



HAL
open science

Adéquation de l'apport en protéines et acides aminés dans les régimes végétariens

François Mariotti, Christopher Gardner

► **To cite this version:**

François Mariotti, Christopher Gardner. Adéquation de l'apport en protéines et acides aminés dans les régimes végétariens. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 2020, 55 (2), pp.66-81. 10.1016/j.cnd.2019.12.002 . hal-02943584

HAL Id: hal-02943584

<https://hal.science/hal-02943584v1>

Submitted on 19 Sep 2020

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.

1 Ce document est la version « Pre-print » d'un article paru dans les Cahiers de Nutrition et
2 Diététique

3

4 Mariotti et Garner. Cahiers de nutrition et de diététique (2020) 55, 66—

5 81. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2019.12.002>

6

7

8 *Revue*

9 **Adéquation de l'apport en protéines et acides aminés** 10 **dans les régimes végétariens.**

11 [protein and amino acids adequacy in vegetarian diets]

12

13 **François Mariotti^{1*} et Christopher D. Gardner ²**

14 ¹ UMR PNCA, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France.

15 ² Stanford Prevention Research Center, Department of Medicine, Stanford University Medical School,
16 Stanford, CA, USA.

17 * responsable de la correspondance : mariotti@agroparistech.fr

18

19 **Résumé :** Dans cette revue de la littérature, nous étudions l'adéquation des apports en protéines et
20 en acides aminés des régimes végétariens chez les adultes des pays occidentaux, en rassemblant des
21 données indirectes et directes de statut nutritionnel. Nous concluons que les aliments riches en
22 protéines, tels que les légumineuses, les noix et les graines, sont suffisants pour assurer un apport
23 satisfaisant en protéines chez les végétariens et végétaliens, et que la question de l'insuffisance
24 d'acides aminés spécifiques a été très largement exagérée. Nous nous penchons aussi
25 spécifiquement sur le cas des personnes âgées, où les questions liées à l'adéquation protéique des
26 régimes végétariens sont plus complexes, et sur la situation des enfants où, au contraire, il n'y a pas
27 de préoccupations particulières concernant l'adéquation protéique, les besoins énergétiques étant
28 très élevés par rapport aux besoins protéiques. Étant donné les recommandations et les mutations
29 actuelles vers des régimes végétalisés, il est nécessaire de continuer à étudier en détail sur des bases
30 scientifiques rationnelles l'adéquation protéique des régimes végétariens et végétaliens, mais aussi,
31 et surtout, d'élargir à des critères généraux de qualité nutritionnelle et de santé.

32 **Mots-clés :** régime végétarien ; régime végétalien ; protéines ; acides aminés ; adéquation ; adultes ;
33 apport en protéines ; apport en protéines ; besoin en protéines

34 **Abstract:**

35 In this review, we study the adequacy of vegetarian diets of adults in Western countries regarding
36 their protein and amino acid intakes, by gathering indirect and direct data on nutritional status. We
37 conclude that protein-rich foods, such as legumes, nuts and seeds, are sufficient to provide an
38 adequate protein intake for vegetarians and vegans, and that the issue of insufficient intakes of
39 specific amino acids has been greatly over-stated. We also focus specifically on the case of the
40 elderly, where issues related to the protein adequacy of vegetarian diets are more complex, and on
41 the situation of children, where, on the contrary, there are no particular concerns regarding protein
42 adequacy, since energy requirements are very high compared to protein requirements. Given the
43 current guidelines and changes towards vegetarian diets, it is necessary to continue to study in
44 detail on a rational scientific basis the protein adequacy of vegetarian and vegan diets, but also, and
45 above all, to extend it to general nutritional quality and health criteria.

46

47

48 **1. Introduction**

49 À l'échelle mondiale, le degré d'intégration ou d'éviction des aliments d'origine animale varie
 50 considérablement selon les habitudes alimentaires des Hommes. Le végétarisme se réfère à
 51 l'exclusion de la viande, du poisson, des fruits de mer et éventuellement d'autres produits animaux
 52 tels que les produits laitiers et les œufs. Dans cette revue, conformément aux définitions standards
 53 [1], nous considérerons comme végétariens tous ceux qui excluent la viande et le poisson,
 54 indépendamment du fait que d'autres produits animaux comme les produits laitiers et/ou les œufs
 55 soient également exclus. Dans la littérature, cependant, les régimes végétariens sont souvent des
 56 régimes lacto-ovo-végétariens (et donc souvent considérés comme synonymes de "régimes
 57 végétariens"). En outre, la littérature rapporte fréquemment des résultats concernant les régimes
 58 végétaliens (à l'exclusion de tous les produits d'origine animale), qui sont moins courants mais
 59 intéressants parce qu'ils se situent à l'extrémité de la gamme du végétarisme. Nous reconnaissons
 60 qu'il convient d'être prudent quand on traite ce sujet car les données concernant les régimes
 61 végétariens sont intrinsèquement complexes pour de nombreuses raisons, notamment (1) le manque
 62 de cohérence dans les définitions du végétarisme, (2) l'utilisation du végétarisme tel qu'autodéclaré,
 63 (3) l'hétérogénéité dans la gamme des végétarismes, (4) les erreurs et incertitudes concernant le
 64 contenu en nutriments des aliments végétaux, (5) les erreurs de mesure concernant l'apport en
 65 protéines lors des enquêtes alimentaires, (6) la représentativité des échantillons de végétariens dans
 66 les études et, bien sûr, (7) les facteurs de confusion présents dans les études observationnelles qui
 67 font que les associations observés chez les végétariens ne peuvent pas facilement et uniquement être
 68 attribué aux régimes végétariens [1]. Nous commenterons plus loin comment ces problèmes peuvent
 69 limiter notre compréhension du statut protéique des végétariens.

70 Parce que les régimes végétariens excluent la chair animale, et parfois tous ou la plupart des
 71 autres aliments d'origine animale riches en protéines, la question de savoir si les régimes végétariens
 72 peuvent répondre aux besoins en protéines a longtemps été un sujet controversé dans le domaine de
 73 la nutrition. "Where do you get your protein from" (D'où viennent vos protéines ?) est une question
 74 courante posée aux végétariens, et en particulier aux végétaliens. En outre, dans les pays occidentaux,
 75 la réduction de l'apport en protéines animales, en particulier la consommation de viande, est
 76 récemment devenue plus fréquente, pour diverses raisons [2-4]. Cette tendance récente, bien
 77 qu'apparemment non associée à une augmentation du nombre de végétariens [4] a conduit au même
 78 type de questionnement sur l'adéquation des protéines dans les régimes semi-végétariens ou les
 79 régimes dits flexitariens. Les éléments apportés dans cette revue pourront donc aussi préciser la
 80 nature des questions d'adéquation protéique concernant le flexitarisme.

81 *Apport en protéines provenant de régimes végétariens*

82 La plupart des articles de la littérature ont fait état d'un gradient d'apport en protéines entre les
 83 mangeurs de viande et les végétaliens, parmi les adultes dans les pays occidentaux. En analysant les
 84 résultats de l'étude EPIC-Oxford, Sobiecki et coll. [5] ont rapporté un apport en protéines selon le
 85 gradient suivant : mangeurs de viande > pesco-lacto-ovo-végétariens > lacto-ovo-végétariens >
 86 végétaliens (Tableau 1). Dans la cohorte française Nutrinet-Santé, Alles et coll. [6] ont rapporté
 87 presque le même gradient, avec des chiffres similaires pour les protéines exprimées en pourcentage
 88 de l'apport énergétique (~17,5% pour les mangeurs de viande et 13% pour les végétaliens ; Tableau
 89 2). La similitude entre ces chiffres est même assez frappante car les études différaient par de
 90 nombreuses caractéristiques, y compris leurs populations de base (tant par les cultures alimentaire
 91 que les caractéristiques des populations), ainsi que par la façon dont le végétarisme était classé et la
 92 proportion de végétariens dans les échantillons. Les études étaient similaires en ce qui concerne la
 93 proportion de femmes végétariennes (~80-85% des femmes). De plus, le pourcentage d'apport
 94 énergétique provenant des protéines correspond également à d'autres estimations chez les
 95 végétariens (sans aucune distinction), telles que celles rapportées par l'étude de cohorte des femmes
 96 du Royaume-Uni (13,1%) [7] ou l'étude états-unienne NHANES (13,5%) [8].

97 **Tableau 1.** Apport en protéines des végétariens comparé à celui des mangeur de viande dans l'étude
 98 EPIC-Oxford, classé selon les réponses aux questions sur la consommation de viande, de poisson,
 99 d'œufs et de produits laitiers par les personnes concernées. Données de Sobiecki et al [5].

	Mangeurs de viande	Mangeurs de poissons ¹	Lacto-ovovégétariens	Végétariens
n (%)	18 244 (60)	4531 (15)	6673 (22)	803 (3)
Énergie (kcal)	2091	2030	2002	1944
Énergie provenant des protéines	17.2	15.5	14.0	13.1
Protéines (g/kg de poids corporel) ²	1.28	1.17	1.04	0.99
Protéines (g) ³	90	79	70	64
Poids corporel (kg) ³	70	67	67	64

100 ¹ Non mangeurs de viande (c-à-d. « pesco-lacto-ovo-végétariens »). ² fondé sur un sous-échantillon de 29 028
 101 personnes avec des informations sur le poids corporel ; ³ Tel que calculé par nos soins.

102 **Tableau 2.** Apport en protéines des végétariens comparé à celui des mangeurs de viande dans l'étude
 103 Nutrinet-Santé, fondé sur les déclarations selon lesquelles ils sont végétariens (c'est-à-dire qu'ils ne
 104 mangent pas de viande mais mangent d'autres produits animaux, selon la définition prise alors) ou
 105 végétaliens (ne mangent pas de viande, poisson, œufs ou produits laitiers). Données de Alles et al [6].

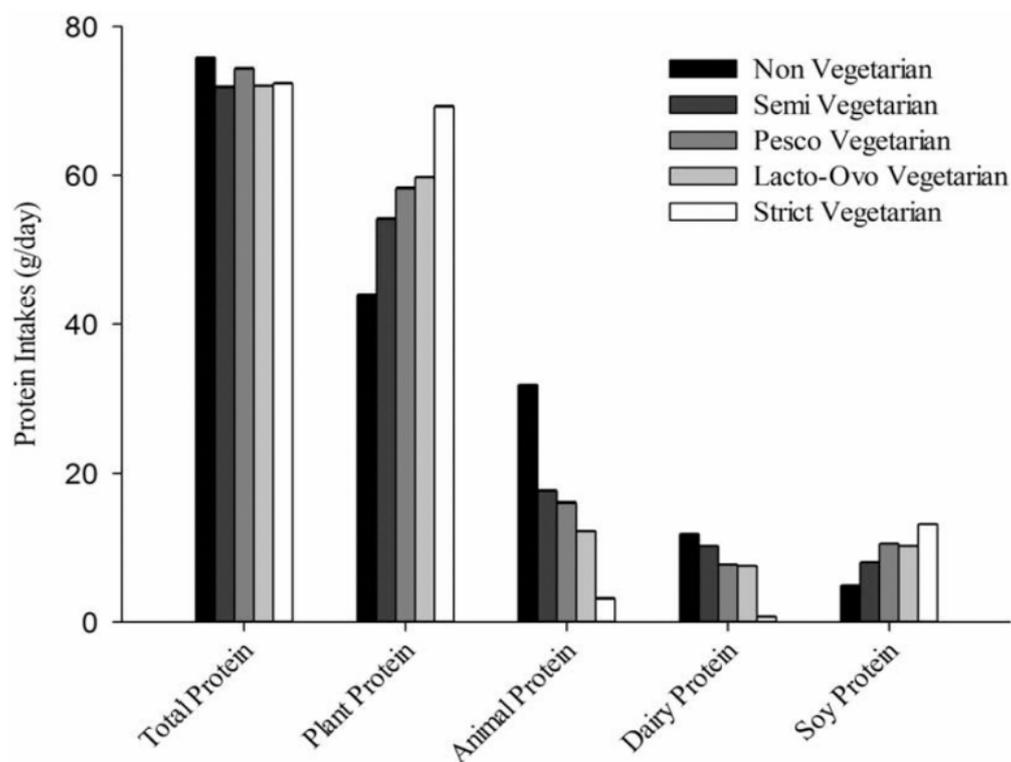
	Mangeurs de viande	Ni mangeurs de viande ni végétalien	Végétaliens
n (%)	90 664 (96.6)	2370 (2.5)	789 (0.8)
Énergie (kcal)	1899	1814	1877
Énergie provenant des protéines	17.6	14.2	12.8
Protéine (g) ¹	84	64	60

106 ¹ Tel que nous l'avons calculé nous-mêmes.

107 Une exception claire à ce gradient a été rapportée dans les études adventistes. Dans l'étude
 108 Adventist Health Study 2 (AHS-2), l'apport en protéines des lacto-ovovégétariens et des
 109 végétaliens était remarquablement similaire à celui des mangeurs de poisson, semi-végétariens et
 110 non-végétariens [9]. (Fig. 1). Cette différence par rapport aux autres populations peut s'expliquer par
 111 deux raisons. Premièrement, dans les populations adventistes [9], les non-végétariens ont un apport
 112 en viande assez faible et leur apport final en protéines est principalement d'origine végétale (~60%
 113 de protéines végétales), ce qui contraste fortement avec les régimes alimentaires standards des pays
 114 occidentaux (à ~30% de protéines végétales) [10 , 11]. Ainsi, l'apport médian en protéines animales
 115 dans le AHS-2 est de 29 g/j, alors qu'il est de 70 g/j en France [12]. Les non-végétariens de l'étude
 116 AHS-2 ont un régime à prédominance végétale, comme l'illustre leur apport moyen en fibres de 30
 117 g/j, contre 22 g/j chez les non-végétariens de l'EPIC-Oxford, 20 g/j en France et 16 g/j dans la
 118 population générale américaine) [9 , 13 , 14 , 15]. Deuxièmement, les végétariens, y compris les
 119 végétaliens, avaient un apport relativement élevé en protéines. L'apport médian en protéines totales
 120 chez les végétaliens était de 71 g, soit 14,4% de l'apport énergétique [9], ce qui est assez élevé comparé
 121 aux autres populations végétaliennes, comme nous le verrons plus loin. Cet apport élevé en protéines
 122 végétales chez les végétaliens était en grande partie attribuable à un apport élevé d'aliments riches
 123 en protéines, comme les légumineuses, dans un régime alimentaire global qui était également riche
 124 en produits céréaliers complets, noix et graines.

125 Enfin, nous avons observé que le gradient de l'apport en protéines dans la gamme des régimes
 126 végétariens est probablement dû à un apport élevé en protéines animales dans un régime de fond
 127 occidental ; ceux qui passent d'un régime occidental riche en protéines animales à un régime
 128 végétarien peuvent être amené à choisir des aliments protéiques végétaux dont les teneurs en

129 protéines sont plus faibles que ceux qui sont culturellement habitués aux régimes végétalisés plus
 130 traditionnels. Ce point sera discuté plus en détail ci-dessous.



131

132

133

Figure 1. Apport en protéines (g/j) dans l'étude Adventist Health Study 2. De Rizzo et coll. [9] avec permission.

134

2. Adéquation générale de la teneur en protéines dans les régimes végétariens

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

L'apport plus faible en protéines des régimes végétariens est-il trop faible pour couvrir le besoin en protéines ? Il se trouve que, dans l'ensemble de la population, les apports en protéines sont élevés. Dans les pays occidentaux ayant les revenus les plus élevés, l'apport en protéines a fortement augmenté au cours du siècle dernier, parallèlement à une consommation croissante de produits animaux, et notamment de viande [16]. Cette augmentation de la contribution des produits d'origine animale à l'apport énergétique total est un élément central de la transition nutritionnelle qui a affecté les pays occidentaux au 20^e siècle et qui se poursuit dans les pays en développement [17]. Par exemple, l'apport total en protéines en Espagne est passé de 79 g en 1961 à 106 g en 2009, tandis que la proportion de protéines animales passait de 33% à 61%, selon les bilans alimentaires de la FAO [F. Mariotti, d'après 18]. Dans la plupart des pays industrialisés, l'apport protéique de la population adulte générale atteint ~100 g par jour, soit 1,3-1,4 g/kg/jour correspondant à un apport énergétique total de ~16% [19-21]. Cependant, selon le pays, la région ou le sexe, l'apport total en protéines varie peu dans la population générale (qui consomme de la viande), demeurant dans la fourchette de 13 à 18% de l'apport énergétique [10, 20]. Dans la population adulte générale des pays occidentaux, l'apport moyen en protéines (~1,3 g/kg/jour) est environ le double du besoin moyen estimé (0,66 g/kg/jour). Par conséquent, en comparant l'apport en protéines dans l'ensemble de la population avec la répartition des besoins, on a conclu que presque tous les habitants des populations occidentales couvrent leurs besoins individuels [22]. Dans ce contexte, on s'attend à ce que, bien que l'apport en protéines soit très souvent plus faible avec un régime végétarien, il soit tout de même suffisant. Dans les faits, il n'y a eu que quelques études qui ont directement rapporté des estimations de l'adéquation des protéines dans les populations végétariennes. Comme nous l'avons déjà mentionné, les lacto-ovovégétariens (ou végétariens non végétaliens) ont un apport en protéines qui représente environ 14 % de l'apport énergétique dans les études EPIC-Oxford et Nutrinet, ce qui se traduit par 1,04 g/kg

158 de poids corporel, soit 70 g/jour. D'après cette simple estimation, qui est beaucoup plus élevée que la
159 référence nutritionnelle de population (anciennement « apport nutritionnel recommandé ») de 0,8
160 g/kg de poids corporel, on s'attend à ce que peu de personnes aient des apports inférieurs à leurs
161 besoins, bien que l'apport en protéines varie considérablement au sein des populations. La prévalence
162 de l'insuffisance protéique a été calculée au cours de l'étude EPIC-Oxford à l'aide de la méthode de
163 coupure au besoin nutritionnel moyen, BNM), et les auteurs ont ainsi estimé qu'il pouvait s'agir de
164 10 % chez les hommes et de 6 % chez les femmes (comparativement à 3 % chez les hommes mangeurs
165 de viande et à 1 % chez les femmes). Dans l'ensemble, bien qu'il y ait certaines incertitudes quant à
166 ces estimations, elles peuvent permettre de penser qu'une proportion légèrement plus élevée de lacto-
167 ovo-végétariens que de mangeurs de viande pourrait avoir des apports en protéines qui ne
168 couvriraient pas leurs besoins individuels.

169 Le niveau d'insuffisance pourrait-il être plus élevé chez les végétaliens, qui ont des apports plus
170 faibles ? Pour répondre à cette question, nous avons d'abord recueilli des estimations des apports en
171 protéines de la littérature parmi les sous-échantillons de végétaliens, en observant les trois plus
172 grands échantillons (EPIC-Oxford, Nutrinet et AHS-2) ; afin d'élargir cet aperçu, des données de deux
173 études plus petites ont également été incluses (Tableau 3). La plupart des études ont rapporté un
174 apport moyen en protéines de ~13-14% d'énergie, ce qui est nettement supérieur au seuil de 10%
175 considéré comme la limite inférieure de l'intervalle d'apport acceptable [23, 24]. De même, les apports
176 moyens variaient de 62 g/j à 82 g/j, bien au-dessus des 50 g, qui sont souvent considérés comme une
177 valeur de référence, bien que très approximative. Au-delà des simples comparaisons entre les
178 moyennes globales, deux études ont fourni des comparaisons d'échantillons de population avec des
179 valeurs de référence. Dans l'échantillon français de Nutrinet-Santé, 27% des végétaliens avaient des
180 valeurs inférieures à 10% d'énergie. Toutefois, une comparaison avec cette référence en % de l'énergie
181 ne reste qu'une évaluation indirecte. Dans l'échantillon EPIC-Oxford, les proportions de végétaliens
182 ayant un apport en protéines inférieur à leurs besoins (selon la méthode du BNM) étaient de 16,5%
183 chez les hommes et de 8,1% chez les femmes. Nous avons estimé les intervalles de confiance à l'aide
184 de la taille des échantillons et des estimations de prévalence à [12,1 ; 20,9] pour les hommes et [5,8 ;
185 10,4] pour les femmes. Les résultats de ces enquêtes tendent à indiquer qu'une petite fraction des
186 végétaliens peut avoir un apport insuffisant en protéines, et ce phénomène peut être masqué par un
187 apport beaucoup plus élevé et très suffisant dans la population générale des végétaliens. En d'autres
188 termes, l'évaluation de l'état nutritionnel des végétaliens est entravée par la difficulté d'identifier avec
189 précision les apports très variables au sein de la population végétalienne et d'être en mesure de
190 différencier avec précision les individus dont les besoins en protéines sont élevés par rapport à ceux
191 qui le sont moins. Dans cet échantillon, l'apport moyen était de 0,99 g/kg de poids corporel, ce qui est
192 beaucoup plus élevé que la RNP de 0,83 (la valeur qui satisfait ou dépasse le besoin de 97,5 % de la
193 population), et pourtant pour 16,5 % des hommes et 8,1 % des femmes l'apport est estimé inférieur
194 au BNM de 0,66 g/kg, qui est certes un apport assez faible.

195
196

197
198**Tableau 3.** Apport moyen en protéines des végétaliens d'après différents échantillons de la littérature.

Etude	Apport en protéines			Végétariens (n)	Méthode	Réf.
	%E	g	g/kg _{pc}			
EPIC-Oxford (Royaume-Uni)	13.1	64g ¹	0.99	803	FFQ ²	[5, 25]
Nutrinet (France)	12.8	62g		789	Multiples 24 heures R	[6]
AHS-2 (Amérique du Nord)	14.1	71g		5694	FFQ	[Rizzo, 2013 #3455]
Une étude belge	14	82g		102	FFQ	[26]
Une enquête danoise	11.1 ¹	67g		70	4-d pondéré Enregistrement	[Kristensen, 2015 #3959]
Référence nutritionnelle	>10 (environ)	50 (environ)	0,83 (exactement)			

199 ¹ Tel que calculé par nous-mêmes ; ² FFQ : Food Frequency Questionnaire ; 24-h R : 24-h records.

200 À cet égard, les résultats de l'étude de l'AHS-2 étaient encore une fois différents de ceux d'autres
 201 études portant sur d'autres populations. Il n'y a pas eu d'estimation de la prévalence de l'insuffisance
 202 protéique dans cette population, mais des informations ont été fournies par les valeurs du 5e centile
 203 pour la population végétalienne, où les apports en protéines étaient de 54 g/j chez les non-végétariens,
 204 de 53 g/j chez les lacto-ovo-végétariens et de 52 g/j chez les végétaliens. Dans ce dernier cas, l'apport
 205 en protéines en pourcentage de l'énergie était de 10,1 % au 5e centile. Au total, il apparaît donc que
 206 même les apports les plus faibles étaient généralement supérieurs à la valeur de référence, ce qui
 207 permet de conclure que leur apport en protéines était probablement très suffisant, à l'exception d'un
 208 très faible pourcentage de la population végétalienne dans cette enquête, c'est-à-dire que les chiffres
 209 sont du même ordre de grandeur que ceux que l'on trouve habituellement dans la population
 210 générale. Notez que cette constatation n'est peut-être pas spécifiquement une question d'insuffisance
 211 d'apport en protéines, mais qu'elle pourrait aussi être une conséquence d'une insuffisance d'apport
 212 énergétique. La raison pour laquelle ces résultats diffèrent de ceux de l'EPIC-Oxford reste incertaine.
 213 Comme nous l'avons déjà noté, l'apport moyen en protéines chez les végétaliens était plus élevé dans
 214 l'étude AHS-2 que dans l'étude EPIC-Oxford (Tableau 3), ce qui pourrait signifier que l'ensemble de
 215 l'échantillon avait un apport plus élevé. Cela peut également signifier que les végétaliens AHS-2 sont
 216 plus homogènes, avec moins de variance dans leur apport en protéines, de sorte que très peu de
 217 personnes avaient un très faible apport en protéines. On pourrait s'y attendre parce que la population
 218 totale de l'AHS-2 (c.-à-d. incluant les végétariens et les non-végétariens) est déjà plus homogène en
 219 termes de régime alimentaire que la population de l'EPIC-Oxford [13], ce qui était également
 220 conforme au fait que les adventistes vivent dans des communautés au contexte culturel plus fort.

221 *Limites de l'estimation de l'insuffisance protéique à partir d'enquêtes sur l'apport alimentaire*

222 Toutes les estimations de la prévalence de l'insuffisance protéique doivent être considérées avec
 223 prudence, étant donné les limites bien connues de l'estimation des apports en nutriments à partir des
 224 enquêtes sur l'alimentation. Ces estimations sont influencées par des incertitudes et des biais qui ont
 225 tendance à s'ajouter (p. ex. erreurs dans la fréquence, la taille des portions, la composition

226 nutritionnelle, etc.). En ce qui concerne l'apport en protéines, les méthodes classiques (rappels ou
227 enregistrements répétés sur 24 heures, ou questionnaires de fréquence alimentaire) offrent une bonne
228 précision pour classer les sujets dans des catégories d'apports relativement plus élevés par rapport
229 aux apports plus faibles, mais elles restent peu précises pour estimer les quantités absolues
230 consommées par les individus. Lorsque l'on fait des estimations quantitatives d'aliments ou de
231 nutriments individuels, ces incertitudes sont particulièrement importantes aux extrémités inférieures
232 et supérieures de la distribution ; les problèmes d'estimation précise des apports usuels suggèrent
233 que la distribution des apports dans la population n'est pas si grande. Il est difficile de quantifier ou
234 de caractériser les erreurs dans les plages extrêmes de l'apport en protéines (comme le niveau le plus
235 bas) parce que, naturellement, peu de ces données sont disponibles et que les méthodes de validation
236 elles-mêmes ne sont pas exemptes d'erreurs [27-30]. Lors de l'estimation de la prévalence d'un apport
237 insuffisant à l'aide de méthodes standards, il y a une tendance à surestimer la proportion d'individus
238 ayant un apport insuffisant [31 , 32]. Ce problème est connu pour être moins marqué pour les
239 protéines (qui sont largement et fréquemment consommées) que pour les autres nutriments [32], mais
240 les incertitudes peuvent être plus grandes chez les végétaliens parce que leur apport en protéines est
241 réparti sur un plus grand nombre de contributeurs et peut donc être estimé avec un degré de
242 précision moindre à partir d'un questionnaire de fréquence alimentaire. Il serait intéressant
243 d'examiner la distribution conjointe de l'apport énergétique et de l'apport en protéines dans les études
244 qui ont étudiées les régimes végétariens, mais on ne dispose généralement pas de données détaillées
245 sur la distribution de l'apport protéique et énergétique. De nombreuses études, même après avoir
246 exclu les sous-déclarants évidents, conservent des données d'apports énergétiques estimés très
247 faibles pour une fraction de la population, si bien qu'une partie correspond sûrement à des sous-
248 estimations de l'apport énergétique réel. De telles erreurs sont logiquement associées à une sous-
249 estimation des apports en protéines, ce qui tend à surestimer la prévalence de l'insuffisance protéique.
250 Par exemple, le 5e centile de l'apport énergétique chez les végétaliens dans l'étude AHS-2 était de 910
251 kcal par jour, ce qui serait bien sûr très insuffisant pour maintenir le poids, même chez les femmes
252 de petite taille et peu actives. Dans ces populations, les auteurs ont corrigé et normalisé les
253 estimations de l'apport en nutriments à 2000 kcal/j afin d'éviter que cette erreur ne se répercute. Il est
254 à noter que cette correction est probablement insuffisante dans la mesure où l'apport énergétique
255 moyen, tel que déterminé par des études sur l'eau doublement marquée, est probablement beaucoup
256 plus élevé [33]. De façon générale, il a été démontré que la sous-déclaration et les méthodes
257 imparfaites de gestion de la sous-déclaration ont une incidence sur les estimations de l'apport en
258 nutriments, avec surestimation de la prévalence de l'insuffisance en protéines [34].

259 Enfin, à partir des données alimentaires dont nous disposons, nous pouvons déduire deux
260 éléments d'information complémentaires. Premièrement, certains végétaliens de la population
261 générale risquent d'avoir un apport en protéines inférieur aux besoins estimés, bien qu'il faille
262 recueillir des données plus précises pour évaluer avec précision la proportion de la population dans
263 cette partie inférieure de la distribution. Dans ce contexte, un apport faible en protéines peut aussi
264 être primairement dû à un apport énergétique insuffisant. Deuxièmement, la plupart des végétariens
265 (y compris les végétaliens) ont un apport adéquat en protéines dans l'ensemble et certains des
266 individus de cette population ont des niveaux d'apport particulièrement élevés, ce qui est conforme
267 aux autres analyses [10, 26, 35]. L'hétérogénéité de ces populations est en effet un résultat clé. Il serait
268 intéressant de conduire des études portant sur les facteurs qui expliquent cet apport faible (ou élevé)
269 en protéines chez certains végétariens.

270 3. Adéquation des acides aminés dans les régimes végétariens

271 On pense souvent, bien qu'à tort, que l'apport en acides aminés des régimes végétariens peut
272 être insuffisant. Comme nous et d'autres l'avons fait valoir, les quantités et les proportions d'acides
273 aminés consommées par les végétariens et les végétaliens sont généralement plus que suffisantes
274 pour couvrir les besoins quotidiens individuels, à condition qu'une variété raisonnable d'aliments
275 soit consommée et que les besoins énergétiques soient satisfaits. L'allégation selon laquelle certains
276 acides aminés spécifiques sont « manquants » dans les aliments d'origine végétale est manifestement

277 fausse. Tous les aliments végétaux contiennent les 20 acides aminés, y compris les 9 acides aminés
278 indispensables [33]. Il serait déjà moins inexact de dire que le profil de distribution des acides aminés
279 est moins optimal dans les aliments d'origine végétale que dans les aliments d'origine animale quand
280 on le compare au profil du besoin. La lysine est présente dans les céréales dans des proportions
281 beaucoup plus faibles que les proportions optimales pour les besoins de l'Homme et, de même, les
282 acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) sont proportionnellement très légèrement plus faibles
283 dans certaines légumineuses comparé aux besoins de l'Homme. Cette situation pourrait avoir des
284 implications pour quelqu'un qui ne mangerait que du riz ou que des haricots pour se nourrir tous les
285 jours. Evaluer la qualité des protéines à partir d'un raisonnement qui est uniquement centré sur les
286 protéines isolées demeure une approche erronée en pratique, mais c'est pourtant le modèle dominant
287 [36, 37]. En somme, les termes " complet " et " incomplet " sont trompeurs [33 , 38]. Dans les régimes
288 des pays développés, les protéines végétales sont mélangées, en particulier dans les régimes
289 végétariens, et l'apport total en protéines tend à dépasser largement les besoins. Il en résulte que les
290 apports en chacun des 9 acides aminés indispensables sont plus que suffisants pour couvrir
291 les besoins. Dans l'étude EPIC-Oxford, les apports en acides aminés ont été estimés chez les mangeurs
292 de viande et les végétariens [25]. Pour les lacto-ovo-végétariens et les végétaliens évalués, sur la base
293 d'un poids corporel moyen de 65 kg, nous avons calculé que les apports en lysine étaient de 58 et 43
294 mg/kg, respectivement, ce qui est largement supérieurs au besoin moyen estimé de 30 mg/kg [39].
295 Un apport insuffisant en lysine n'est donc pas attendu dans ces populations. Certes, un apport
296 insuffisant en lysine pourrait être plus probable chez les végétaliens où une très forte proportion de
297 leur apport en protéines provient uniquement des céréales. Cependant, en pratique, même en
298 mangeant un régime à base de plantes qui serait d'une variété limitée, des quantités relativement
299 importantes de protéines proviennent de la forte consommation d'aliments faibles en protéines tels
300 que les légumes et les fruits [11].

301 Un autre facteur à considérer est le taux différent de digestibilité des protéines qui a un impact
302 sur la disponibilité des acides aminés, souvent considérés comme étant plus faibles pour les protéines
303 végétales. Cela reste un sujet de débat. Il y a très peu de preuves à l'heure actuelle d'une différence
304 marquée dans la digestibilité des protéines chez l'Homme. Les données plus précises recueillies
305 jusqu'à présent chez l'homme, évaluant la digestibilité oro-iléale réelle (spécifique) de l'azote, ont
306 montré que les différences de digestibilité entre les sources de protéines végétales et animales ne sont
307 que de quelques pour cent, contrairement aux résultats historiques chez le rat ou aux déterminations
308 utilisant des méthodes moins précises chez l'homme [37]. Pour l'isolat de protéine de soja, la farine
309 ou l'isolat de protéine de pois, la farine de blé et la farine de lupin, les chiffres variaient entre 89 à 92
310 %, semblables à ceux trouvés pour les œufs (91 %) ou la viande (90-94 %), et légèrement inférieurs à
311 ceux rapportés pour les protéines du lait (95 %). Il est important de noter que la plupart des protéines
312 végétales étudiées provenaient de sources crues, non traitées (non chauffées ou chauffées au
313 minimum) et que certaines ont été ingérées dans des matrices alimentaires complexes comme la
314 farine (non chauffée) [37], c'est-à-dire dans les pires conditions pour les protéines végétales (en raison
315 de la présence des inhibiteurs tryptiques et de la faible accessibilité de certaines protéines natives
316 quand les produits ne subissent pas un traitement thermique). Bien que d'autres recherches puissent
317 être justifiées pour explorer les variations possibles dans la biodisponibilité de certains acides aminés
318 spécifiques, l'ensemble des éléments scientifiques disponibles à l'heure actuelle ne montre pas une
319 différence suffisamment grande pour suspecter des répercussions sensibles sur l'absorption d'acides
320 aminés pour les régimes végétariens et les régimes à dominante végétale.

321 Enfin, si jamais les proportions de l'apport en acides aminés spécifiques provenant de régimes
322 végétariens étaient insuffisantes pour répondre aux besoins en protéines totales aux niveaux de RNP
323 déclarés de 0,8 g/kg de poids corporel, il faudrait alors établir une RNP distincte, plus élevée, pour
324 les végétariens. Ce cas de figure est cependant en désaccord avec les données qui ont été précisément
325 utilisées pour estimer directement les besoins en protéines. Dans une méta-régression d'études sur le
326 bilan azoté chez l'Homme, Rand et coll. [40] ont examiné les sources de protéines dans trois groupes
327 distincts : animaux, végétaux et mixtes. Ils n'ont trouvé aucune différence concernant la pente ou
328 l'intercept du bilan azoté dans ces trois sous-groupes, ce qui suggère que les besoins en protéines

329 totales sont similaires pour les régimes à base de plantes ou de produits animaux [39, 40]. Lors de
 330 l'interprétation de ces résultats, il est toutefois important de noter que les régimes "végétaux" de la
 331 meta-analyse comprenaient des mélanges de protéines végétales (céréales et légumineuses) ou de
 332 protéines de soja de bonne qualité ; il n'y avait pas de régimes à base de riz seulement ou de haricots
 333 seulement. Par conséquent, les données probantes suggèrent que le besoin en protéines est similaire
 334 à celui des régimes végétariens occidentaux en général [41] ou à celui des régimes riches en céréales
 335 et en légumineuses [42]. Dans l'ensemble, lorsque les régimes alimentaires sont au moins légèrement
 336 variés, il serait très superflu de suggérer que les végétariens devraient s'assurer d'obtenir un apport
 337 total en protéines plus élevé que la référence nutritionnelle ou qu'il faudrait porter une attention
 338 stricte au choix d'aliments végétaux ayant des profils d'acides aminés complémentaires.

339 **4. Il n'y a aucune preuve de carence en protéines chez les végétariens des pays occidentaux.**

340 Parce que l'évaluation de la couverture du besoin en protéines reste difficile, on peut espérer se
 341 rabattre sur des données d'évaluation directe de l'état nutritionnel, et donc s'interroger sur l'existence
 342 de marqueurs biologiques ou physiologiques d'un apport insuffisant en protéines chez les
 343 végétariens. Les effets d'un régime végétarien sur le métabolisme et le statut protéique ont été étudiés
 344 dans un petit nombre d'études. Un exemple de preuve d'une différence concernant le métabolisme
 345 des protéines selon le type de régime alimentaire a été fourni dans l'essai contrôlé pionnier réalisé
 346 par Caso et coll. [43]. Les auteurs ont mesuré le taux de synthèse de l'albumine chez l'homme sain
 347 après 10 jours de consommation d'un régime contenant 78g de protéines provenant principalement
 348 de protéines animales (74% animales) ou végétales (67% végétales), ce dernier groupe étant qualifié
 349 de "végétarien". Ils ont constaté que le régime végétarien réduisait la synthèse d'albumine de 13±13%.
 350 Ils ont également montré que cette diminution a été atténuée lorsque l'apport en protéines a été porté
 351 à 96 g dans le régime végétarien. On aurait pu s'attendre à ce qu'une telle diminution de la synthèse
 352 d'albumine entraîne une baisse de la concentration plasmatique d'albumine. Toutefois, les auteurs
 353 ont constaté une baisse très modérée (2,5 %). Cela peut s'expliquer notamment par le fait que
 354 l'alimentation a été donnée pendant une période trop courte. Néanmoins, d'autres auteurs n'ont
 355 trouvé aucune différence dans la concentration d'albumine en comparant les populations
 356 végétariennes et non végétariennes [44] et en fait, dans une étude, des concentrations plus élevées
 357 (5%) ont été rapportées chez les végétaliens [45]. On ne sait pas la raison d'une concentration plus
 358 élevée d'albumine chez les végétaliens ; une possibilité pourrait être un taux de renouvellement
 359 différent de l'albumine plasmatique ; une autre pourrait être une réallocation à long terme de la
 360 synthèse des protéines exportées par le foie, les végétariens présentant des niveaux inférieurs de
 361 protéines plasmatiques pro-inflammatoires [46 , 47]. Les rapports historiques sur cette question
 362 remontent aux années 1950. En 1950, Mirona a rapporté qu'un groupe de végétariens consommant 50
 363 g de protéines totales plus environ 6 g de protéines animales était en bonne santé apparente, comme
 364 l'indiquaient leurs marqueurs hématologiques et biochimiques sanguins normaux (y compris les
 365 concentrations sériques en albumine) et cela a été considéré comme une indication précoce qu'une
 366 combinaison de protéines végétales pouvait remplacer les protéines animales [48 , 49].

367 Peu d'études ont analysé l'anabolisme postprandial chez les personnes recevant un régime à
 368 base de protéines végétales mélangées comparé à un régime à base de protéines animales. La plupart
 369 des données ont été obtenues sur des protéines isolées, comme le blé et le soja, et ces études ont
 370 rapporté une stimulation plus faible de la rétention de l'azote ou de l'anabolisme musculaire
 371 comparativement aux protéines animales [50 , 51]. Il a notamment été démontré depuis de
 372 nombreuses années que l'utilisation d'une seule protéine végétale isolée pour l'anabolisme des
 373 protéines (corps entier) pendant la période postprandiale est meilleure que ce qui peut être prédit à
 374 partir de leur composition en acides aminés, qui est proportionnellement faible pour un acide aminé
 375 (comme la lysine pour le blé), si on se réfère à ce qui pouvait être attendu à partir du modèle de
 376 référence fondé sur les besoins en acides aminés [52 , 53]. Conformément aux données antérieures
 377 [54], on peut considérer que ces résultats illustrent que la synthèse des protéines chez les adultes n'est
 378 pas très sensible postprandialement à la composition spécifique en acides aminés par rapport aux
 379 besoins quotidiens en acides aminés. En effet, il n'existe pas de véritable réservoir de certains acides

380 aminés spécifiques qui pourrait être utilisé entre les repas pour lisser les apports variables de chaque
381 acide aminé à chaque repas. Ce tampon fonctionne de manière limitée, et en partie par l'intermédiaire
382 de réserves totales d'acides aminés libres. Il a été suggéré que la réserve relativement importante de
383 lysine libre (comparativement à la leucine et à d'autres acides aminés indispensables) permet le
384 recyclage de la lysine pendant le cycle diurne, ce qui à son tour permet la conservation de la lysine
385 entre les repas, au moins dans une certaine mesure [53]. Ceci est conforme à une étude antérieure
386 chez le rat qui a montré que l'utilisation d'un supplément de lysine ajouté à un régime alimentaire
387 déficient sur 24 heures était similaire à celle de la lysine administrée 12 heures après un régime
388 déficient [55]. Les preuves que cela fonctionnerait pendant plus de 24 heures restent rares, mais un
389 tel mécanisme expliquerait une baisse du besoin net en lysine pour l'entretien des tissus quand de
390 plus faibles quantités de lysine sont consommées, selon le modèle théorique bien posé de Millward et
391 Rivers [56]. Il a également été suggéré que les variations de l'apport en cystéine peuvent être
392 tamponnées en raison de l'implication de la cystéine dans d'autres voies, et notamment en raison de
393 l'existence d'un grand réservoir de cystéine sous forme de glutathion [52]. Par contre, on sait que le
394 tryptophane est étroitement régulé et qu'il possède un petit réservoir qui est rapidement renouvelé,
395 ce qui réduit son potentiel à amortir les variations de l'apport [55]. Cependant, le tryptophane est
396 présent en quantités similaires dans les protéines végétales et animales et en quantités très élevées
397 par rapport aux besoins [57]. Par conséquent, il n'y a encore aucune preuve que des protéines
398 végétales isolées (qui peuvent être seulement pauvres en lysine et très occasionnellement et de façon
399 limitée en méthionine) doivent être supplémentées avec d'autres protéines au cours d'un même
400 repas, et il semble plus approprié de considérer une variété raisonnable de sources au cours de la
401 journée [38, 54]. Mélanger des sources de protéines complémentaires dans le même repas peut
402 simplement être un moyen pratique d'assurer l'adéquation à long terme si et quand l'apport total en
403 protéines est faible.

404 Dans les études qui ont utilisées expérimentalement des mélanges de protéines végétales pour
405 imiter les régimes végétariens, certains chercheurs ont signalé des tendances à des différences
406 concernant le métabolisme des protéines (comme une moindre diminution postprandiale de la
407 dégradation des protéines lorsque les régimes végétariens sont consommés). Cependant, il n'y a eu
408 aucune preuve de répercussion sur le bilan azoté, ce qui fait qu'il est difficile de spéculer si ces effets
409 des sources de protéines ont des implications biologiques [58]. Les preuves de différences dans la
410 masse maigre ou musculaire demeurent anecdotiques et proviennent de petites études transversales
411 [59] et la signification clinique de ces différences potentielles est très incertaine.

412 La conclusion générale de cette revue de la littérature est que le mélange des sources de protéines
413 végétales, comme cela est pratiqué généralement par les végétariens, annihile tout risque
414 d'insuffisance tel que pointé par les études ayant utilisées des sources uniques [50] ; il n'est donc pas
415 étonnant qu'il n'y ait aucune preuve du manque de protéines dans les populations végétales dans les
416 pays occidentaux.

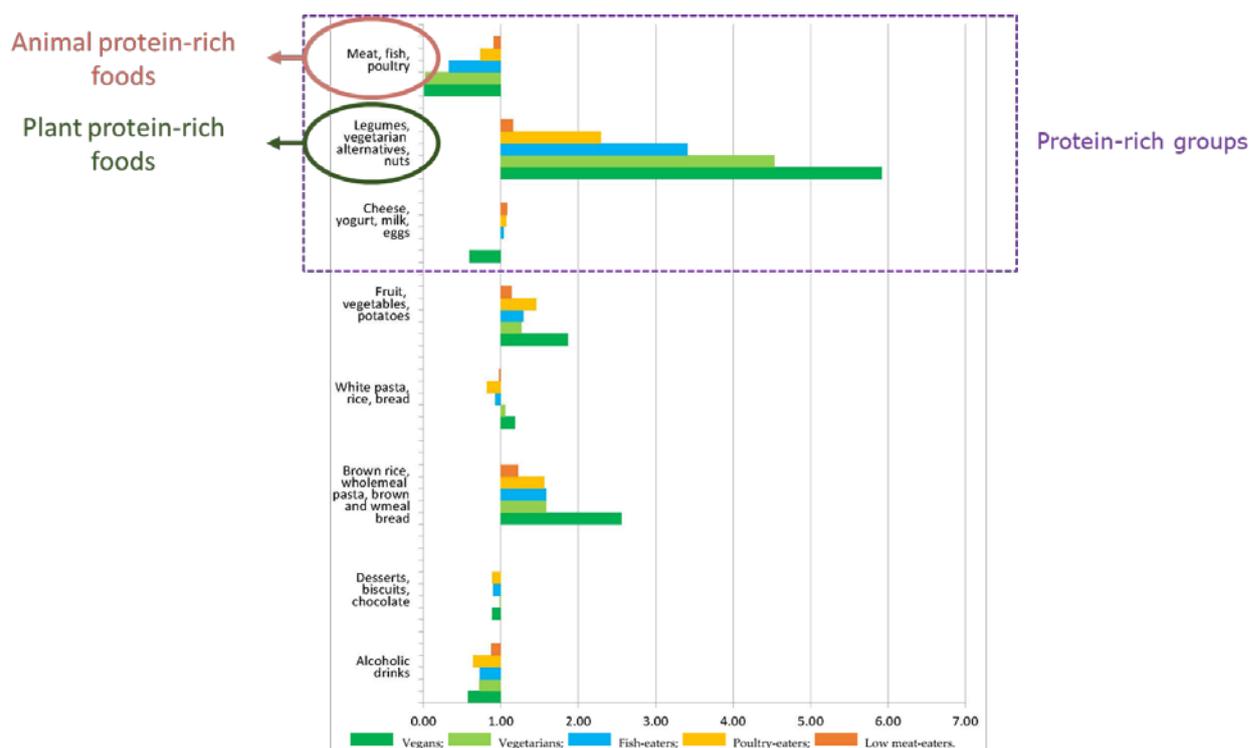
417 Nous concluons que les apports en protéines provenant de régimes végétariens sont suffisants,
418 sauf peut-être chez une fraction de végétariens qui ne consomment pas suffisamment d'énergie ou
419 qui, pour une raison quelconque, bannissent les sources végétales riches en protéines comme les
420 légumineuses, les noix et les graines ou encore les analogues riches en protéines. Les apports en acides
421 aminés sont suffisants et l'apport en lysine ne pourrait être limitant que chez les personnes
422 végétaliennes qui ont un faible apport en protéines et dont le régime serait très faible et monotone,
423 avec des protéines qui ne proviendraient que des céréales - une situation peu réaliste dans les pays
424 développés.

425 **5. Sources de protéines végétales dans les régimes végétariens classiques et leçons sur les** 426 **tendances futures vers les régimes végétariens**

427 Les régimes végétariens classiques impliquent l'utilisation de produits alimentaires riches en
428 protéines. En ce sens, les régimes végétariens classiques des pays industrialisés s'inscrivent dans une
429 perspective historique, partageant une histoire avec les principaux plats qui ont permis aux
430 populations de prospérer. Les légumineuses, en complément des céréales, sont probablement l'une

431 des plus anciennes caractéristiques de la "nutrition culturelle ", et elles ont été conservées dans les
432 régimes végétariens des pays occidentaux tout en étant abandonnées par la population générale en
433 faveur de la viande au XXe siècle. De nombreux plats traditionnels qui sont des aliments de base dans
434 de nombreuses cultures à travers le monde combinent les céréales avec les légumineuses ou les
435 produits laitiers, comme le blé et les pois chiches (du couscous), divers pains ou pâtes avec du
436 fromage, ou encore le célèbre riz et haricots, qui a une inscription mondiale. Les légumineuses ont
437 été au centre de nombreuses cultures dans le monde entier. Ils sont connus pour compléter les
438 céréales à faible apport en protéines, mais ce qui est plus important, c'est que les légumineuses sont
439 riches en protéines et qu'elles sont donc un composant important des régimes végétariens classiques.
440 L'industrie a également mis au point des analogues végétaux à des aliments d'origine animale qui
441 sont utilisés depuis longtemps par les communautés végétariennes, en particulier des analogues pour
442 les viandes et les produits de charcuterie destinés aux végétariens (par exemple, les galettes
443 végétariennes) ou des analogues laitiers pour les végétaliens (produits à base de soja comme le tofu),
444 et ils sont généralement comparables en termes de contenu en protéines. Enfin, les produits classiques
445 comme les légumineuses et les produits plus récents comme les analogues offrent depuis longtemps
446 des sources adéquates de protéines pour la consommation des végétariens.

447 Dans l'étude Nutrinet, alors que les mangeurs de viande consommaient 47,1 g de viande et 11,5
448 g de légumineuses, les végétaliens consommaient 73 g de légumineuses et 63 g de protéines de soja
449 texturées et de galettes végétariennes, en plus des produits céréaliers. Un rapport antérieur sur les
450 adventistes végétaliens avait également révélé des apports élevés de légumineuses et d'analogues
451 [45] et une analyse plus récente (AHS-2) a confirmé que les végétaliens avaient des apports très élevés
452 en légumineuses, en aliments à base de soja et en analogues de viande ainsi qu'en noix et graines [60].
453 Dans cette population adventiste, la consommation de ces aliments riches en protéines par les
454 végétaliens était environ le double de celle des non-végétariens, alors que ces derniers avaient un
455 régime alimentaire prudent avec des apports relativement élevés de ces aliments riches en protéines
456 végétales par rapport à une population générale non végétarienne. En revanche, comparé à une
457 population plus générale, il a été rapporté que les végétaliens dans l'étude de la Biobanque
458 britannique avaient des apports en légumineuses, en alternatives végétariennes et en noix qui étaient
459 ~6 fois plus élevés que ceux des mangeurs de viande réguliers [61]. Il y a également eu une
460 augmentation de la consommation d'aliments riches en protéines végétales, reflétant la réduction des
461 aliments à base de protéines animales, avec des étapes correspondant aux types diététiques selon un
462 spectre gradué incluant les régimes végétariens (Figure 2). Des tendances similaires ont été observées
463 dans l'étude EPIC-Oxford [62].



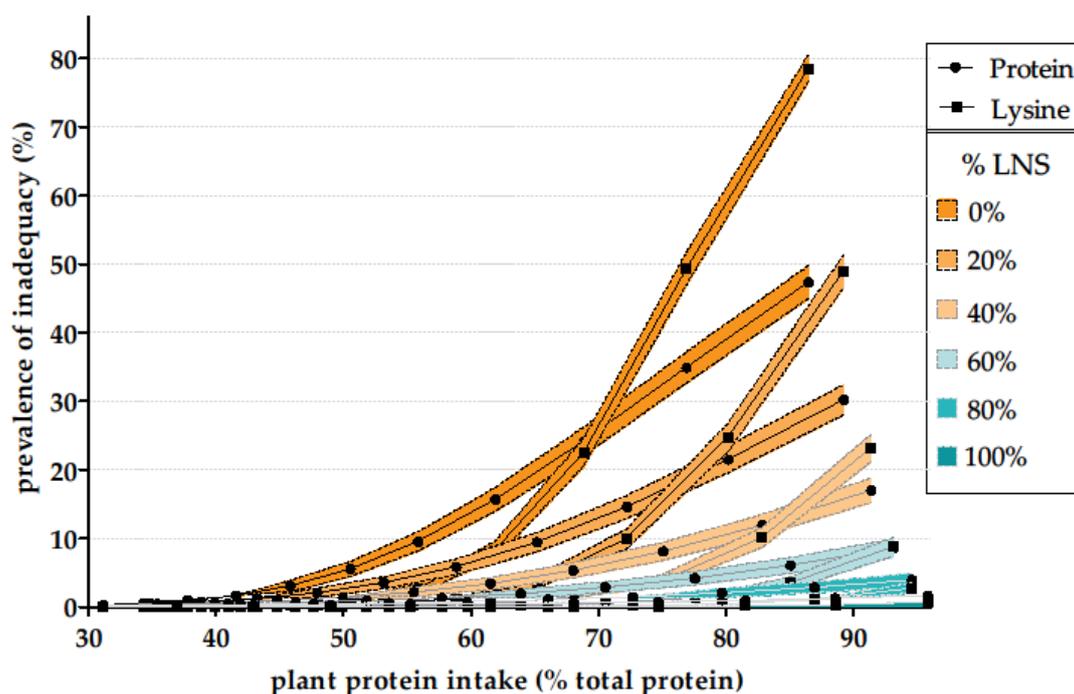
464

465 **Figure 2.** Consommation relative des groupes alimentaires (g) chez les Hommes à faible
 466 consommation de viande, de volaille, de poisson, les lacto-ovo-végétariens et les végétaliens par
 467 rapport aux Hommes à consommation régulière de viande dans l'étude EPIC-Oxford. La
 468 consommation moyenne par rapport aux mangeurs réguliers de viande (1,00) est indiquée pour
 469 chaque groupe alimentaire après ajustement pour l'âge. Les apports des groupes alimentaires riches
 470 en protéines animales ou végétales sont cerclés. Adapté de Bradbury et coll. [61].

471 Les régimes végétariens sont variés dans les pays occidentaux. Comme nous l'avons déjà
 472 discuté, l'apport en protéines diffère selon les végétariens, selon leurs différents modes de
 473 consommation [63]. Il serait intéressant que de prochaines études puissent analyser précisément si le
 474 sous-ensemble de végétariens ayant les apports les plus faibles en protéines évite ou limite les
 475 aliments végétaux les plus riches en protéines comme les légumineuses ou les analogues pour une
 476 raison quelconque, et si ces aliments sont nécessaires pour la consommation de protéines aux niveaux
 477 requis chez ceux ayant les apports les plus faibles en protéines. La grande inconnue est de savoir
 478 comment la transition vers plus de protéines végétales et moins de protéines animales se fera dans
 479 les pays ou dans les communautés où il y a peu de culture de base en ce qui concerne les aliments
 480 végétariens. Il est possible que la transition chez certaines personnes nouvellement végétaliennes (p.
 481 ex. celles qui font la transition principalement dans le but de promouvoir les droits et le bien-être des
 482 animaux) [4] implique des préférences pour des aliments à base de plantes particulièrement faibles
 483 en protéines (p. ex. des régimes sans analogues de viande et sans légumineuses) augmentant ainsi
 484 potentiellement le risque que la consommation totale en protéines soit insuffisante. Au-delà de la
 485 portée de cet examen se pose également la question du profil nutritionnel global (p. ex. vitamines,
 486 minéraux) des sources végétales consommées comme solution de rechange aux sources animales. A
 487 ce titre, nous avons récemment montré que les produits céréaliers raffinés, qui constitue la moitié des
 488 apports en protéines végétales de la population française, étaient à écarter pour que la végétalisation
 489 de l'apport protéique débouche sur des améliorations de la qualité nutritionnelle des régimes [64].

490 De la discussion qui précède, nous pouvons conclure que l'apport en protéines des lacto-ovo-
 491 végétariens ou des végétaliens n'est pas principalement une question de composition en acides
 492 aminés spécifiques, mais plus probablement une question d'apport total en protéines. En modélisant
 493 la transition vers les protéines végétales dans une population générale, nous sommes arrivés à la
 494 même conclusion. En effet, lorsque nous avons modélisé le remplacement isoénergétique des
 495 aliments à base de protéines animales par différents types d'aliments et de mélanges à base de

496 protéines végétales dans la population adulte française, nous avons constaté que certains scénarios
 497 de substitution qui consistaient à remplacer les protéines animales par les protéines végétales
 498 actuellement consommées (largement à base de céréales) ont principalement pour effet d'augmenter
 499 le risque de consommation insuffisante de protéines totales plutôt que d'acides aminés individuels
 500 comme la lysine - le risque d'insuffisance d'apport étant toujours très inférieur quand il s'agit des
 501 acides aminés que quand il s'agit des protéines [57]. Cela pourrait s'expliquer par la faible teneur en
 502 protéines (sur énergie) des aliments à base de céréales tels qu'ils sont actuellement consommés dans
 503 la population générale des pays occidentaux. Par conséquent, nous avons constaté qu'en remplaçant
 504 les protéines animales par un mélange d'aliments végétaux riches en protéines (à savoir les
 505 légumineuses, les noix et les graines), une transition en faveur des protéines végétales même jusqu'à
 506 100 % (régime végétalien) pourrait être considérée comme ne comportant pratiquement aucun risque
 507 de consommation insuffisante de protéines, notamment d'acides aminés comme la lysine (figure 3).



508
 509 **Figure 3.** Prévalence de l'inadéquation d'apport en protéines et en lysine (% de la population de
 510 l'étude INCA2, n = 1678) dans les simulations d'une réduction de l'apport en protéines animales en
 511 l'équilibrant progressivement avec la même quantité d'énergie provenant d'une combinaison de
 512 remplacement composée d'aliments végétaux déjà consommés par les individus et un mélange de
 513 légumineuses, noix et graines. Par exemple, les courbes "40 %" montrent la prévalence de
 514 l'inadéquation en protéine et en lysine quand on simule le remplacement des protéines animales par
 515 une combinaison correspondant à 40 % de protéines provenant des légumineuses, des noix et des
 516 graines, et pour les 60 % restant des protéines végétales provenant d'aliments déjà consommés par les
 517 individus. La zone colorée représente l'intervalle de confiance à 95 %. LNS : légumineuses, noix et
 518 graines. Reproduit avec la permission des auteurs [57].

519 6. Le cas de problèmes spécifiques dans des populations spécifiques

520 Il n'y a peu de données concernant les apports en protéines et en acides aminés provenant de
 521 régimes végétariens des adultes en général et trop peu pour évaluer la situation pour des populations
 522 plus spécifiques. Cependant, comme nous le verrons ici, il y a de bonnes raisons de considérer le cas
 523 des personnes âgées comme plus compliqué que celui des adultes, alors que la situation des enfants
 524 est au contraire encore plus simple. Nous présenterons brièvement ces cas et les limites du contexte
 525 tel que nous les connaissons, ainsi que les leçons possibles concernant le passage à des régimes à
 526 haute teneur en protéines végétales.

527 6.1. Les personnes âgées

528 Premièrement, chez les personnes âgées, la question de savoir si le besoin en protéines est
 529 effectivement plus élevé que chez les jeunes adultes ou s'il ne l'est que chez les personnes âgées
 530 fragiles reste débattue [65]. Des détails sur cette controverse et les limites de nos connaissances
 531 actuelles peuvent être trouvés ailleurs [66]. En France, la Référence Nutritionnelle de Population a
 532 été fixée à 1g/kg [22], conformément aux récentes recommandations des groupes de travail [67],
 533 tandis que d'autres agences ont choisi de ne pas endosser une référence nutritionnelle de population
 534 ainsi plus élevée [68], conformément à d'autres rapports [69]. En France, pour la population
 535 généralement non végétarienne des personnes âgées, on estime que même avec un besoin estimé en
 536 protéines aussi élevé, très peu de personnes seraient exposées à un apport insuffisant (3 à 5% de la
 537 population âgée (>65 ans)). Cependant, ce risque augmenterait bien sûr chez les végétariens, et
 538 particulièrement chez les végétaliens, si l'on extrapolait en utilisant le gradient classique de l'apport
 539 en protéines décrit ci-dessus. Le risque augmenterait également chez les adultes encore plus âgés
 540 [70], principalement parce que l'activité physique tend à diminuer avec l'âge, comme l'apport
 541 énergétique, ce qui crée un risque d'apport trop faible en protéines quand le régime alimentaire n'est
 542 pas relativement riches en protéines (au sens du rapport protéine/énergie). Par conséquent, certaines
 543 personnes âgées qui suivent un régime pauvre en protéines animales peuvent avoir un apport en
 544 protéines marginal par rapport à leurs besoins et, comme le prévoit l'approche protéine:énergie, c'est
 545 probablement le cas chez les femmes végétaliennes âgées de petite taille qui ont un mode de vie
 546 inactif [35, 39]. L'apport en protéines est habituellement plus faible chez les personnes âgées
 547 vulnérables, comme celles qui sont institutionnalisées [71] et les besoins en protéines peuvent être
 548 encore plus élevés chez les personnes âgées fragiles qui sont à risque de malnutrition en raison d'une
 549 maladie aiguë ou chronique [67].

550 En outre, il existe de nombreuses preuves que les personnes âgées sont résistantes à la
 551 stimulation anabolique postprandiale par les protéines du repas, et que cette résistance peut être
 552 surmontée en fournissant quotidiennement des protéines sous forme de repas riches en protéines [72,
 553 73]. Un niveau plus élevé d'anabolisme postprandial a été observé chez les personnes âgées (mais pas
 554 chez les jeunes adultes) à la suite d'un seul gros repas protéique par rapport à plusieurs petits repas
 555 [74-76]. On considère généralement que les repas contenant ~30 g de protéines sont nécessaires pour
 556 passer le "seuil anabolique" et optimiser l'anabolisme postprandial [72, 77, 78], et donc favoriser la
 557 masse maigre et la force [79]. Des données récentes de la cohorte NuAge ont toutefois contesté ce
 558 point de vue, montrant qu'une distribution plus uniforme de l'apport en protéines entre les repas
 559 était associée à une masse maigre et une masse maigre appendiculaire plus élevées, ainsi qu'à la force
 560 musculaire, chez les hommes et les femmes âgés [80, 81] ; la distribution plus régulière des protéines
 561 du repas conduisait à des repas apportant généralement moins que 30g de protéines, surtout chez les
 562 femmes. Par ailleurs, les acides aminés indispensables, et en particulier les acides aminés à chaîne
 563 ramifiée, sont considérés comme primordiaux pour provoquer cette réponse anabolique à l'état
 564 postprandial, de sorte qu'un seuil (à 3 g) d'anabolisme maximal a également été proposé pour la
 565 leucine [82], car elle déclenche un signal pour une utilisation anabolique de la majorité des acides
 566 aminés [83, 84]. Ces aspects métaboliques ont des implications pour la nutrition protéique chez les
 567 personnes âgées au-delà de leurs besoins de base en acides aminés et des implications sur notre vision
 568 du potentiel des protéines provenant de différentes sources en termes de nutrition protéique. Pour
 569 obtenir des bénéfices optimaux chez les personnes âgées, un régime alimentaire ne doit pas
 570 seulement contenir suffisamment de BCAA (par rapport à ce qui est nécessaire pour un PDCAAS
 571 élevé), mais les sources alimentaires riches en protéines dans un repas doivent être riches en BCAA.
 572 En effet, la plupart des sources de protéines végétales sont également riches en leucine
 573 comparativement aux protéines animales (c.-à-d. une moyenne de 8 g/100 g, variant de 6 g à 14 g
 574 dans un ensemble de 18 protéines végétales sélectionnées dans la base de données du USDA contre
 575 une moyenne de 9,5 g/100 g, variant de 8 à 12 g dans un ensemble de 6 protéines animales) [37]. Ainsi,
 576 en France, où 31 % des protéines de l'alimentation proviennent de plantes, les protéines végétales
 577 fournissent 26 % de la leucine alimentaire [57]. Ainsi, sauf dans le cas de stratégies très spécifiques
 578 utilisant des protéines végétales particulières très riches en leucine (comme par ex., maïs ou luzerne),

579 il ne devrait pas être nécessaire de mélanger différentes protéines pour préparer des repas ayant une
580 teneur suffisante en leucine [37, 85]. À l'heure actuelle, les repas riches en protéines chez les
581 personnes âgées sont clairement associés à un apport plus élevé en protéines animales [86, 87] et le
582 challenge serait alors surtout de composer des repas riches en protéines à partir de sources végétales.
583 Les stratégies concernant l'utilisation optimale des protéines végétales dans l'alimentation des
584 végétariens âgés demeurent un sujet d'intérêt pour les recherches futures [50, 88].

585 Il faut toutefois reconnaître que, même s'ils sont attendus, les effets à long terme d'une telle
586 modulation postprandiale de l'anabolisme protéique n'ont pas été documentés. Nous ne savons
587 toujours pas comment l'apport en protéines des régimes végétariens peut influencer les marqueurs à
588 long terme de la masse et de la fonction musculaires, la forme physique et, en fin de compte, le risque
589 de sarcopénie, et comment ces processus peuvent interagir avec d'autres facteurs nutritionnels et le
590 mode de vie [89, 90]. Par exemple, seules quelques études d'observation longitudinale ont examiné
591 chez les personnes âgées l'association entre l'apport en protéines totales, animales et végétales et les
592 changements de masse maigre [91-93], et les résultats sont contrastés. Chez 1561 sujets âgés
593 relativement en bonne santé aux États-Unis, âgés d'environ 73 ans à l'entrée dans l'étude et suivis
594 pendant 5 ans, Verreijen et al. ont récemment rapporté que l'apport total en protéines végétales et
595 animales n'était pas associé à des changements de la masse musculaire [94].

596 6.2. Enfants

597 Le cas des enfants contraste nettement avec les questions en jeu chez les personnes âgées.

598 Chez l'enfant, la référence Nutritionnelle pour l'apport en protéines a été fondée sur une
599 approche factorielle, qui consiste à combiner des estimations des besoins d'entretien standards pour
600 un poids corporel spécifique, avec une composante supplémentaire correspondant aux besoins
601 spécifiques provenant des dépôts de protéines pendant la croissance. Cependant, comme on le sait
602 depuis longtemps [95], même chez les très jeunes enfants, le besoin en protéines est principalement
603 déterminé par le besoin net d'entretien plutôt que par celui relatif à la croissance. Chez un enfant de
604 3 ans, la composante supplémentaire pour la croissance n'est que d'environ 10 % des besoins
605 d'entretien [68]. Par exemple, les apports de référence pour les enfants de 1, 2, 3 et 10 ans sont
606 respectivement de 1,14, 0,97, 0,90 et 0,91 g/kg/jour [68]. En revanche, les besoins énergétiques des
607 enfants sont très élevés. Par conséquent, lorsque l'on exprime l'apport protéique de référence en
608 pourcentage de l'énergie apportée par le régime, la valeur diminue graduellement et de façon
609 spectaculaire selon l'âge en partant d'adultes de 18 ans en allant vers les plus jeunes enfants. Ainsi,
610 cet apport de référence représente environ 5 à 6 % de l'apport énergétique apporté par les protéines
611 chez les enfants de 3 à 9 ans, et environ 8 à 9 % chez les enfants plus âgés (10 à 13 ans) [24].

612 L'apport en protéines des enfants dans les pays occidentaux est vraiment très élevé par rapport
613 à ces références. En Europe, l'apport moyen en protéines chez les enfants de 4 à 6 ans est de ~55 g/j
614 [20]. L'apport le plus faible observé chez les enfants européens de cet âge (au 5e centile) est de 32 g/j
615 [96], soit encore plus du double de la référence nutritionnelle de population. Bien qu'un niveau
616 d'apport maximal tolérable n'ait pas encore été fixé, l'Agence française [22] a utilisé le seuil supérieur
617 pour caractériser l'apport en protéines et a estimé que la plupart des enfants, en particulier les plus
618 jeunes, avaient des apports qualifiés de "élevés" ou même "très élevés" (c'est-à-dire dépassant 3,5
619 g/kg/jour, soit 4 fois la référence nutritionnelle).

620 Chez les enfants végétariens, ces apports de référence en protéines en pourcentage de l'énergie
621 alimentaire peuvent être utilisés pour tirer des conclusions sur le risque d'insuffisance protéique chez
622 les jeunes enfants : des apports en protéines inférieurs à 6% d'énergie sont pratiquement impossibles,
623 y compris dans les régimes végétaliens les plus restrictifs, de sorte que l'adéquation de apport
624 alimentaire en protéines est pleinement garanti pour les enfants âgés de 3 à 9 ans dès lors qu'ils
625 consomment assez d'énergie. Pour que le risque existe, il faudrait imaginer un régime alimentaire
626 totalement inapproprié (sans produits céréaliers classiques, sans féculents...). Les conclusions
627 s'appliquent également aux enfants plus jeunes (de 1 à 3 ans) parce que leur besoin plus élevé en
628 protéines (14 % plus élevé) par rapport aux enfants de 3 à 9 ans correspond à leur besoin énergétique
629 plus élevé (14 % plus élevé) [24, 97]. De même, chez les enfants en général, les besoins en acides

630 aminés indispensables sont plus élevés que chez les adultes, mais approximativement proportionnels
631 aux besoins en protéines ; la question des profils en acides aminés dans les régimes à base de plantes
632 est donc fondamentalement la même pour les enfants que pour les adultes, c'est-à-dire que les
633 préoccupations ont été surestimées, comme nous l'avons expliqué plus haut.

634 Enfin, chez les nourrissons dont les besoins en énergie, en protéines et en acides aminés sont
635 élevés, les besoins en protéines sont principalement comblés par l'apport de lait maternel et/ou de
636 préparations commerciales pour nourrissons et, bien évidemment, les nourrissons doivent recevoir
637 ces aliments très spécifiques sinon le risque de malnutrition est très grand [98]. L'alimentation
638 complémentaire des nourrissons de 6 à 12 mois doit également être suffisamment riche en protéines
639 pour qu'elle atteigne 10 % d'énergie et, chez les nourrissons végétariens, elle devrait être assurée en
640 continuant à consommer du lait maternel ou une préparation pour nourrisson [98].

641 7. Adéquation nutritionnelle des régimes végétariens

642 Cette revue n'a pas analysé la relation entre l'apport en protéines des régimes végétariens et
643 l'adéquation nutritionnelle de l'alimentation. Dans les régimes végétariens et les régimes occidentaux
644 généraux, le choix des types ou des catégories d'aliments riches en protéines est un fort déterminant
645 de l'apport global en nutriments et, par conséquent, de l'adéquation nutritionnelle [12, 99-101]. Un
646 autre sujet qui n'a pas été abordé dans cette étude est la relation avec la santé à long terme au-delà de
647 la satisfaction des besoins en protéines pour la masse maigre et les fonctions connexes. Il y a
648 cependant de nombreux résultats dans la littérature récente qui indiquent qu'un apport plus élevé en
649 protéines végétales et un apport plus faible en certaines protéines animales contribuent probablement
650 à la réduction du risque de maladie associée aux régimes végétariens [102-105]. Nous avons
651 récemment passé en revue cette littérature [106] et soutenu que le bénéfice potentiel d'un apport plus
652 élevé en protéines végétales pouvait probablement s'expliquer par l'ensemble des nutriments dont
653 l'apport est étroitement associé aux protéines végétales [107, 108] et aussi par le profil d'apport en
654 acides aminés, avec des contributions plus élevées des acides aminés non indispensables (arginine et
655 cystéine) et des contributions inférieures des acides aminés indispensables tels que les acides aminés
656 ramifiés. Dans une étude récente, nous avons montré que les profils d'apport en acides aminés qui
657 sont riches en acides aminés indispensables (par opposition à ceux qui sont riches en certains acides
658 aminés dits non indispensables) sont en effet fortement associés à la mortalité cardiovasculaire [109].
659 Ce type de données justifie d'autres recherches pour réévaluer l'importance traditionnellement
660 alléguée, et probablement surestimée, des acides aminés indispensables quand on traite des régimes
661 à base de plantes pour la santé des populations des pays industrialisés [106]. En effet, la question de
662 la qualité nutritionnelle des aliments riches en protéines s'est longtemps limitée à la capacité de
663 fournir les acides aminés indispensables, dans la continuité de la vision d'alimentation de
664 subsistance, alors que les sources de protéines végétales sont considérées comme essentielles à la
665 qualité globale de l'alimentation et à la santé à long terme dans les régimes occidentaux, ce qui
666 nécessite une définition modernisée de la qualité des protéines qui intègre les répercussions à long
667 terme sur la santé et l'environnement [101].

670 8. Conclusion

671 Bien qu'il subsiste des incertitudes quant aux besoins en protéines, les données chez les
672 végétariens adultes (selon les méthodes et les critères utilisés) indiquent que les régimes végétariens
673 classiques fournissent bien assez de protéines et d'acides aminés. Pour une fraction des végétariens,
674 un faible risque d'apport insuffisant ne peut pas être rigoureusement écarté et des données
675 supplémentaires sont nécessaires pour évaluer le profil diététique réel des personnes qui déclarent
676 un apport alimentaire correspondant à un apport faible en protéines et en énergie. Un apport
677 insuffisant en protéines provenant d'un régime végétarien peut survenir si l'alimentation ne
678 comprend pas d'aliments riches en protéines comme les légumineuses (la source la plus
679 traditionnelle) et les noix et les graines, ni d'analogues protéiques d'aliments animaux – dont la
680 disponibilité augmente avec le souhait de nombreuses personnes de s'orienter vers des protéines

681 végétales. Au-delà des régimes végétariens en soi, cette revue a montré que les aliments protéiques
 682 et les profils généraux d'apport protéiques sont des caractéristiques importantes d'un régime
 683 végétalisé, par comparaison aux régimes classiques à base animale observés dans les pays
 684 occidentaux. Si le régime alimentaire est un minimum varié (ce qui est le cas dans les pays
 685 économiquement développés), il n'y a pas de risque spécifique d'insuffisance d'apport en acides
 686 aminés indispensables dans les régimes végétariens, y compris concernant la lysine. Il n'y a aucune
 687 preuve d'effets physiologiques indésirables de l'apport légèrement inférieur en protéines observé
 688 chez les adultes qui consomment des régimes végétariens. Chez les personnes âgées, on pourrait
 689 soutenir que certains régimes végétariens pourraient fournir une quantité insuffisante de protéines
 690 pour assurer un équilibre azoté à long terme et que certains repas végétariens pourraient fournir une
 691 quantité insuffisante de protéines et de leucine pour favoriser l'anabolisme postprandial, et c'est une
 692 question qui devra faire l'objet de travaux de recherche approfondis. Cependant, il n'y a actuellement
 693 pas de preuve d'un impact fonctionnel et d'un risque final plus élevé (de sarcopénie) chez les
 694 personnes âgées en bonne santé. À l'inverse, les enfants qui consomment suffisamment d'énergie
 695 pour couvrir leurs besoins de croissance devraient automatiquement consommer assez de protéines
 696 à partir de leur alimentation végétarienne. Nous recommandons que d'autres études sur les protéines
 697 dans les régimes végétariens s'éloignent des questions probablement peu utiles concernant
 698 l'adéquation protéique et privilégient plutôt l'étude comparée de la qualité nutritionnelle globale des
 699 régimes et des implications pour la santé à long terme de la consommation des aliments riches en
 700 protéines végétales et des aliments riches en protéines animales.

701 **Contributions des auteurs :** FM a rédigé la première ébauche du document. Les deux auteurs ont contribué à la
 702 version finale.

703 **Conflits d'intérêts :** FM est le responsable scientifique d'un contrat de recherche avec Terres Univia,
 704 l'organisation interprofessionnelle française des huiles et protéines végétales, pour lequel il ne perçoit aucune
 705 rémunération. Les auteurs ne déclarent aucun autre lien d'intérêt.

706 **Note :** Cet article est traduit et adapté d'une version anglaise d'un texte publié récemment (Mariotti, F. ; Gardner,
 707 C.D. Dietary Protein and Amino Acids in Vegetarian Diets—A Review. *Nutrients* 2019, 11, 2661).

708 **Références et références**

709

710

- 711 1. Dagnelie PC, Mariotti F. 1 - Vegetarian Diets: Definitions and Pitfalls in Interpreting Literature on Health Effects of
 712 Vegetarianism. Edition ed. In: Mariotti F, ed. *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*:
 713 Academic Press, 2017:3-10.
- 714 2. Lee L, Simpson I. Are we eating less meat? A British social attitudes report [Internet]. London: NatCen Social
 715 Research, 2016: Available from: <http://natcen.ac.uk/media/1116002/vegetarian-society-bsa-2014.pdf>.
- 716 3. Tavoularis G, Sauvage E. Les nouvelles générations transforment la consommation de viande. In: CREDOC, ed.
 717 *Consommation et modes de vie* N° 300 • ISSN 0295-9976 • Septembre 2018 Disponible à :
 718 <http://www.credoc.fr/pdf/4p/300pdf>, 2018.
- 719 4. de Gavelle E, Davidenko O, Fouillet H, Delarue J, Darcel N, Huneau JF, et al. Self-declared attitudes and beliefs
 720 regarding protein sources are a good prediction of the degree of transition to a low-meat diet in France. *Appetite*
 721 2019;142:104345. doi: 10.1016/j.appet.2019.104345.
- 722 5. Sobiecki JG, Appleby PN, Bradbury KE, Key TJ. High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat
 723 eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and
 724 Nutrition-Oxford study. *Nutr Res* 2016;36(5):464-77. doi: 10.1016/j.nutres.2015.12.016.
- 725 6. Alles B, Baudry J, Mejean C, Touvier M, Peneau S, Hercberg S, et al. Comparison of Sociodemographic and
 726 Nutritional Characteristics between Self-Reported Vegetarians, Vegans, and Meat-Eaters from the NutriNet-Sante
 727 Study. *Nutrients* 2017;9(9). doi: 10.3390/nu9091023.

- 728 7. Cade JE, Burley VJ, Greenwood DC, Group UKWsCSS. The UK Women's Cohort Study: comparison of vegetarians,
729 fish-eaters and meat-eaters. *Public Health Nutr* 2004;7(7):871-8.
- 730 8. Farmer B, Larson BT, Fulgoni VL, 3rd, Rainville AJ, Liepa GU. A vegetarian dietary pattern as a nutrient-dense
731 approach to weight management: an analysis of the national health and nutrition examination survey 1999-2004. *J*
732 *Am Diet Assoc* 2011;111(6):819-27. doi: 10.1016/j.jada.2011.03.012.
- 733 9. Rizzo NS, Jaceldo-Siegl K, Sabate J, Fraser GE. Nutrient profiles of vegetarian and nonvegetarian dietary patterns. *J*
734 *Acad Nutr Diet* 2013;113(12):1610-9. doi: 10.1016/j.jand.2013.06.349.
- 735 10. Halkjaer J, Olsen A, Bjerregaard LJ, Deharveng G, Tjonneland A, Welch AA, et al. Intake of total, animal and plant
736 proteins, and their food sources in 10 countries in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition.
737 *Eur J Clin Nutr* 2009;63 Suppl 4:S16-36.
- 738 11. Camilleri GM, Verger EO, Huneau JF, Carpentier F, Dubuisson C, Mariotti F. Plant and animal protein intakes are
739 differently associated with nutrient adequacy of the diet of French adults. *J Nutr* 2013;143(9):1466-73. doi:
740 10.3945/jn.113.177113.
- 741 12. Bianchi CM, Egnell M, Huneau JF, Mariotti F. Plant Protein Intake and Dietary Diversity Are Independently
742 Associated with Nutrient Adequacy in French Adults. *J Nutr* 2016;146(11):2351-60. doi: 10.3945/jn.116.236869.
- 743 13. Segovia-Siapco G, Sabate J. Health and sustainability outcomes of vegetarian dietary patterns: a revisit of the EPIC-
744 Oxford and the Adventist Health Study-2 cohorts. *Eur J Clin Nutr* 2018. doi: 10.1038/s41430-018-0310-z.
- 745 14. Anses. Avis et rapport de l'Anses relatifs à l' « Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de
746 consommations alimentaires ». Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du
747 travail (Anses), 2016: Available at: <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-1.pdf>.
- 748 15. McGill CR, Fulgoni VL, 3rd, Devareddy L. Ten-year trends in fiber and whole grain intakes and food sources for the
749 United States population: National Health and Nutrition Examination Survey 2001-2010. *Nutrients* 2015;7(2):1119-
750 30. doi: 10.3390/nu7021119.
- 751 16. WHO/FAO. Diet, Nutrition and the prevention of chronic diseases. *World Health Organ Tech Rep Ser* 2003(916):1-
752 160, back cover.
- 753 17. Popkin BM. Global nutrition dynamics: the world is shifting rapidly toward a diet linked with noncommunicable
754 diseases. *Am J Clin Nutr* 2006;84(2):289-98. doi: 10.1093/ajcn/84.1.289.
- 755 18. FAO. FAOSTAT Statistics division. Food balance sheets. http://faostat3.fao.org/download/FB/*/E. 2012.
- 756 19. Dubuisson C, Lioret S, Touvier M, Dufour A, Calamassi-Tran G, Volatier JL, et al. Trends in food and nutritional
757 intakes of French adults from 1999 to 2007: results from the INCA surveys. *Br J Nutr* 2010;103(7):1035-48. doi:
758 10.1017/S0007114509992625.
- 759 20. Elmadfa I, ed. *European nutrition and health report 2009*: Karger, 2009.
- 760 21. Fulgoni VL, 3rd. Current protein intake in America: analysis of the National Health and Nutrition Examination
761 Survey, 2003-2004. *Am J Clin Nutr* 2008;87(5):1554S-7S.
- 762 22. AFSSA. Report "Protein Intake: Dietary Intake, Quality, Requirements and Recommendations". French Food Safety
763 Agency (AFSSA), 2007.
- 764 23. U.S. Department of Health and Human Services, U.S. Department of Agriculture. 2015-2020 Dietary Guidelines for
765 Americans. 8th Edition. Available at <http://health.gov/dietaryguidelines/2015/guidelines/>. . 2015.
- 766 24. Anses. Avis et rapport de l'Anses relatifs à l' « Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références
767 nutritionnelles ». Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses),
768 2016.

- 769 25. Schmidt JA, Rinaldi S, Scalbert A, Ferrari P, Achaintre D, Gunter MJ, et al. Plasma concentrations and intakes of
770 amino acids in male meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans: a cross-sectional analysis in the EPIC-Oxford
771 cohort. *Eur J Clin Nutr* 2016;70(3):306-12. doi: 10.1038/ejcn.2015.144.
- 772 26. Clarys P, Deliens T, Huybrechts I, Deriemaeker P, Vanaelst B, De Keyzer W, et al. Comparison of nutritional quality
773 of the vegan, vegetarian, semi-vegetarian, pesco-vegetarian and omnivorous diet. *Nutrients* 2014;6(3):1318-32. doi:
774 10.3390/nu6031318.
- 775 27. Kroke A, Klipstein-Grobusch K, Voss S, Moseneder J, Thielecke F, Noack R, et al. Validation of a self-administered
776 food-frequency questionnaire administered in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition
777 (EPIC) Study: comparison of energy, protein, and macronutrient intakes estimated with the doubly labeled water,
778 urinary nitrogen, and repeated 24-h dietary recall methods. *Am J Clin Nutr* 1999;70(4):439-47. doi:
779 10.1093/ajcn/70.4.439.
- 780 28. Black AE, Welch AA, Bingham SA. Validation of dietary intakes measured by diet history against 24 h urinary
781 nitrogen excretion and energy expenditure measured by the doubly-labelled water method in middle-aged women.
782 *Br J Nutr* 2000;83(4):341-54.
- 783 29. Subar AF, Kipnis V, Troiano RP, Midthune D, Schoeller DA, Bingham S, et al. Using intake biomarkers to evaluate
784 the extent of dietary misreporting in a large sample of adults: the OPEN study. *Am J Epidemiol* 2003;158(1):1-13.
- 785 30. Larsson CL, Westerterp KR, Johansson GK. Validity of reported energy expenditure and energy and protein intakes
786 in Swedish adolescent vegans and omnivores. *Am J Clin Nutr* 2002;75(2):268-74. doi: 10.1093/ajcn/75.2.268.
- 787 31. Freedman LS, Midthune D, Carroll RJ, Krebs-Smith S, Subar AF, Troiano RP, et al. Adjustments to improve the
788 estimation of usual dietary intake distributions in the population. *J Nutr* 2004;134(7):1836-43. doi:
789 10.1093/jn/134.7.1836.
- 790 32. Carriquiry AL. Estimation of usual intake distributions of nutrients and foods. *J Nutr* 2003;133(2):601S-8S. doi:
791 10.1093/jn/133.2.601S.
- 792 33. Gardner CD, Hartle JC, Garrett RD, Offringa LC, Wasserman AS. Maximizing the intersection of human health and
793 the health of the environment with regard to the amount and type of protein produced and consumed in the United
794 States. *Nutr Rev* 2019;77(4):197-215. doi: 10.1093/nutrit/nuy073.
- 795 34. Magalhaes V, Severo M, Torres D, Ramos E, Lopes C, by IANAFC. Characterizing energy intake misreporting and
796 its effects on intake estimations, in the Portuguese adult population. *Public Health Nutr* 2019:1-10. doi:
797 10.1017/S1368980019002465.
- 798 35. Millward DJ, Garnett T. Plenary Lecture 3: Food and the planet: nutritional dilemmas of greenhouse gas emission
799 reductions through reduced intakes of meat and dairy foods. *Proc Nutr Soc* 2010;69(1):103-18. doi:
800 10.1017/S0029665109991868.
- 801 36. Boye J, Wijesinha-Bettoni R, Burlingame B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the
802 protein digestibility corrected amino acid score method. *Br J Nutr* 2012;108 Suppl 2:S183-211. doi:
803 10.1017/S0007114512002309.
- 804 37. Mariotti F. Plant Protein, Animal Protein, and Protein Quality. Edtion ed. In: Mariotti F, ed. *Vegetarian and Plant-*
805 *Based Diets in Health and Disease Prevention: Academic Press, 2017:621-42.*
- 806 38. Melina V, Craig W, Levin S. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *J Acad Nutr Diet*
807 2016;116(12):1970-80. doi: 10.1016/j.jand.2016.09.025.
- 808 39. FAO/WHO/UNU. Protein and amino acid requirements in human nutrition : report of a joint FAO/WHO/UNU
809 expert consultation (2002 : Geneva, Switzerland). World Health Organization, WHO Technical Report Series, No
810 935., 2007.

- 811 40. Rand WM, Pellett PL, Young VR. Meta-analysis of nitrogen balance studies for estimating protein requirements in
812 healthy adults. *Am J Clin Nutr* 2003;77(1):109-27.
- 813 41. Agnoli C, Baroni L, Bertini I, Ciappellano S, Fabbri A, Papa M, et al. Position paper on vegetarian diets from the
814 working group of the Italian Society of Human Nutrition. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2017;27(12):1037-52. doi:
815 10.1016/j.numecd.2017.10.020.
- 816 42. Craig WJ, Mangels AR, American Dietetic A. Position of the American Dietetic Association: vegetarian diets. *J Am*
817 *Diet Assoc* 2009;109(7):1266-82.
- 818 43. Caso G, Scalfi L, Marra M, Covino A, Muscaritoli M, McNurlan MA, et al. Albumin synthesis is diminished in men
819 consuming a predominantly vegetarian diet. *J Nutr* 2000;130(3):528-33. doi: 10.1093/jn/130.3.528.
- 820 44. Lombard KA, Olson AL, Nelson SE, Rebouche CJ. Carnitine status of lactoovo vegetarians and strict vegetarian
821 adults and children. *Am J Clin Nutr* 1989;50(2):301-6. doi: 10.1093/ajcn/50.2.301.
- 822 45. Haddad EH, Berk LS, Kettering JD, Hubbard RW, Peters WR. Dietary intake and biochemical, hematologic, and
823 immune status of vegans compared with nonvegetarians. *Am J Clin Nutr* 1999;70(3 Suppl):586S-93S. doi:
824 10.1093/ajcn/70.3.586s.
- 825 46. Haghghatdoost F, Bellissimo N, Totosty de Zepetnek JO, Rouhani MH. Association of vegetarian diet with
826 inflammatory biomarkers: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Public Health Nutr*
827 2017;20(15):2713-21. doi: 10.1017/S1368980017001768.
- 828 47. Craddock JC, Neale EP, Peoples GE, Probst YC. Vegetarian-Based Dietary Patterns and their Relation with
829 Inflammatory and Immune Biomarkers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Adv Nutr* 2019;10(3):433-51. doi:
830 10.1093/advances/nmy103.
- 831 48. Mirone L. Blood findings in men on a diet devoid of meat and low in animal protein. *Science* 1950;111(2894):673.
- 832 49. Albanese A. Protein and Amino acid nutrition: Elsevier Science, 2012.
- 833 50. van Vliet S, Burd NA, van Loon LJ. The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein
834 Consumption. *J Nutr* 2015;145(9):1981-91. doi: 10.3945/jn.114.204305.
- 835 51. Gorissen SHM, Crombag JJR, Senden JMG, Waterval WAH, Bierau J, Verdijk LB, et al. Protein content and amino
836 acid composition of commercially available plant-based protein isolates. *Amino Acids* 2018;50(12):1685-95. doi:
837 10.1007/s00726-018-2640-5.
- 838 52. Mariotti F, Pueyo ME, Tome D, Berot S, Benamouzig R, Mahe S. The influence of the albumin fraction on the
839 bioavailability and postprandial utilization of pea protein given selectively to humans. *J Nutr* 2001;131(6):1706-13.
- 840 53. Millward DJ, Fereday A, Gibson NR, Pacy PJ. Human adult amino acid requirements: [1-13C]leucine balance
841 evaluation of the efficiency of utilization and apparent requirements for wheat protein and lysine compared with
842 those for milk protein in healthy adults. *Am J Clin Nutr* 2000;72(1):112-21.
- 843 54. Young VR, Pellett PL. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *Am J Clin Nutr* 1994;59(5
844 Suppl):1203S-125S. doi: 10.1093/ajcn/59.5.1203S.
- 845 55. Yang SP, Tilton KS, Ryland LL. Utilization of a delayed lysine or tryptophan supplement for protein repletion of
846 rats. *J Nutr* 1968;94(2):178-84.
- 847 56. Millward DJ. Amino acid scoring patterns for protein quality assessment. *Br J Nutr* 2012;108 Suppl 2:S31-43. doi:
848 10.1017/S0007114512002462.
- 849 57. de Gavelle E, Huneau JF, Bianchi CM, Verger EO, Mariotti F. Protein Adequacy Is Primarily a Matter of Protein
850 Quantity, Not Quality: Modeling an Increase in Plant:Animal Protein Ratio in French Adults. *Nutrients* 2017;9(12).
851 doi: 10.3390/nu9121333.
- 852 58. Pannemans DL, Wagenmakers AJ, Westerterp KR, Schaafsma G, Halliday D. Effect of protein source and quantity
853 on protein metabolism in elderly women. *Am J Clin Nutr* 1998;68(6):1228-35. doi: 10.1093/ajcn/68.6.1228.

- 854 59. Aubertin-Leheudre M, Adlercreutz H. Relationship between animal protein intake and muscle mass index in
855 healthy women. *Br J Nutr* 2009;102(12):1803-10. doi: 10.1017/S0007114509991310.
- 856 60. Orlich MJ, Jaceldo-Siegl K, Sabate J, Fan J, Singh PN, Fraser GE. Patterns of food consumption among vegetarians
857 and non-vegetarians. *Br J Nutr* 2014;112(10):1644-53. doi: 10.1017/S000711451400261X.
- 858 61. Bradbury KE, Tong TYN, Key TJ. Dietary Intake of High-Protein Foods and Other Major Foods in Meat-Eaters,
859 Poultry-Eaters, Fish-Eaters, Vegetarians, and Vegans in UK Biobank. *Nutrients* 2017;9(12). doi: 10.3390/nu9121317.
- 860 62. Papier K, Tong TY, Appleby PN, Bradbury KE, Fensom GK, Knuppel A, et al. Comparison of Major Protein-Source
861 Foods and Other Food Groups in Meat-Eaters and Non-Meat-Eaters in the EPIC-Oxford Cohort. *Nutrients*
862 2019;11(4). doi: 10.3390/nu11040824.
- 863 63. Greenwood DC, Cade JE, Draper A, Barrett JH, Calvert C, Greenhalgh A. Seven unique food consumption patterns
864 identified among women in the UK Women's Cohort Study. *Eur J Clin Nutr* 2000;54(4):314-20.
- 865 64. Salomé M, de Gavelle E, Dufour A, Dubuisson C, Volatier JL, Fouillet H, et al. Plant protein diversity is critical to
866 ensuring the nutritional adequacy of diets when replacing animal with plant protein – observed and modelled diets
867 of French adults (INCA3). *J Nutr* 2019. doi: doi: 10.1093/jn/nxz252.
- 868 65. Morais JA, Chevalier S, Gougeon R. Protein turnover and requirements in the healthy and frail elderly. *J Nutr Health*
869 *Aging* 2006;10(4):272-83.
- 870 66. Mariotti F. Protein Intake Throughout Life and Current Dietary Recommendations. Edtion ed. In: Dardevet D, ed.
871 *The Molecular Nutrition of Amino Acids and Proteins*: Elsevier, 2016.
- 872 67. Deutz NE, Bauer JM, Barazzoni R, Biolo G, Boirie Y, Bosy-Westphal A, et al. Protein intake and exercise for optimal
873 muscle function with aging: recommendations from the ESPEN Expert Group. *Clin Nutr* 2014;33(6):929-36. doi:
874 10.1016/j.clnu.2014.04.007.
- 875 68. WHO/FAO/UNU. Protein and amino acid requirements in human nutrition. *World Health Organ Tech Rep Ser*
876 2007(935):1-265, back cover.
- 877 69. Pedersen AN, Cederholm T. Health effects of protein intake in healthy elderly populations: a systematic literature
878 review. *Food Nutr Res* 2014;58. doi: 10.3402/fnr.v58.23364.
- 879 70. Berner LA, Becker G, Wise M, Doi J. Characterization of dietary protein among older adults in the United States:
880 amount, animal sources, and meal patterns. *J Acad Nutr Diet* 2013;113(6):809-15. doi: 10.1016/j.jand.2013.01.014.
- 881 71. Tieland M, Borgonjen-Van den Berg KJ, van Loon LJ, de Groot LC. Dietary protein intake in community-dwelling,
882 frail, and institutionalized elderly people: scope for improvement. *Eur J Nutr* 2012;51(2):173-9. doi: 10.1007/s00394-
883 011-0203-6.
- 884 72. Paddon-Jones D, Leidy H. Dietary protein and muscle in older persons. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*
885 2014;17(1):5-11. doi: 10.1097/MCO.000000000000011.
- 886 73. Rodriguez NR. Protein-centric meals for optimal protein utilization: can it be that simple? *J Nutr* 2014;144(6):797-8.
887 doi: 10.3945/jn.114.193615.
- 888 74. Arnal MA, Mosoni L, Boirie Y, Houlier ML, Morin L, Verdier E, et al. Protein pulse feeding improves protein
889 retention in elderly women. *Am J Clin Nutr* 1999;69(6):1202-8.
- 890 75. Arnal MA, Mosoni L, Boirie Y, Houlier ML, Morin L, Verdier E, et al. Protein feeding pattern does not affect protein
891 retention in young women. *J Nutr* 2000;130(7):1700-4.
- 892 76. Mamerow MM, Mettler JA, English KL, Casperson SL, Arentson-Lantz E, Sheffield-Moore M, et al. Dietary protein
893 distribution positively influences 24-h muscle protein synthesis in healthy adults. *J Nutr* 2014;144(6):876-80. doi:
894 10.3945/jn.113.185280.
- 895 77. Paddon-Jones D, Rasmussen BB. Dietary protein recommendations and the prevention of sarcopenia. *Curr Opin*
896 *Clin Nutr Metab Care* 2009;12(1):86-90. doi: 10.1097/MCO.0b013e32831cef8b.

- 897 78. Dardevet D, Remond D, Peyron MA, Papet I, Savary-Auzeloux I, Mosoni L. Muscle wasting and resistance of muscle
898 anabolism: the "anabolic threshold concept" for adapted nutritional strategies during sarcopenia.
899 *ScientificWorldJournal* 2012;2012:269531. doi: 10.1100/2012/269531.
- 900 79. Loenneke JP, Loprinzi PD, Murphy CH, Phillips SM. Per meal dose and frequency of protein consumption is
901 associated with lean mass and muscle performance. *Clin Nutr* 2016;35(6):1506-11. doi: 10.1016/j.clnu.2016.04.002.
- 902 80. Farsijani S, Payette H, Morais JA, Shatenstein B, Gaudreau P, Chevalier S. Even mealtime distribution of protein
903 intake is associated with greater muscle strength, but not with 3-y physical function decline, in free-living older
904 adults: the Quebec longitudinal study on Nutrition as a Determinant of Successful Aging (NuAge study). *Am J Clin*
905 *Nutr* 2017;106(1):113-24. doi: 10.3945/ajcn.116.146555.
- 906 81. Farsijani S, Morais JA, Payette H, Gaudreau P, Shatenstein B, Gray-Donald K, et al. Relation between mealtime
907 distribution of protein intake and lean mass loss in free-living older adults of the NuAge study. *Am J Clin Nutr*
908 2016;104(3):694-703. doi: 10.3945/ajcn.116.130716.
- 909 82. Gryson C, Walrand S, Giraudet C, Rousset P, Migne C, Bonhomme C, et al. "Fast proteins" with a unique essential
910 amino acid content as an optimal nutrition in the elderly: growing evidence. *Clin Nutr* 2014;33(4):642-8. doi:
911 10.1016/j.clnu.2013.09.004.
- 912 83. Magne H, Savary-Auzeloux I, Migne C, Peyron MA, Combaret L, Remond D, et al. Contrarily to whey and high
913 protein diets, dietary free leucine supplementation cannot reverse the lack of recovery of muscle mass after
914 prolonged immobilization during ageing. *J Physiol* 2012;590(Pt 8):2035-49. doi: 10.1113/jphysiol.2011.226266.
- 915 84. Dardevet D, Sornet C, Bayle G, Prugnaud J, Pouyet C, Grizard J. Postprandial stimulation of muscle protein
916 synthesis in old rats can be restored by a leucine-supplemented meal. *J Nutr* 2002;132(1):95-100.
- 917 85. Lonnie M, Hooker E, Brunstrom JM, Corfe BM, Green MA, Watson AW, et al. Protein for Life: Review of Optimal
918 Protein Intake, Sustainable Dietary Sources and the Effect on Appetite in Ageing Adults. *Nutrients* 2018;10(3). doi:
919 10.3390/nu10030360.
- 920 86. Tieland M, Borgonjen-Van den Berg KJ, Van Loon LJ, de Groot LC. Dietary Protein Intake in Dutch Elderly People:
921 A Focus on Protein Sources. *Nutrients* 2015;7(12):9697-706. doi: 10.3390/nu7125496.
- 922 87. Paddon-Jones D, Campbell WW, Jacques PF, Kritchevsky SB, Moore LL, Rodriguez NR, et al. Protein and healthy
923 aging. *Am J Clin Nutr* 2015. doi: 10.3945/ajcn.114.084061.
- 924 88. Berrazaga I, Micard V, Gueugneau M, Walrand S. The Role of the Anabolic Properties of Plant- versus Animal-Based
925 Protein Sources in Supporting Muscle Mass Maintenance: A Critical Review. *Nutrients* 2019;11(8). doi:
926 10.3390/nu11081825.
- 927 89. Gorissen SHM, Witard OC. Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein
928 sources in older adults. *Proc Nutr Soc* 2018;77(1):20-31. doi: 10.1017/S002966511700194X.
- 929 90. Tieland M, Franssen R, Dullemeijer C, van Dronkelaar C, Kyung Kim H, Ispoglou T, et al. The Impact of Dietary
930 Protein or Amino Acid Supplementation on Muscle Mass and Strength in Elderly People: Individual Participant
931 Data and Meta-Analysis of RCT's. *J Nutr Health Aging* 2017;21(9):994-1001. doi: 10.1007/s12603-017-0896-1.
- 932 91. Houston DK, Nicklas BJ, Ding J, Harris TB, Tylavsky FA, Newman AB, et al. Dietary protein intake is associated
933 with lean mass change in older, community-dwelling adults: the Health, Aging, and Body Composition (Health
934 ABC) Study. *Am J Clin Nutr* 2008;87(1):150-5. doi: 10.1093/ajcn/87.1.150.
- 935 92. Chan R, Leung J, Woo J, Kwok T. Associations of dietary protein intake on subsequent decline in muscle mass and
936 physical functions over four years in ambulant older Chinese people. *J Nutr Health Aging* 2014;18(2):171-7. doi:
937 10.1007/s12603-013-0379-y.

- 938 93. McDonald CK, Ankarfeldt MZ, Capra S, Bauer J, Raymond K, Heitmann BL. Lean body mass change over 6 years
939 is associated with dietary leucine intake in an older Danish population. *Br J Nutr* 2016;115(9):1556-62. doi:
940 10.1017/S0007114516000611.
- 941 94. Verreijen AM, Engberink MF, Houston DK, Brouwer IA, Cawthon PM, Newman AB, et al. Dietary protein intake is
942 not associated with 5-y change in mid-thigh muscle cross-sectional area by computed tomography in older adults:
943 the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. *Am J Clin Nutr* 2019;109(3):535-43. doi:
944 10.1093/ajcn/nqy341.
- 945 95. Young VR. Nutrient interactions with reference to amino acid and protein metabolism in non-ruminants; particular
946 emphasis on protein-energy relations in man. *Z Ernährungswiss* 1991;30(4):239-67.
- 947 96. EFSA Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for protein.
948 *EFSA J* 2012;10(2):2257 [66p]. doi: doi:10.2903/j.efsa.2012.
- 949 97. FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. World
950 Health Organization, WHO Technical Report Series, No 724., 1985.
- 951 98. Scaglioni S, De Cosmi V, Mazzocchi A, Bettocchi S, Agostoni C. 29 - Vegetarian Infants and Complementary Feeding.
952 Edition ed. In: Mariotti F, ed. *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*: Academic Press,
953 2017:513-27.
- 954 99. Gavelle E, Huneau JF, Mariotti F. Patterns of Protein Food Intake Are Associated with Nutrient Adequacy in the
955 General French Adult Population. *Nutrients* 2018;10(2). doi: 10.3390/nu10020226.
- 956 100. Phillips SM, Fulgoni VL, 3rd, Heaney RP, Nicklas TA, Slavin JL, Weaver CM. Commonly consumed protein foods
957 contribute to nutrient intake, diet quality, and nutrient adequacy. *Am J Clin Nutr* 2015. doi: 10.3945/ajcn.114.084079.
- 958 101. Katz DL, Doughty KN, Geagan K, Jenkins DA, Gardner CD. Perspective: The Public Health Case for Modernizing
959 the Definition of Protein Quality. *Adv Nutr* 2019;10(5):755-64. doi: 10.1093/advances/nmz023.
- 960 102. Song M, Fung TT, Hu FB, Willett WC, Longo VD, Chan AT, et al. Association of Animal and Plant Protein Intake
961 With All-Cause and Cause-Specific Mortality. *JAMA Intern Med* 2016. doi: 10.1001/jamainternmed.2016.4182.
- 962 103. Tharrey M, Mariotti F, Mashchak A, Barbillon P, Delattre M, Fraser GE. Patterns of plant and animal protein intake
963 are strongly associated with cardiovascular mortality: the Adventist Health Study-2 cohort. *Int J Epidemiol* 2018.
964 doi: 10.1093/ije/dyy030.
- 965 104. Tian S, Xu Q, Jiang R, Han T, Sun C, Na L. Dietary Protein Consumption and the Risk of Type 2 Diabetes: A
966 Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies. *Nutrients* 2017;9(9). doi: 10.3390/nu9090982.
- 967 105. Shang X, Scott D, Hodge AM, English DR, Giles GG, Ebeling PR, et al. Dietary protein intake and risk of type 2
968 diabetes: results from the Melbourne Collaborative Cohort Study and a meta-analysis of prospective studies. *Am J*
969 *Clin Nutr* 2016;104(5):1352-65. doi: 10.3945/ajcn.116.140954.
- 970 106. Mariotti F. Animal and Plant Protein Sources and Cardiometabolic Health. *Adv Nutr* in press.
- 971 107. Mariotti F, Huneau JF. Plant and Animal Protein Intakes Are Differentially Associated with Large Clusters of
972 Nutrient Intake that May Explain Part of Their Complex Relation with CVD Risk. *Adv Nutr* 2016;7(3):559-60. doi:
973 10.3945/an.115.011932.
- 974 108. Camilleri GM, Verger EO, Huneau JF, Carpentier F, Dubuisson C, Mariotti F. Les apports en protéines animales et
975 végétales sont associés différemment à l'adéquation des apports en nutriments chez les adultes français. 10èmes
976 Journées Francophones de nutrition (JFN). Lyon, France, 2012.
- 977 109. Tharrey M, Mariotti F, Mashchak A, Barbillon P, Delattre M, Huneau JF, et al. Patterns of amino acids intake are
978 strongly associated with cardiovascular mortality, independently of the sources of protein. *Int J Epidemiol* 2019. doi:
979 10.1093/ije/dyz194.
- 980