des ajouts de sel de table dans les déclarations alimentaires, la  
189 recommandation de « réduire la consommation de sel » a été traduite comme une  
190 recommandation nutritionnelle sur le sodium, à savoir que la quantité de sodium ne devait pas  
191 dépasser les apports médians en sodium dans la population, à savoir 2273mg/j pour les femmes  
192 et 2994mg/j pour les hommes (5).

193

#### 194 *Les contraintes d'acceptabilité*

195 L'acceptabilité des rations modélisées a été assurée par des contraintes limitant i) le poids total  
196 calorique (somme des calories apportées par des aliments dont la densité énergétique est au  
197 moins égale à 5kcal/100g) à 120% du poids de la diète observée, ii) la quantité par groupe  
198 d'aliments au 95<sup>ème</sup> centile (calculé dans l'ensemble de la population) et iii) la quantité de chaque

199 sous-groupe d'aliments et de chaque item alimentaire au 97,5<sup>ème</sup> centile (calculée parmi les  
200 consommateurs du sous-groupe d'aliments ou de l'item considéré).

201

202

203 **Tableau 1.** Liste des contraintes sur l'énergie totale, le sodium et les groupes **et sous-groupes** d'aliments SPF (Santé Publique France) utilisées  
 204 dans la modélisation de diètes individuelles

		Contraintes
Energie et sodium	Energie, kcal/j	= apport observé (+ ou - 1%)
	Sodium mg/j	≤ 2273mg/j pour les femmes ≤ 2994mg/j pour les hommes
Fruits et légumes	Total fruits et légumes#, g/j	≥ 400g/j
	Total fruits et légumes, portion/sem	ajout d'au moins 1 portion/sem
	Fruits à coques sans sel, g/j	=15g/j
Produits céréaliers[	Total produits céréaliers, g/j	aucune contrainte
	Produits céréaliers complets, g/j	≥ 66,6% du total des produits céréaliers
	Produits céréaliers raffinés, g/j	< 33,4% du total des produits céréaliers
Légumes secs	Légumes secs, g/j	≥ 57g/j
Viandes et charcuteries	Total viandes, g/j	< quantité observée
	Volailles, g/j	≥ 50% du total des viandes
	Viandes hors volailles, g/j	< 50% du total des viandes et < 71g/j (eq. 500g/sem.)
	Charcuteries*, g/j	< quantité observée et < 21g/j (eq. 150g/sem.)
	Jambon cuit, g/j	≥ 50% du total des charcuteries
Poissons et fruits de mer	Total poissons et fruits de mer, g/j	= 29g/j
	Poissons gras, g/j	≥ 50% du total « poisson et fruits de mer »
Produits laitiers	Total produits laitiers, p/j	= 2 p/j
	Lait, portion de 150mL	≤ 2 p/j
	Yaourts, portion de 125g	≤ 2 p/j
	Fromages, portion de 30g	≤ 2 p/j
Produits <b>et boissons</b> sucrés	<b>Total produits et boissons</b> sucrés, g/j	< quantité observée
	Boissons sucrées ( <b>incluant les</b> jus de fruits), g/j	< quantité observée et < 150mL/j
	Jus de fruits#, g/j	≥ 50% du total « boissons sucrées ( <b>incluant les jus de fruits</b> ) »
Matières grasses ajoutées	Total matières grasses ajoutées, g/j	≤ quantité observée ; ou, si apport observé supérieur au 3 <sup>ème</sup> quartile : < 3 <sup>ème</sup> quartile
	Matières grasses animales, g/j	≤ quantité observée
	Matières grasses végétales, g/j	pas de contrainte
	Huiles végétales à privilégier <sup>&amp;</sup> , g/j	≥ 50% du total matières grasses ajoutées

205 [ parmi les céréales du petit déjeuner, seules les céréales du petit déjeuner non-sucrées peuvent entrer dans ce groupe

206 # jus de fruits comptabilisés à la fois dans le groupe «fruits et légumes» et dans le groupe «boissons sucrées (**incluant les jus de fruits**)»

207 & correspondent aux huiles de colza, de noix et à l'huile d'olive.

208 Analyse statistique

209 Pour chacune des diètes modélisées, le pourcentage de sujets pour lesquels l'optimisation  
210 prévue a pu être atteinte a été calculé. Une optimisation infaisable indique une incompatibilité  
211 entre au moins 2 contraintes du modèle. La composition nutritionnelle des diètes observées et  
212 des diètes modélisées a été estimée pour environ 30 nutriments incluant : les macro-nutriments,  
213 les acides gras essentiels, les fibres, les vitamines et les minéraux. La qualité nutritionnelle a été  
214 estimée avec trois indicateurs synthétiques : la densité énergétique calculée en excluant les  
215 aliments liquides sauf le lait, comme précédemment préconisé (18), le MAR (%/j) (Mean  
216 Adequacy Ratio) (19) basé sur 23 nutriments positifs et le MER (%/j) (Mean Excess Ratio), basé  
217 sur 3 nutriments à limiter (20). Plus le MAR est élevé et le MER et la densité énergétique sont  
218 faibles, meilleure est la qualité nutritionnelle de la diète. Sous l'hypothèse d'une distribution  
219 Gaussienne du besoin nutritionnel dans une population donnée, le Besoin Nutritionnel Moyen  
220 (BNM) est la valeur pour laquelle on suppose que la moitié de la population a son besoin  
221 nutritionnel couvert (21). Lorsque les données sont insuffisantes pour estimer la loi de distribution  
222 et le BNM pour un nutriment, la valeur recommandée, appelée Apport Satisfaisant (AS),  
223 correspond à l'apport quotidien moyen d'une population (ou d'un sous-groupe) pour lequel le  
224 statut nutritionnel est jugé satisfaisant. Pour chaque nutriment, le pourcentage d'inadéquation à  
225 la recommandation a été obtenu en calculant le pourcentage de diètes n'atteignant pas, selon le  
226 nutriment considéré, soit l'AS (vitamines B1, B2, B6, B12, magnésium, phosphore, sélénium,  
227 iode, acides gras essentiels et fibres), soit le BNM (cas des autres nutriments) Pour le calcul du  
228 MAR, du MER et des pourcentages d'inadéquation, les références nutritionnelles utilisées dans  
229 la présente étude sont différentes selon le sexe et l'âge. Ces références (i.e., BNM ou AS selon  
230 les nutriments), appelées recommandations nutritionnelles dans le présent article, sont tirées du  
231 rapport de l'ANSES de 2016 intitulé 'Actualisation des repères du PNNS : élaboration des  
232 références nutritionnelles(22) et sont récapitulées dans le **Tableau 2**. La recommandation pour  
233 le zinc étant dépendante de la teneur en phytates de la diète, le calcul du pourcentage  
234 d'inadéquation d'apports en zinc s'est fait en fonction de la quantité de phytates dans cette même  
235 diète (que celle-ci soit observée ou modélisée). Les quantités des groupes SPF, les

236 caractéristiques nutritionnelles des diètes, ainsi que les pourcentages d'inadéquation aux  
237 recommandations nutritionnelles, ont été comparés entre les diètes observées et les diètes  
238 modélisées PL2 et PL3 deux à deux à l'aide d'un modèle GLM ajusté sur l'énergie, le sexe et  
239 l'âge. Le logiciel SAS 9.4 a été utilisé pour conduire les optimisations et les analyses statistiques.  
240  
241

242 **Tableau 2.** Liste des références nutritionnelles, AS (apport satisfaisant) et BNM (besoin  
 243 nutritionnel moyen), utilisées dans le calcul des pourcentages d'inadéquation d'apports en  
 244 nutriments, d'après le rapport de l'ANSES de 2016 (22).

Nutriments	Unités	Sexe	Age	Intervalle	AS	BNM
Protéines	%AET*	H	<60ans	10-20		
Protéines	%AET	F	<50ans	10-20		
Protéines	%AET	H	>60ans	12-20		
Protéines	%AET	F	>50ans	12-20		
Glucides totaux	%AET	H et F	-	40-55		
Sucres totaux hors lactose	g/j	H et F	-	<100		
Sucres libres	%AET	H et F	-			
Lipides totaux	%AET	H et F	-	35-40		
Acide oléique	%AET	H et F	-	15-20		
AGPI	%AET	H et F	-			
ALA	%AET	H et F	-		>1	
LA	%AET	H et F	-		>4	
EPA+DHA	mg/j	H et F	-		>500	
AGS	%AET	H et F	-	<12		
Ac. laurique, myristique et palmitique	%AET	H et F	-	<8		
Cholestérol	mg/j	H et F	-			
Eau	mg/j	H	-		2375	
Eau	mg/j	F	-		1900	
Fibres	g/j	H et F	-		30	
Vitamine A	mcg/j	H	-			570
Vitamine A	mcg/j	F	-			490
Vitamine B1	mg/MJ	H et F	-		0,14	
Vitamine B2	mg/MJ	H et F	-		0,17	
Vitamine B3	mg eq.niacine/MJ	H et F	-			1,3
Vitamine B5	mg/j	H	-		5,8	
Vitamine B5	mg/j	F	-		4,7	
Vitamine B6	mg/j	H	-		1,8	
Vitamine B6	mg/j	F	-		1,5	
Vitamine B9	mcg/j	H et F	-			250
Vitamine B12	mcg/j	H et F	-		4	
Vitamine C	mg/j	H et F	-			90
Vitamine D	mcg/j	H et F	-			10
Vitamine E	mg/j	H	-		10,5	
Vitamine E	mg/j	F	-		9,9	
Calcium	mg/j	H	<25ans			860
Calcium	mg/j	H	≥25ans			750
Calcium	mg/j	F	<25ans			860
Calcium	mg/j	F	≥25ans			750
Cuivre	mg/j	H	-			1
Cuivre	mg/j	F	-			0,8
Fer	mg/j	H	-			6
Fer	mg/j	F	-			6
Iode	mcg/j	H et F	-		150	
Magnésium	mg/j	H	-		420	
Magnésium	mg/j	F	-		360	
Manganèse	mg/j	H	-		2,8	
Manganèse	mg/j	F	-		2,5	
Phosphore	mg/j	H et F	-		700	
Sélénium	mcg/j	H et F	-		70	
Sodium	mg/j	H	-			
Sodium	mg/j	F	-			
Zinc	mg/j	H	si 300mg/j de phytates			7,5
Zinc	mg/j	H	si 600mg/j de phytates			9,3
Zinc	mg/j	H	si 900mg/j de phytates			11
Zinc	mg/j	F	si 300mg/j de phytates			6,2
Zinc	mg/j	F	si 600mg/j de phytates			7,6
Zinc	mg/j	F	si 900mg/j de phytates			8,9

245 \* AET : apport énergétique total hors alcool

246

247 **Résultats (2 tableaux et 1 figure)**

248

249 Les modèles étaient « faisables » (c'est-à-dire que le respect de l'ensemble des contraintes était  
250 mathématiquement atteignable) pour plus de 98% des sujets de l'échantillon. Cependant le  
251 pourcentage de personnes pour lesquelles les modèles n'étaient pas faisables, était plus élevé  
252 avec 2 qu'avec 3 portions/j de produits laitiers (1,6% et 0,7% de l'échantillon, respectivement).  
253 Dans les diètes observées, la consommation moyenne de produits laitiers (incluant les produits  
254 laitiers présents comme ingrédients dans des plats mixtes) était de 2,6 portions/j. Cette quantité  
255 était amenée à 2 p/j et à 3 p/j dans les diètes modélisées PL2 et PL3 respectivement.

256

257 *Impact des modèles PL2 et PL3 sur la composition des diètes en aliments*

258 La composition des diètes observées et modélisées en sous-groupes Sustainable est indiquée dans  
259 le **Tableau 3**. Avec le modèle PL2, les quantités de fruits, légumes, fruits à coques, produits  
260 céréaliers complets et matières grasses végétales ont augmenté dans les diètes modélisées par  
261 rapport aux diètes observées. En parallèle, le modèle PL2 a induit une diminution des quantités  
262 de produits céréaliers raffinés, viandes, plats mixtes à base de viande, produits laitiers (le lait  
263 étant réduit de moitié), desserts lactés, viennoiseries-tartes, boissons sucrées, jus de fruits,  
264 matières grasses animales et, dans une moindre mesure, des produits de la mer (réduction de  
265 4g/j en moyenne). Des variations similaires ont été obtenues entre les diètes observées et les  
266 diètes modélisées PL3 sauf pour le groupe des produits laitiers : la quantité de lait est restée  
267 stable alors que les yaourts et les fromages ont augmenté (+43g/j et +13g/j respectivement). Les  
268 deux modèles ont induit une augmentation de la proportion pondérale d'aliments d'origine  
269 végétale (y compris en tant qu'ingrédients), qui est passée de 76,3% dans les diètes observées  
270 à 82,2% et 78,5%, avec PL2 et PL3 respectivement.

271

272 *Impact des modèles PL2 et PL3 sur les indicateurs globaux de qualité nutritionnelle des diètes*

273 Les modèles PL2 et PL3 se sont tous les deux traduits par une amélioration des indicateurs de  
274 qualité nutritionnelle globale par rapport aux diètes observées (**Tableau 4**). La densité

275 énergétique a été réduite de 32kcal/100g en moyenne avec le modèle PL2 comme avec le  
276 modèle PL3. Quel que soit le modèle, le MER a été réduit et le MAR a été augmenté (MER :  
277 17,7 ; 6,8 et 7,9 % d'excès ; MAR : 83,9 ; 88,8 et 89,5 % d'adéquation globale pour les diètes  
278 observées, PL2 et PL3 respectivement).

279

#### 280 *Impact des modèles PL2 et PL3 sur les autres caractéristiques des diètes*

281 Les protéines ont diminué avec les deux modèles (mais dans une moindre mesure avec le modèle  
282 PL3). Les glucides et les lipides totaux sont restés stables avec le modèle PL2 alors qu'ils ont  
283 respectivement diminué et augmenté avec le modèle PL3. La quantité de sucres libres est restée  
284 stable avec les deux modèles. Les acides gras oléique et alpha-linolénique ont été  
285 significativement améliorés (i.e. augmentation de leur contribution aux apports énergétiques  
286 totaux, en %) dans les diètes PL2 et PL3. Les acides gras saturés (AGS totaux et somme «  
287 laurique + myristique + palmitique ») ont été significativement améliorés (i.e. diminution de leur  
288 contribution aux apports énergétiques totaux, en %) avec les deux modèles, mais de façon plus  
289 marquée avec le modèle PL2 qu'avec le modèle PL3 (13,8%, 11,9% et 12,8% pour les AGS  
290 totaux, et 9,0%, 7,9% et 8,5% pour les AGS « laurique + myristique + palmitique », dans les diètes  
291 observées, PL2 et PL3, respectivement).

292 Le rapport acide linoléique/acide alpha-linolénique a été également amélioré, passant en  
293 moyenne de 11,4 dans les diètes observées à 9,5 dans les diètes modélisées, quel que soit le  
294 modèle.

295 Pour les acides gras oméga-3 à longue chaîne (EPA+DHA), les teneurs moyennes ont augmenté  
296 avec les deux modèles (0,24, 0,30 et 0,30 g/j dans les diètes observées, PL2 et PL3,  
297 respectivement), mais les pourcentages d'inadéquation aux recommandations nutritionnelles,  
298 déjà élevés dans l'« observé », ont été dégradés : 88%, 98% et 98% d'inadéquation, dans les  
299 diètes observées, PL2 et PL3, respectivement (**Figure 1**).

300 Pour les fibres, les teneurs moyennes ont augmenté avec les deux modèles (18,5, 24,8 et 23,8  
301 g/j dans les diètes observées, PL2 et PL3, respectivement), mais les pourcentages  
302 d'inadéquation aux recommandations nutritionnelles, déjà élevés dans l'« observé », ont été peu

303 améliorés : 95%, 81% et 85% d'inadéquation dans les diètes observées, PL2 et PL3,  
304 respectivement.

305 Par rapport aux diètes observées, le modèle PL2 améliorerait la situation pour la plupart des  
306 vitamines et minéraux, sauf pour 6 nutriments : le calcium, l'iode, le zinc, la vitamine A, la vitamine  
307 B2 et la vitamine B12. Parmi ces 6 nutriments, c'est pour l'iode que la situation était la plus  
308 problématique, puisque la prévalence d'inadéquation d'apports, déjà très élevée dans  
309 l'« observé » augmentait encore, particulièrement avec le modèle PL2 : 78%, 86% et 80%  
310 d'inadéquation dans les diètes observées, PL2 et PL3, respectivement. C'est pour le calcium que  
311 la différence entre les deux modèles était la plus importante : par rapport à l'« observé », le  
312 modèle PL2 aggravait la situation (51% d'inadéquation d'apports dans l'« observé » et 58% avec  
313 PL2) alors que le modèle PL3 l'améliorait considérablement (seulement 16% d'inadéquation avec  
314 PL3). Pour la vitamine B2 aussi (mais dans une moindre mesure que pour le calcium), le modèle  
315 PL2 dégradait la situation alors que le modèle PL3 l'améliorait (38%, 46% et 26% d'inadéquation  
316 pour les diètes observées, PL2 et PL3 respectivement). Parmi les 4 nutriments restants qui  
317 étaient dégradés avec le modèle PL2, seule la vitamine B12 était dégradée aussi avec le modèle  
318 PL3, alors que la vitamine A, l'iode et le zinc étaient peu modifiés par rapport à l'« observé » avec  
319 le modèle PL3. Tous les nutriments essentiels qui étaient améliorés avec le modèle PL2 l'étaient  
320 aussi avec le modèle PL3. Parmi les nutriments améliorés, les vitamines C, B6 et B9 étaient les  
321 plus impactées avec une amélioration de leur pourcentage d'inadéquation d'un facteur 2, 3 et 4,  
322 respectivement, quel que soit le modèle. Les pourcentages d'inadéquation étaient également  
323 améliorés pour le sélénium et le cuivre, mais de façon plus modérée que pour les autres  
324 nutriments.

325

## 326 **Discussion**

327 La présente étude montre que respecter les nouvelles recommandations alimentaires  
328 françaises améliorerait la qualité nutritionnelle des diètes individuelles, comme en témoignent  
329 l'augmentation du MAR, et la diminution du MER et de la densité énergétique, quel que soit le  
330 modèle utilisé : celui imposant toutes les fréquences de consommation actuellement

331 recommandées y compris 2 p/j de produits laitiers (PL2) comme celui imposant 1 p/j  
332 supplémentaire de produits laitiers (PL3). L'amélioration portait plus fortement sur les nutriments  
333 à limiter avec le modèle PL2 (le MER diminuait plus avec PL2 qu'avec PL3, du fait d'une baisse  
334 plus importante des AGS) et plus fortement sur les nutriments essentiels avec le modèle PL3 (le  
335 MAR augmentait plus avec PL3 qu'avec PL2, et c'était lié notamment à des **teneurs** en calcium,  
336 zinc, iode et vitamine B2 plus en accord avec les recommandations nutritionnelles). La différence  
337 la plus importante entre les deux modèles portait sur le calcium : le modèle PL2 aggravait la  
338 situation (51% d'inadéquation d'apports dans l'« **observé** » et 58% avec PL2) alors que le modèle  
339 PL3 l'améliorait considérablement (seulement 16% d'inadéquation).

340 Bien que les recommandations alimentaires soient censées permettre la couverture des  
341 apports nutritionnels recommandés, cette aptitude fait rarement l'objet d'une analyse formelle. A  
342 notre connaissance, seuls les canadiens ont testé les implications, en termes d'apports  
343 nutritionnels, du suivi de leurs recommandations alimentaires lors de leur conception, en 2007  
344 (15). Ceci est pourtant très utile pour identifier les forces et les faiblesses nutritionnelles de ces  
345 recommandations. En France, la faisabilité du respect des recommandations nutritionnelles a été  
346 testée par modélisation à plusieurs reprises (mais pas celle des recommandations alimentaires).  
347 Ainsi, les premiers apports nutritionnels conseillés (ANC), élaborés en 1992, ont été testés par  
348 modélisation en 1999 et les résultats avaient mis en évidence leur manque de cohérence interne  
349 (23), impliquant la nécessité de les réviser. Cette révision a eu lieu en 2001, et la modélisation a  
350 été à nouveau utilisée pour vérifier leur faisabilité, et analyser leurs implications en termes de  
351 coût et de choix alimentaires (24). Plus récemment, à l'occasion de la révision des  
352 recommandations alimentaires, l'ANSES a testé la faisabilité de respecter un ensemble de  
353 contraintes nutritionnelles (les mêmes que celles qui ont été utilisées dans la présente étude pour  
354 évaluer l'adéquation nutritionnelle des diètes observées et modélisées), ainsi que leur  
355 compatibilité avec des contraintes d'ordre toxicologique (25). Les résultats de ces **modélisations**  
356 faisaient partie des éléments scientifiques transmis par l'ANSES pour guider l'élaboration, par le  
357 HCSP puis Santé publique France, des nouvelles recommandations alimentaires testées dans la  
358 présente étude.

359 Dans son rapport sur la révision des recommandations alimentaires, l'ANSES n'a pas  
360 émis de recommandation concernant les produits laitiers (25). Pourtant, parmi les diètes  
361 modélisées présentées dans ce rapport, celles qui étaient les plus réalistes (modèles B1 et C2  
362 pour les hommes, et B2 et B6 pour les femmes ayant des besoins en fer bas) contenaient 3,7 à  
363 4,3 p/j de produits laitiers (en utilisant, comme dans la présente étude, les portions indiquées  
364 dans le rapport de Santé publique France (8), et sans compter les desserts lactés). La plupart  
365 des autres modèles testés par l'ANSES étaient infaisables ou, quand ils étaient faisables  
366 (modèles B3, B4 et B5, pour les femmes ayant des besoins élevés en fer), conduisaient à des  
367 diètes irréalistes : absence totale de pain (qu'il soit blanc ou complet), augmentation considérable  
368 de toutes les viandes, du poisson et des œufs, pas de diminution des charcuteries, ni des  
369 desserts lactés ou des produits sucrés. Cette sélection d'aliments, qui semble nutritionnellement  
370 peu pertinente, ne fait en réalité que refléter la force anormalement élevée de certaines des  
371 contraintes nutritionnelles introduites dans ces modèles. Notamment, l'ANSES a signalé que le  
372 niveau d'EPA+DHA exigé dans les modèles posait problème, mais la contrainte n'a pas été  
373 assouplie.

374 La présente étude montre que, quel que soit le modèle (PL2 ou PL3), le respect de  
375 l'ensemble des nouvelles recommandations alimentaires françaises ne permettrait pas de  
376 respecter les recommandations en EPA+DHA, en vitamine B12 et en fibres pour un pourcentage  
377 important de la population. Ceci suggère soit que les niveaux d'apports recommandés en ces  
378 nutriments sont trop élevés, soit dénotent une incompatibilité entre certaines recommandations  
379 alimentaires et les recommandations d'apports en ces nutriments. Ainsi, selon nos résultats, le  
380 respect des nouvelles recommandations alimentaires diminuerait le pourcentage d'adéquation  
381 pour l'EPA+DHA et la vitamine B12. Pour l'EPA+DHA, cela s'explique par le fait que consommer  
382 exactement 2 portions de poisson par semaine augmenterait les apports en EPA+DHA des petits  
383 consommateurs de poisson, mais diminuerait ceux des grands consommateurs. Ne pas  
384 consommer plus de 2 portions de poisson par semaine est justifié du fait de l'exposition aux  
385 contaminants (26), mais ne semble pas être compatible avec la recommandation d'apports en  
386 EPA+DHA. Il faudrait donc soit envisager des supplémentations en EPA+DHA de façon plus

387 systématique, comme c'est le cas pour la vitamine D, soit reconsidérer le bien-fondé de la  
388 quantité d'EPA+DHA recommandée en France (500mg/j) sachant que l'Organisation Mondiale  
389 de la Santé (27) et l'EFSA (28) recommandent une valeur deux fois moins élevée (250mg/j).  
390 Concernant l'iode, la prévalence d'inadéquation d'apports, très élevée dans l'« observé », ne  
391 serait pas diminuée par le respect des recommandations alimentaires, même avec 3 produits  
392 laitiers par jour. Ceci suggère qu'il faudrait envisager des suppléments ou des  
393 enrichissements en iode, puisque la référence nutritionnelle fixée par l'ANSES (150µg/j) est la  
394 même que celle retenue par la plupart des autres instances nationales et internationales (22), et  
395 que sa validité peut donc être difficilement questionnée. Nos résultats suggèrent aussi que la  
396 recommandation de privilégier les huiles de colza, noix et olive aurait surtout pour effet  
397 d'augmenter l'acide oléique sans réduire notablement le ratio LA/ALA, car les français  
398 consomment plutôt de l'huile d'olive que de l'huile de colza ou de noix, et qu'il est raisonnable de  
399 penser qu'ils chercheront à rester proches de leurs habitudes alimentaires. Concernant la  
400 vitamine B12, dont le pourcentage d'inadéquation semble relativement élevé dans l'« observé »  
401 (31%), le respect des nouvelles recommandations alimentaires aggraverait en fait la situation  
402 (58% et 51% d'inadéquation avec PL2 et PL3, respectivement). Ceci s'explique par le fait que la  
403 recommandation adoptée par l'ANSES (5) pour cette vitamine d'origine animale est près de deux  
404 fois plus élevée que l'ANC de 2001 (passage de 2,4 à 4 µg/j), ce qui ne semble pas cohérent  
405 avec l'objectif de promouvoir une alimentation plus végétale. D'ailleurs, l'orientation végétale des  
406 nouvelles recommandations alimentaires, combinée à la recommandation de privilégier les  
407 produits céréaliers complets versus raffinés, permet bien une augmentation importante des fibres  
408 (de 18g/j dans l'« observé » à 24,8 et 23,8g/j en moyenne dans les diètes modélisées PL2 et PL3  
409 respectivement), mais le pourcentage d'individus avec un apport supérieur à l'AS (apport  
410 satisfaisant, égal à 30g/j) resterait très faible (moins de 20%), sans différence notable entre les  
411 deux modèles. Pourtant, quel que soit le modèle, la quantité totale de fruits et légumes dépassait  
412 550g/j dans les diètes modélisées, deux portions de légumes secs étaient ajoutées par semaine,  
413 et les produits céréaliers complets étaient multipliés par 2,5 environ par rapport aux  
414 consommations observées. L'AS pour les fibres semble donc être difficilement atteignable, à

415 moins d'une modification encore plus drastique des habitudes que celle préconisée par les  
416 nouvelles recommandations alimentaires. Le cas de la recommandation en calcium est différent  
417 dans la mesure où la situation pourrait être considérablement améliorée avec 3 produits laitiers  
418 par jour plutôt que 2. A cet égard le choix d'une fréquence de 2p/j peut sembler étonnante,  
419 d'autant plus qu'il n'a fait l'objet d'aucune explication dans aucun des rapports cités plus haut  
420 (ANSES, HCSP, SPF), et que les diètes raisonnablement réalistes modélisées par l'ANSES en  
421 contenaient plutôt 4p/j. La décision de réduire la fréquence recommandée de consommation de  
422 produits laitiers est donc difficile à comprendre, d'autant plus qu'ils font partie intégrante de la  
423 culture alimentaire française et sont des sources relativement peu onéreuses de nutriments  
424 essentiels (29), deux dimensions fondamentales à considérer lors de l'établissement des guides  
425 alimentaires nationaux (3). Cette décision risque en outre de donner prise aux peurs et croyances  
426 scientifiquement infondées de certains consommateurs vis-à-vis des produits laitiers. Le rapport  
427 de l'ANSES de 2016 sur les relations entre les consommations d'aliments et les maladies  
428 chroniques (30) indique que la consommation de produits laitiers est associée une réduction  
429 probable du risque de diabète de type 2. Ce rapport indique aussi que la consommation de lait  
430 est associée une réduction probable du risque de cancer colorectal (30), et, dans un rapport plus  
431 récent, le WCRF a confirmé cet effet protecteur probable sur le cancer colorectal en l'étendant à  
432 l'ensemble des produits laitiers (31). Par ailleurs, le rapport de l'ANSES de 2016 indique que des  
433 données limitées suggèrent que la consommation de produits laitiers est associée une  
434 augmentation du risque de cancer de la prostate quand d'autres suggèrent une diminution du  
435 risque de maladies cardiovasculaires (la seconde cause de mortalité en France pour les deux  
436 sexes, derrière l'ensemble des cancers). Plus récemment, une grande étude prospective  
437 internationale, l'étude PURE, a mis en évidence une réduction de risque de mortalité  
438 cardiovasculaire et de mortalité totale pour une consommation de produits laitiers strictement  
439 supérieure à 2 p/j (32). Il est à noter que, dans cette étude, les personnes consommant plus de  
440 2 portions par jour de produits laitiers avaient une consommation médiane égale à 3,5p/j, dont  
441 2,9p/j de produits laitiers entiers (i.e. non allégés en matières grasses).

442 La présente étude fait l'objet de limites. Comme toutes les études basées sur des données  
443 d'enquêtes alimentaires en population, les résultats sont sujets à divers biais (biais de déclaration  
444 par exemple) et dépendent de la qualité des données utilisées (sur la composition nutritionnelle  
445 des aliments notamment). Concernant les données de consommation alimentaire utilisées, elles  
446 peuvent ne pas correctement refléter les consommations actuelles puisque la présente étude se  
447 base sur des données déjà anciennes (2006-2007), celles de l'enquête plus récente (InCA3,  
448 réalisée en 2014-2015) n'étant pas disponibles à ce jour pour les laboratoires non affiliés à  
449 l'ANSES. Néanmoins, ces limites ont moins d'impact dans une étude de modélisation que dans  
450 une étude d'observation, puisque l'objectif n'est pas d'analyser les diètes observées mais de les  
451 comparer à des diètes modélisées. Une autre limite est que la génération de diètes modélisées  
452 isocaloriques avec la diète observée de départ n'est pas forcément adaptée pour certains  
453 individus qui pourraient avoir besoin de réduire leur apport énergétique tout en adoptant de  
454 meilleurs choix alimentaires. Néanmoins, en l'absence de données précises sur les besoins  
455 énergétiques individuels, l'hypothèse de stabilité des apports énergétique était la plus  
456 raisonnable. De plus, compte tenu du caractère théorique de l'approche d'optimisation utilisée et  
457 de l'absence de données biologiques associées à l'enquête alimentaire, il est impossible de  
458 prévoir quels pourraient être les impacts sur la santé d'une détérioration ou non amélioration des  
459 prévalences d'inadéquation d'apports mises en évidence pour certains nutriments. Il faut  
460 également noter que les résultats du processus d'optimisation sont dépendant des contraintes  
461 entrées dans le modèle, elles mêmes traduites des recommandations alimentaires. En effet, pour  
462 que l'optimisation fonctionne, les contraintes doivent nécessairement être chiffrées alors que les  
463 recommandations ne le sont pas toutes. Une part d'interprétation a donc été nécessaire. Par  
464 exemple, pour la viande et les charcuteries, une réduction a été imposée lorsque les quantités  
465 consommées étaient au-delà des limites maximales recommandées (500g/sem et 150g/sem pour  
466 la viande hors volaille et la charcuterie, respectivement) et une non-augmentation a été imposée  
467 lorsque ces limites n'étaient pas dépassées. Un autre choix aurait pu être fait, en imposant par  
468 exemple une réduction systématique même quand les limites maximales n'étaient pas  
469 dépassées, et d'autres résultats auraient été obtenus. Enfin, les nouvelles recommandations

470 alimentaires conseillent de consommer des aliments bio ou de penser à varier les produits compte  
471 de tenu des risques de contaminants, et ceci n'a pas pu être pris en compte dans les  
472 **modélisations**.

473

#### 474 **Conclusion**

475 Respecter les recommandations actuelles de consommation alimentaire permettrait d'améliorer  
476 globalement la qualité nutritionnelle de l'alimentation des adultes en France. En revanche, les  
477 risques d'inadéquation d'apports en calcium seraient augmentés sans toutefois permettre de  
478 satisfaire pleinement les recommandations d'apports en fibres et en acides gras oméga-3 à  
479 longue chaîne.

480

#### 481 **A RETENIR**

482 - Respecter les nouvelles recommandations alimentaires françaises améliore sensiblement la  
483 qualité nutritionnelle globale des diètes, sans toutefois satisfaire pleinement les recommandations  
484 d'apports en fibres et en acides gras oméga-3 à longue chaîne.

485 - Tous les avantages nutritionnels associés au respect des nouvelles recommandations  
486 alimentaires, et notamment la baisse des acides gras saturés, sont conservés avec 1 portion de  
487 produit laitier supplémentaire par jour (3 au lieu de 2).

488 - La principale différence entre ces deux options concerne le calcium : aggravation du  
489 pourcentage d'inadéquation d'apports en calcium avec 2 portions de produits laitiers par  
490 jour (58% d'inadéquation d'apports vs 51% dans l'« **observé** »); notable amélioration avec 3  
491 portions par jour (seulement 16% d'inadéquation).

492

493 **Déclarations d'intérêt**

494 MS-Nutrition a obtenu une contribution financière de la part du CNIEL pour la conduite de cette étude et  
495 la rédaction de cet article. MM est salarié de MS-Nutrition.

496 Le laboratoire MOISA de l'INRA Montpellier a obtenu une contribution financière de la part du CNIEL pour  
497 la participation à cette étude et à la rédaction de cet article.

498

499 **Références**

- 500 1. Joint FAO/WHO. Second International Conference on Nutrition. Rome, Italy. 2014.
- 501 2. FAO. Recommandations alimentaires [Internet]. 2019. Available from:  
502 <http://www.fao.org/nutrition/nutrition-education/food-dietary-guidelines/en/>
- 503 3. Joint FAO/WHO Consultation. WHO| Preparation and use of food-based dietary  
504 guidelines. Nicosia, Cyprus: WHO technical report series; 880; 1998.
- 505 4. Ministère de l'emploi et de la solidarité. Programme National Nutrition Santé - PNNS.  
506 2001 - 2005 [Internet]. 2001. Available from: [https://solidarites-](https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/1n1.pdf)  
507 [sante.gouv.fr/IMG/pdf/1n1.pdf](https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/1n1.pdf)
- 508 5. ANSES. Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations  
509 alimentaires [Internet]. 2016 [cited 2018 Jan 25]. Available from:  
510 <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-1.pdf>
- 511 6. HCSP. Avis relatif à la révision des repères alimentaires pour les adultes du futur  
512 Programme national nutrition santé 2017-2021 [Internet]. 2017. Available from:  
513 <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=600>
- 514 7. Expertise collective INSERM. Agir sur les comportements nutritionnels : Réglementation,  
515 marketing et influence des communications de santé. 2017 [cited 2019 Mar 13]; Available  
516 from: <http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/7472>
- 517 8. Santé Publique France. Recommandations relatives à l'alimentation, à l'activité physique  
518 et à la sédentarité pour les adultes. [Internet]. Saint Maurice; 2017. Available from:  
519 [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr)
- 520 9. Inserm. INSERM. Inégalités sociales de santé en lien avec l'alimentation et l'activité  
521 physique. Collection Expertise collective, Inserm, Paris. 2014.
- 522 10. ANSES. Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (INCA 3)  
523 [Internet]. 2017. Available from:  
524 <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0234Ra.pdf>
- 525 11. EFSA NDA Panel. Scientific Opinion on establishing Food-Based Dietary Guidelines |  
526 European Food Safety Authority. EFSA J. 2010;

- 527 12. Gazan R, Brouzes CMC, Vieux F, Maillot M, Lluch A, Darmon N. Mathematical  
528 Optimization to Explore Tomorrow's Sustainable Diets: A Narrative Review. *Adv Nutr*  
529 [Internet]. 2018 Sep 1 [cited 2019 Mar 6];9(5):602–16. Available from:  
530 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30239584>
- 531 13. Maillot M, Vieux F, Amiot MJ, Darmon N. Individual diet modeling translates nutrient  
532 recommendations into realistic and individual-specific food choices. *Am J Clin Nutr*.  
533 2010;91(2):421–30.
- 534 14. Ferguson EL, Darmon N, Briend A, Premachandra IM. Food-based dietary guidelines can  
535 be developed and tested using linear programming analysis. *J Nutr* [Internet]. 2004 Apr  
536 [cited 2017 Jul 3];134(4):951–7. Available from:  
537 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15051853>
- 538 15. Katamay SW, Esslinger KA, Vigneault M, Johnston JL, Junkins BA, Robbins LG, et al.  
539 Eating well with Canada's Food Guide (2007): development of the food intake pattern.  
540 *Nutr Rev* [Internet]. 2007 Apr [cited 2017 Jan 19];65(4):155–66. Available from:  
541 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17503710>
- 542 16. Dubuisson C, Lioret S, Touvier M, Dufour A, Calamassi-Tran G, Volatier J-L, et al.  
543 Trends in food and nutritional intakes of French adults from 1999 to 2007: results from  
544 the INCA surveys. *Br J Nutr*. 2010 Apr;103(7):1035–48.
- 545 17. Enfants et adultes forts consommateurs de sucres libres en France Matériel et méthodes  
546 Données de consommation et de composition nutritionnelle. 2017 [cited 2018 Jan 25];  
547 Available from: [https://cnd.elsevierresource.com/files/maillot\\_et\\_al.pdf](https://cnd.elsevierresource.com/files/maillot_et_al.pdf)
- 548 18. Ledikwe JH, Blanck HM, Khan LK, Serdula MK, Seymour JD, Tohill BC, et al. Dietary  
549 energy density determined by eight calculation methods in a nationally representative  
550 United States population. *J Nutr* [Internet]. 2005 Feb;135(2):273–8. Available from:  
551 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15671225>
- 552 19. Guthrie HA, Scheer JC. Validity of a dietary score for assessing nutrient adequacy. *J Am*  
553 *Diet Assoc* [Internet]. 1981 Mar [cited 2017 Jun 23];78(3):240–5. Available from:  
554 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7217578>

- 555 20. Vieux F, Soler L-G, Touazi D, Darmon N. High nutritional quality is not associated with  
556 low greenhouse gas emissions in self-selected diets of French adults. *Am J Clin Nutr*  
557 [Internet]. 2013 Mar [cited 2015 Jan 30];97(3):569–83. Available from:  
558 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23364012>
- 559 21. Carriquiry AL. Assessing the prevalence of nutrient inadequacy. *Public Health Nutr*  
560 [Internet]. 1999 Mar [cited 2019 Mar 4];2(1):23–33. Available from:  
561 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10452728>
- 562 22. ANSES. Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles  
563 [Internet]. 2016. Available from: [https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-](https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-2.pdf)  
564 [2.pdf](https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-2.pdf)
- 565 23. Darmon N, Briend A. Est-il possible de demander aux Français de respecter les apports  
566 nutritionnels conseillés ? *Cah Nutr Diet*. 1999;34(6):369–77.
- 567 24. Martin A. Apports nutritionnels conseillés pour la population Française. 3e édition.  
568 [Recommended dietary intakes for the French population 3rd edition]. TEC&DOC. Paris:  
569 Lavoisier; 2001.
- 570 25. ANSES. Avis de l'Anses relatif à l'établissement de recommandations d'apport en sucres  
571 [Internet]. 2016. Available from:  
572 <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0186Ra.pdf>
- 573 26. Leblanc J-C, Sirot V, Volatier J-L. Analyse risque – bénéfice de la consommation de  
574 poissons. *Cah Nutr Diététique* [Internet]. 2009 Sep [cited 2019 Mar 4];44(4):182–8.  
575 Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007996009001217>
- 576 27. World Health Organization. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. Report  
577 of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. Vol. 916, World Health Organization technical  
578 report series. 2003.
- 579 28. EFSA Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on  
580 dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty  
581 acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA J*.  
582 2010;8(3):1461.

- 583 29. Maillot M, Darmon N, Darmon M, Lafay L, Drewnowski A. Nutrient-dense food groups  
584 have high energy costs: an econometric approach to nutrient profiling. *J Nutr* [Internet].  
585 2007;137(7):1815–20. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17585036>
- 586 30. ANSES. Actualisation des repères du PNNS : étude des relations entre consommation de  
587 groupes d'aliments et risque de maladies chroniques non transmissibles [Internet]. 2016.  
588 Available from: <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-3.pdf>
- 589 31. WCRF/AICR. Continuous Update Project Report: Diet, Nutrition, Physical Activity and  
590 Colorectal Cancer [Internet]. 2017. Available from: [wcrf.org/colorectal-cancer-2017](http://wcrf.org/colorectal-cancer-2017)
- 591 32. Dehghan M, Mente A, Rangarajan S, Sheridan P, Mohan V, Iqbal R, et al. Association of  
592 dairy intake with cardiovascular disease and mortality in 21 countries from five continents  
593 (PURE): a prospective cohort study. *Lancet* (London, England) [Internet]. 2018 Nov 24  
594 [cited 2019 Mar 13];392(10161):2288–97. Available from:  
595 <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673618318129>  
596

597 **Tableau 3.** Moyennes et écart-types des quantités des sous-groupe d'aliments **Sustable** dans les diètes observées et dans les diètes  
 598 **modélisées PL2 et PL3** (n=1847)

Groupes d'aliments	Sous-groupes d'aliments	Diètes observées		Diètes PL2		Diètes PL3		P'		PL2 vs PL3
		Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	« Observé » vs PL2	« Observé » vs PL3	
Fruits et légumes	Légumes, soupes	215,9	143,3	269,6	114,9	262,8	113,0	<0,001	<0,001	0,0111
	Fruits frais et transformés	159,7	144,9	299,9	170,9	286,2	168,6	<0,001	<0,001	<0,001
	Fruits séchés et à coque	2,9	7,1	16,6	5,4	16,5	5,2	<0,001	<0,001	0,4152
Céréales et féculents	Produits céréaliers raffinés	161,7	97,1	79,7	43,9	73,4	44,2	<0,001	<0,001	<0,001
	Féculents complets <sup>2</sup>	77,2	59,6	219,5	91,0	206,0	91,1	<0,001	<0,001	<0,001
	Céréales du petit déjeuner	4,8	15,5	5,1	16,7	4,9	16,2	<0,001	0,0107	0,2096
Viandes/poissons/oeufs	Œufs	14,7	17,2	22,5	24,4	20,8	23,3	<0,001	<0,001	<0,001
	Produits de la mer	32,4	30,7	28,1	2,5	28,2	2,3	<0,001	<0,001	0,8461
	Viandes	113,9	62,8	86,4	50,5	84,1	50,6	<0,001	<0,001	0,0017
	Substituts végétaux	1,4	5,4	3,2	9,0	2,9	8,5	<0,001	<0,001	0,0713
Plats mixtes	Plats mixtes à base de viande	91,5	82,6	62,2	54,8	60,2	53,1	<0,001	<0,001	0,1903
	Plats mixtes sans viande	32,2	48,1	29,6	37,1	27,6	35,0	0,0255	<0,001	0,0051
Produits laitiers	Lait	90,2	140,2	45,5	67,2	90,1	109,7	<0,001	0,9595	<0,001
	Yaourts	80,3	80,1	79,2	66,7	112,3	90,6	0,153	<0,001	<0,001
	Fromages	33,3	28,0	28,3	17,0	41,3	24,2	<0,001	<0,001	<0,001
Produits sucrés	Tartes, gâteaux, viennoiseries	65,2	53,6	60,4	50,1	59,4	49,2	<0,001	<0,001	0,0310
	Biscuits, sucreries, chocolat	36,5	35,3	41,8	39,1	40,9	38,4	<0,001	<0,001	0,0062
	Desserts lactés	17,8	32,6	15,1	27,4	15,3	27,5	<0,001	<0,001	0,2145
	Substituts végétaux des desserts lactés	5,0	29,9	17,2	62,2	12,5	50,1	<0,001	<0,001	<0,001
Boissons	Eaux	771,7	562,8	1074,4	706,1	1056,4	704,2	<0,001	<0,001	0,1318
	Thé, café, infusions	405,7	345,4	405,5	345,3	405,5	345,3	0,4879	0,4879	1

	Boissons sucrées	62,6	156,5	12,8	23,7	12,6	23,6	<0,001	<0,001	0,9478
	Jus de fruits	56,3	88,4	47,0	52,3	46,5	52,2	<0,001	<0,001	0,5652
	Boissons alcoolisées	139,8	201,0	139,8	201,0	139,8	201,0	<0,001	<0,001	<0,001
<b>Matières grasses ajoutées</b>	Matières grasses animales	13,6	13,4	5,4	5,1	5,3	5,1	<0,001	<0,001	0,9664
	Matières grasses végétales	23,2	16,5	27,0	16,2	25,8	15,7	<0,001	<0,001	<0,001
	Assaisonnements	8,4	11,1	7,4	9,7	7,0	9,3	<0,001	<0,001	0,0438
	Part végétale, % du poids total	76,3	9,4	82,2	5,7	78,5	6,9	<0,001	<0,001	<0,001

599

600 <sup>1</sup> pvalues après ajustement sur l'apport énergétique, le sexe et l'âge.

601 <sup>2</sup> dans la nomenclature Sustable le sous-groupe « Féculents complets » comprend les produits céréaliers complets, les pommes de terre et les

602 légumes secs.

603

604 **Tableau 4.** Caractéristiques (moyennes<sup>1</sup> et écart-types) des diètes observées et des diètes modélisées PL2 et PL3 (n=1847)

	Diètes observées		Diètes PL2		Diètes PL3		p		
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	« Observé » vs PL2	« Observé » vs PL3	PL2 vs PL3
Poids total, g/j	2750,1	778,6	3175,4	772,1	3192,9	780,0	<0,0001	<0,0001	0,0041
Poids d'aliments solides, g/j	1094,5	308,6	1336,1	334,9	1323,5	339,3	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Poids des liquides, g/j	1655,6	652,3	1839,2	736,0	1869,4	746,9	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Densité énergétique <sup>2</sup> , kcal/100g	183,0	31,1	151,4	20,1	151,3	20,2	<0,0001	<0,0001	0,222
MAR, %/j	83,9	7,3	88,8	4,8	89,5	4,6	<0,0001	<0,0001	<0,0001
MER, %/j	17,7	14,3	6,8	9,0	7,9	9,0	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Apport énergétique total hors alcool (AET), kcal/j	2221	594	2213	582	2215	582	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Protéines, %AET <sup>3</sup>	15,9	2,6	15,0	2,5	15,6	2,6	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Glucides totaux, %AET <sup>3</sup>	42,1	6,3	42,0	5,8	40,7	6	0,0146	<0,0001	<0,0001
Sucres totaux, %AET <sup>3</sup>	16,3	5,2	18,7	4,8	18,9	4,9	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Sucres libres <sup>4</sup> , %AET <sup>3</sup>	9,6	4,8	9,4	4,1	9,4	4,1	0,0401	0,1663	0,0059
Fibres, g/j	18,5	5,6	24,8	5,9	23,8	5,8	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Lipides totaux, %AET <sup>3</sup>	36,3	5,4	36,6	5,1	37,4	5,2	0,0082	<0,0001	<0,0001
Acide oléique, %AET <sup>3</sup>	10,5	2,6	12,0	2,4	11,9	2,4	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Acides gras poly-insaturés, %AET <sup>3</sup>	5,5	1,8	6,1	1,3	5,9	1,2	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Acide linoléique, %AET <sup>3</sup>	4,9	1,8	5,4	1,2	5,2	1,1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Acide alpha-linolénique, %AET <sup>3</sup>	0,45	0,16	0,57	0,16	0,57	0,15	<0,0001	<0,0001	<0,0001
EPA+DHA, g/j	0,24	0,21	0,30	0,07	0,30	0,07	<0,0001	<0,0001	0,1714
LA/ALA	11,4	4,8	9,7	2,3	9,5	2,2	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Acides gras saturés totaux, %AET <sup>3</sup>	13,8	2,7	11,9	2	12,8	2,2	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Acides laurique, myristique, palmitique, %AET <sup>3</sup>	9,0	1,7	7,9	1,3	8,6	1,4	<0,0001	<0,0001	<0,0001

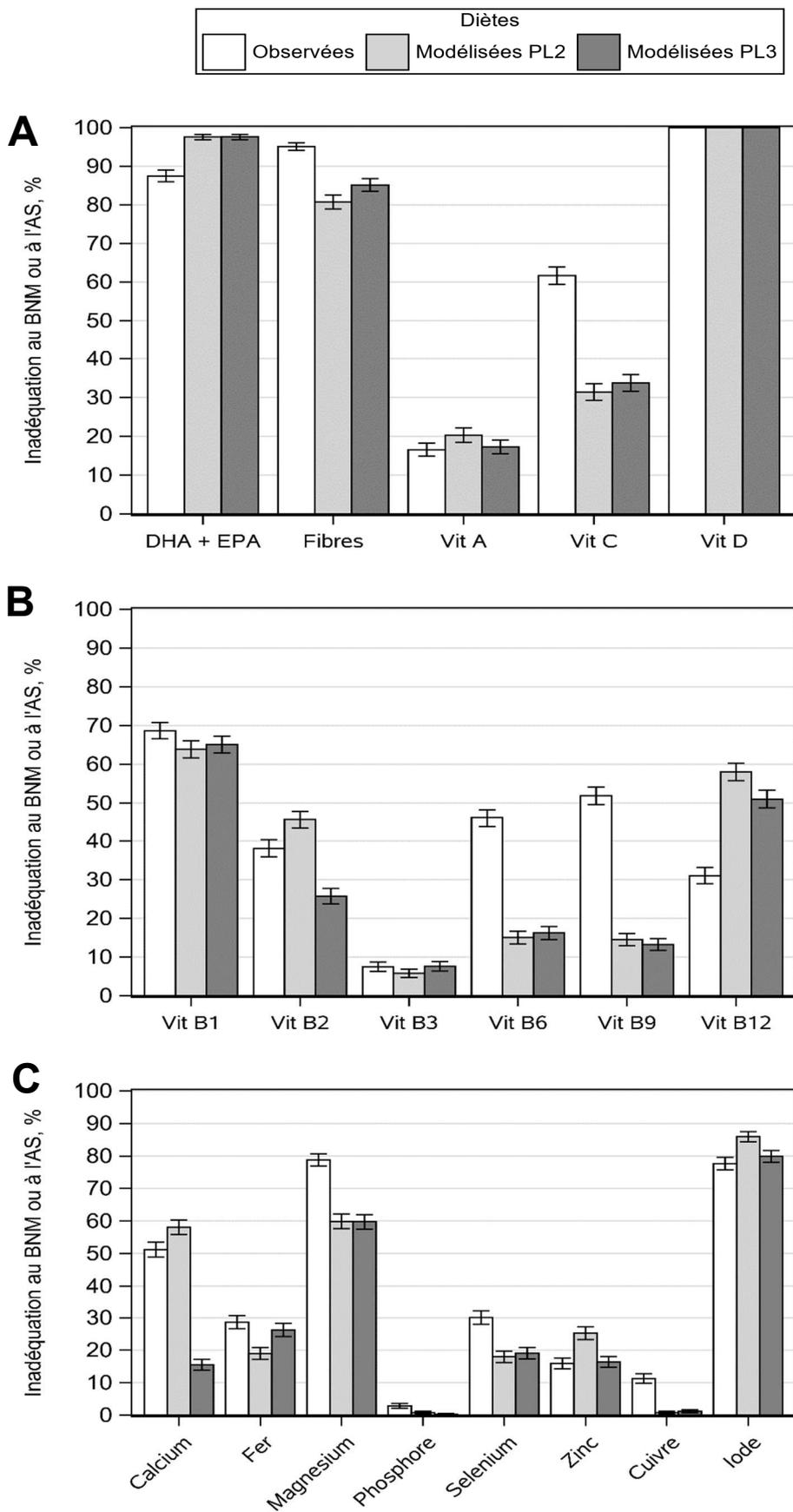
605 <sup>1</sup> p-values après ajustement sur l'apport énergétique, le sexe et l'âge.

606 <sup>2</sup> calculée après exclusion du lait et des boissons

607 <sup>3</sup> L'AET correspond à l'apport énergétique total hors alcool.

608 <sup>4</sup> Les « sucres libres » correspondent aux sucres ajoutés et aux sucres naturellement présents dans le miel, les sirops, les jus et les concentrés  
609 de fruits (27)

610 **Figure 1.**



611

612 **Figure 1.** Pourcentages d'inadéquation d'apports des nutriments à leur BNM ou à leur AS  
613 dans les diètes observées et dans les diètes modélisées PL2 et PL3. Panel A : acides gras  
614 oméga-3 à longue chaîne (EPA+DHA), fibres, vitamine A, C et D. Panel B : vitamines B.  
615 Panel C : minéraux.