

UNIVERSITÉ PARIS XIII – SORBONNE PARIS NORD

École doctorale Sciences, Technologies, Santé Galilée

**Transitions alimentaires des adultes français
(2014-2022) :
Positionnement par rapport à une trajectoire optimale de
durabilité**

THÈSE DE DOCTORAT
présentée par

Hafsa TOUJGANI

Équipe de Recherche en Épidémiologie Nutritionnelle (EREN)
INSERM U1153/ INRAE U1125/ CNAM/ Université Sorbonne Paris Nord
Centre de Recherche en Épidémiologie et Statistiques Université Paris Cité (CRESS)

pour l'obtention du grade de

DOCTEURE EN ÉPIDEMIOLOGIE – SANTE PUBLIQUE

soutenue le 28 Octobre 2025
devant le jury d'examen constitué de :

Dr. Cécilia SAMIERI, INSERM, Université de Bordeaux	Rapportrice
Dr. Nathanaël LAPIDUS, Faculté de Santé, Sorbonne Université	Rapporteur
Dr. Lucile MARTY, INRAE Dijon	Examinatrice
Dr. Olivier BODINI, Université Sorbonne Paris	Examineur
Dr. Emmanuelle KESSE-GUYOT, INRAE, Université Sorbonne Paris	Directrice de thèse

*« Tracer sa route, c'est parfois quitter les sentiers balisés
pour suivre l'éclat d'une conviction. Et c'est dans la lumière
des détours que naît la force d'aller jusqu'au bout »*

Hafsa Toujgani

Remerciements

Cette thèse est l'aboutissement de plusieurs années de travail, mais aussi d'un cheminement humain et intellectuel singulier, que je n'aurais pu accomplir seule.

À l'issue de ce parcours, je souhaite exprimer ma profonde gratitude à toutes celles et ceux qui, par leur soutien, leurs conseils et leur confiance, ont contribué à rendre cette aventure possible.

Je souhaite remercier Dr. Emmanuelle KESSE-GUYOT, ma directrice de thèse, pour m'avoir accueillie au sein de l'EREN et pour avoir supervisé ce travail. Je lui suis reconnaissante pour son investissement, pour les orientations apportées à la recherche, et pour l'exigence scientifique qui a contribué à la qualité de ce manuscrit.

Je remercie sincèrement l'ensemble des membres du jury, Dr. Cécilia SAMIERI, Dr. Nathanaël LAPIDUS, Dr. Lucile MARTY et Dr. Olivier BODINI, pour avoir accepté de consacrer leur temps à l'évaluation de ce travail et pour l'honneur qu'ils me font par leur présence.

Mes remerciements s'adressent également à mes collègues et co-auteurs, pour la richesse des échanges, les collaborations fructueuses et l'esprit d'équipe qui a marqué ces années. Une pensée particulière à Julia BAUDRY, François MARIOTTI, Benjamin ALLES et Juhui Wang dont l'aide méthodologique et les discussions stimulantes ont grandement enrichi ce travail.

Je tiens également à remercier l'École doctorale Galilée, ainsi que l'EREN et l'INRAE, pour les moyens mis à disposition et pour m'avoir permis de mener à bien ce projet. Mes remerciements vont aussi aux équipes de la cohorte NutriNet-Santé, dont les données ont rendu cette recherche possible.

Sur un plan plus personnel, je souhaite exprimer toute ma gratitude à mes parents, pour l'amour inconditionnel, le soutien indéfectible, la patience et la confiance que vous m'avez toujours accordée, même lorsque mes choix m'emmenaient hors des chemins attendus.

À ma sœur Ihsane et ma nièce Hala, merci pour votre affection constante, vos encouragements et ces instants de joie qui, au fil des années, ont apporté équilibre, lumière et énergie à mon quotidien.

À Yassine, merci pour ton écoute attentive, ta compréhension et ton soutien, pour ta présence précieuse dans les moments les plus exigeants comme dans les plus simples.

Je pense avec tendresse à mes cousins Aaladin et Yousra, dont la présence, les mots rassurants et les éclats de rire ont accompagné chaque étape de ce parcours.

Enfin, à mes amis, pour votre amitié fidèle et les moments partagés qui ont offert des parenthèses bienvenues au milieu des exigences de la recherche, je dis tout simplement : merci.

Valorisations

Articles publiés dans le cadre de la thèse

Hafsa Toujani, Juhui Wang, Elie Perraud, Julia Baudry, Justine Berlivet, Benjamin Allès, Hélène Fouillet, Serge Hercberg, Mathilde Touvier, Denis Lairon, Philippe Pointereau, Christian Couturier, François Mariotti, Emmanuelle Kesse-Guyot & the TRANSFood Consortium. Dietary consumption trajectory profiles over time of French adults from the NutriNet-Santé cohort (2014-2022): Multicriteria analysis of sustainability. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 22, 76 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12966-025-01777-w>

Hafsa Toujani, Justine Berlivet, Florine Berthy, Benjamin Allès, Joséphine Brunin, Hélène Fouillet, Mathilde Touvier, Denis Lairon, François Mariotti, Julia Baudry, Emmanuelle Kesse-Guyot and the TRANSFood Consortium. Dietary pattern trajectories in French adults of the NutriNet-Santé cohort over time (2014–2022): role of socio-economic factors. *British Journal of Nutrition* (2024); 132(9):1184-1193. doi:10.1017/S0007114524002514

Hafsa Toujani, Joséphine Brunin, Elie Perraud, Benjamin Allès, Mathilde Touvier, Denis Lairon, François Mariotti, Philippe Pointereau, Julia Baudry & Emmanuelle Kesse-Guyot. The nature of protein intake as a discriminating factor of diet sustainability: a multi-criteria approach. *Scientific Reports* 13, 17850 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44872-3>

Articles en préparation dans le cadre de la thèse

Hafsa Toujani, Julia Baudry, Benjamin Allès, Hélène Fouillet, Serge Hercberg, Mathilde Touvier, Denis Lairon, Philippe Pointereau, Christian Couturier, François Mariotti, Emmanuelle Kesse-Guyot & the TRANSFood Consortium. Optimizing Dietary Transitions for Sustainability and Health: A Multi-Constraint Modeling Approach in French Adults of the NutriNet-Santé cohort.

Articles publiés hors cadre de la thèse

Florine Berthy, **Hafsa Toujani**, Pauline Duquenne, Léopold K Fezeu, Denis Lairon, Philippe Pointereau, Mathilde Touvier, Serge Hercberg, Pilar Galan, Benjamin Allès, Julia Baudry, Emmanuelle Kesse-Guyot. Prospective association of the EAT-Lancet reference diet with body weight changes and incidence of overweight and obesity in a French cohort. *The American Journal of Clinical Nutrition*. Volume 122, Issue 2, 2025, Pages 450-459, ISSN 0002-9165, <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2025.06.013>.

Gabrielle Rochefort, **Hafsa Toujani**, Florine Berthy, Justine Berlivet, Elie Perraud, Benjamin Allès, Mathilde Touvier, Benoît Lamarche, Julia Baudry, Emmanuelle Kesse-Guyot. Are dietary changes over eight years in the prospective NutriNet-Santé cohort consistent with the EAT-Lancet reference diet?

The American Journal of Clinical Nutrition, Volume 121, Issue 2, 2025, Pages 324-332, ISSN 0002-9165, <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2024.12.004>.

Emmanuelle Kesse-Guyot, Philippe Pointereau, Joséphine Brunin, Elie Perraud, **Hafsa Toujgani**, Florine Berthy, Benjamin Allès, Mathilde Touvier, Denis Lairon, François Mariotti, Julia Baudry, Hélène Fouillet. Trade-offs between blue water use and greenhouse gas emissions related to food systems: An optimization study for French adults. Sustainable Production and Consumption, Volume 42, 2023, Pages 33-43, ISSN 2352-5509, <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.09.008>.

Communications orales

Toujgani H., Berlivet J., Berthy F., Allès B., Fouillet H., Touvier M., Lairon D., Mariotti F., Baudry J., Kesse-Guyot E. Dietary trajectory profiles of French adults over time: Multicriteria analysis of sustainability. European Public Health Conference (EPH), Lisbon, Portugal, November 2024.

Toujgani H., Berlivet J., Berthy F., Allès B., Fouillet H., Touvier M., Lairon D., Mariotti F., Baudry J., Kesse-Guyot E. Dietary pattern trajectories in French adults of the NutriNet-Santé cohort over time (2014–2022): role of socio-economic factors. European Public Health Conference (EPH), Lisbon, Portugal, November 2024.

Toujgani H., Brunin J., Perraud E., Allès B., Touvier M., Lairon D., Mariotti F., Pointereau P., Baudry J., Kesse-Guyot E. The nature of protein intake as a discriminating factor of diet sustainability: a multi-criteria approach. 14th European Nutrition Conference (FENS), Belgrade, Serbia, October 2023.

Toujgani H., Brunin J., Perraud E., Allès B., Touvier M., Lairon D., Mariotti F., Pointereau P., Baudry J., Kesse-Guyot E. Analyse multicritère de la durabilité de régimes alimentaires selon la végétalisation et la nature de l'apport protéique. Journées Francophones de Nutrition (JFN), Toulouse, France, Novembre 2022.

Toujgani H., Berlivet J., Berthy F., Allès B., Fouillet H., Touvier M., Lairon D., Mariotti F., Baudry J., Kesse-Guyot E. Quels changements alimentaires en 8 ans chez les adultes français ? Journées Francophones de Nutrition (JFN), Marseille, France, Décembre 2023.

Toujgani H., Berlivet J., Berthy F., Allès B., Fouillet H., Touvier M., Lairon D., Mariotti F., Baudry J., Kesse-Guyot E. Profils de trajectoires de consommation alimentaire d'adultes français au fil du temps (2014-2022) : Analyse multicritère de la durabilité. Journées Francophones de Nutrition (JFN), Strasbourg, France, Décembre 2024.

Toujgani H. Trajectoires de consommation alimentaire des adultes français de la cohorte NutriNet-Santé au cours du temps (2014-2022) : Rôle de facteurs socio-économiques. Webinaire "Santé humaine et santé des éco-systèmes". Solagro, Mars 2024.

Table des matières

Remerciements	5
Valorisations	7
Liste des tableaux	14
Liste des figures	16
Liste des annexes	18
Liste des abréviations	20
Chapitre 1 : Introduction Générale	25
1. Un système alimentaire au cœur des défis globaux	25
1.1. Qu'est-ce qu'un système alimentaire ?.....	25
1.2. Introduction aux défis mondiaux liés aux systèmes alimentaires.....	26
1.3. Vers des systèmes alimentaires durables	49
2. L'alimentation durable comme levier systémique	55
2.1. Qu'est-ce qu'une alimentation durable ?	55
2.2. Changer nos régimes alimentaires : leviers et obstacles	65
3. État des lieux des transitions alimentaires durables dans la littérature	76
3.1. Méthodes d'analyse longitudinale et du parcours de vie	76
3.2. Transitions alimentaires durables : constats empiriques et avancées récentes.....	78
Chapitre 2 : Démarche scientifique, objectifs et structure de la thèse	89
1. Un cadre conceptuel inspiré de l'économie de la croissance et de la transition.....	89
1.1. Le sentier de croissance économique : transposition au champs alimentaire	89
1.2. L'approche « <i>Bottom-up</i> » : des comportements individuels à l'impact collectif.....	90
2. Motivation de l'étude et objectifs généraux de la thèse	95
3. Structure de la thèse	96
Chapitre 3 : Matériels et Méthodes	99
1. Population étudiée : Cohorte NutriNet-Santé.....	99
2. Recueil des données	100
2.1. Données sociodémographiques	100
2.2. Mesures anthropométriques	100

2.3.	Activité physique et sédentarité	101
2.4.	Données de consommations alimentaires	101
2.5.	Données économiques	103
3.	Calcul des indicateurs de durabilité	104
3.1.	Indicateurs de qualité nutritionnelle.....	104
3.2.	Indicateurs de risque sanitaire	111
3.3.	Indicateurs d'impacts environnementaux.....	115
4.	Analyses statistiques	116
4.1.	Méthodes statistiques usuelles	116
4.2.	Redressement des données	117
4.3.	Construction des typologies	118
4.4.	Modèles mixtes	121
4.5.	Modèles d'optimisation	122
4.6.	Méthodes économétriques	124
Chapitre 4 : Résultats		129
1.	Dynamiques alimentaires en France entre 2014 et 2022 : typologies et trajectoires	129
1.1.	Typologie des régimes initiaux selon la nature des apports protéiques : un marqueur de durabilité	129
1.2.	Évolutions des consommations alimentaires : tendances générales sur huit ans	145
1.3.	Profils de trajectoires alimentaires : des dynamiques différenciées au sein de la population	157
1.4.	Points essentiels : Dynamiques alimentaires en France (2014 - 2022)	170
2.	Inégalités sociales dans les transitions alimentaires : le rôle des déterminants individuels ..	172
2.1.	Cadre d'analyse	172
2.2.	Méthodologie spécifique.....	172
2.3.	Résultats principaux	173
2.4.	Points essentiels : Inégalités sociales dans les transitions alimentaires	179
3.	Impacts des transitions alimentaires sur la durabilité : une approche multicritère	180

3.1.	Analyse des impacts à la période de référence (2014) selon les clusters protéiques.....	180
3.2.	Évaluation dynamique (2014-2022) des profils de trajectoires alimentaires	195
3.3.	Points essentiels : Impacts des transitions alimentaires sur la durabilité.....	207
4.	Vers des régimes optimaux : ajuster les trajectoires pour une durabilité renforcée	209
4.1.	Cadre d'analyse	209
4.2.	Méthodologie spécifique.....	209
4.3.	Résultats principaux	212
4.4.	Points essentiels : Optimisation des régimes alimentaires vers un optimum de durabilité 226	
Chapitre 5 : Discussion Générale		229
1.	Résumé des principaux résultats.....	229
2.	Discussion générale des résultats	232
2.1.	Dynamiques alimentaires en France entre 2014 et 2022	232
2.2.	Inégalités sociales dans les transitions alimentaires : le rôle des déterminants individuels 233	
2.3.	Impacts des transitions alimentaires sur la durabilité	239
2.4.	Stabilité des régimes dans le temps	245
2.5.	Faisabilité des changements alimentaires vers un optimum de durabilité	246
3.	Forces et limites	249
4.	Perspectives et conclusions.....	251
Conclusion		253
Références bibliographiques.....		254
Annexes		277
Abstract		419
Résumé.....		420

Liste des tableaux

Tableau 1 : Recommandations de consommation journalière pour une alimentation de santé planétaire « Planetary Health Diet » selon la Commission EAT-Lancet (2019) ¹	58
Tableau 2 : Structure de la thèse	97
Tableau 3 : Programme National Nutrition Santé - Score PNNS-GS2 : composantes et barème de notation	105
Tableau 4 : Composantes, apports moyens, standards de notation et score moyen de l'indice global, végétal et animal de qualité de l'alimentation (cDQI, pDQI, aDQI) chez les adultes américains de 20 ans et plus, NHANES 1999–2014	108
Tableau 5 : Niveaux d'exposition minimisant le risque théorique (TMREL) et années de vie ajustées sur l'incapacité (DALYs) utilisés dans le modèle d'optimisation chez les hommes et les femmes	112
Tableau 6 : Composition des 23 groupes d'aliments considérés dans l'étude	131
Tableau 7 : Liens des variables avec la partition à 5 clusters.....	135
Tableau 8 : Contributions protéiques (%/jour) des groupes d'aliments selon les clusters ^{1,2,3}	139
Tableau 9 : Caractéristiques des participants selon les clusters, n = 29 210, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	141
Tableau 10 : Composition des 23 groupes d'aliments considérés dans l'étude	149
Tableau 11 : Caractéristiques des participants (n = 17 187), étude NutriNet-Santé ^{1,2}	150
Tableau 12 : Consommation des groupes d'aliments au fil du temps (2014-2022), n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	155
Tableau 13 : Composition des 25 groupes d'aliments considérés dans l'étude	157
Tableau 14 : Caractéristiques des participants dans l'échantillon total et dans les profils de trajectoires alimentaires (2014), n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	161
Tableau 15 : Consommation des 25 groupes d'aliments (g/jour) au fil du temps (2014-2022) selon le profil, n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	167
Tableau 16 : Consommations des 4 groupes d'aliments au fil du temps (2014-2022) selon les catégories socioéconomiques, n = 17 187, étude NutriNet-Santé ¹	177
Tableau 17 : Classification des catégories sociales ¹	183
Tableau 18 : Indicateurs de durabilité selon les clusters identifiés à partir sources protéiques ^{1,2}	187
Tableau 19 : Indicateurs de durabilité au fil du temps (2014–2022) selon les profils, n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	204
Tableau 20 : Contribution des groupes d'aliments à la variation des DALYs évités entre 2014 et 2022 selon les profils, n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	206
Tableau 21 : Nomenclature des groupes d'aliments utilisés dans l'étude	211

Tableau 22 : Caractéristiques des participants dans l'échantillon total et dans les profils de trajectoires alimentaires (2022), n = 9 095, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	214
Tableau 23 : Consommations alimentaires (g/jour) observées en 2022 et pour le scénario $\lambda = 0,1$ par profil ¹	225
Tableau 24 : Estimation du modèle du coût de l'alimentation globale	293
Tableau 25 : Estimation de la dépense protéique totale	294

Liste des figures

Figure 1 : Roue du système alimentaire, « The food system wheel ». Source : FAO, 2018 (1)	26
Figure 2 : Les neuf limites planétaires. Source : CGDD,2023 (4).....	27
Figure 3 : Objectifs de Développement Durable. Source : FAO, 2015 (8).....	28
Figure 4 : Ventilation des sources d'émissions du système agroalimentaire mondial. Source : Banque Mondiale sur la base des données FAOSTAT 2023a (19)	29
Figure 5 : Impacts environnementaux relatifs (échelle logarithmique) de 15 groupes d'aliments selon cinq indicateurs ¹ (42).....	33
Figure 6 : Émissions de gaz à effet de serre des aliments le long de la chaîne d'approvisionnement (kg CO ₂ eq / kg d'aliment) ¹ (45)	35
Figure 7 : Évolution du fardeau de mortalité prématurée attribuable aux risques alimentaires par région (2010–2018) ¹ (43)	37
Figure 8 : Risques relatifs de mortalité et de morbidité associés à la consommation d'aliments spécifiques ¹ (42)	40
Figure 9 : Le cadre conceptuel « Nutrition Health Disparities Framework » (48).....	43
Figure 10 : Part des DALYs attribuables aux risques alimentaires dans le monde en 2019 ¹ (66)	46
Figure 11 : La durabilité dans les systèmes alimentaires. Source: FAO, 2014 (1).....	50
Figure 12 : le paradigme de développement des systèmes alimentaires. Source: FAO, 2014 (1).....	52
Figure 13 : Principes d'une alimentation durable (80).....	56
Figure 14 : Représentation visuelle d'un régime sain et durable selon le modèle EAT-Lancet (74)	59
Figure 15 : Écarts en pourcentage par année (2010, 2018) et par région par rapport aux recommandations de la Commission EAT-Lancet sur les régimes alimentaires sains issus de systèmes alimentaires durables ¹ (43)	61
Figure 16 : Répartition mondiale de l'insécurité alimentaire selon sa gravité en 2023 ¹ (92).....	66
Figure 17 : Cadre conceptuel des déterminants comportementaux d'une alimentation durable (94) 67	
Figure 18 : Répartition des trois profils dans les neuf pays de l'étude EPIC. Source : OCDE, 2022 (60)69	
Figure 19 : Régimes alimentaires déséquilibrés : le passage de la pénurie à la surconsommation ¹ (128)	80
Figure 20 : Contribution (en% de g) des groupes d'aliments dans les trois meilleurs régimes obtenus par différentes approches d'identification de régimes durables ¹ (137)	82
Figure 21 : Contribution (%) des groupes d'aliments aux émissions de GES, stratifiée par sexe et ajustée sur un apport énergétique de 2 500 kcal pour les femmes (A) et les hommes (B) (143)	84
Figure 22 : Changements absolus de la consommation alimentaire (A) et des émissions de gaz à effet de serre (GHGE) (B) par groupe d'aliments ¹ (126)	85

Figure 23 : Émissions de gaz à effet de serre (GHGE), utilisation totale de l'eau (TWU), utilisation des terres et coût du régime alimentaire selon les quartiles de l'indice ELDI (Eat-Lancet Diet Index), données de l'enquête CHNS (1997–2011) ¹ (141).....	86
Figure 24 : Diagramme de flux de l'échantillon d'étude	130
Figure 25 : Distribution de l'inertie totale (ACP)	134
Figure 26 : Dendrogramme de la partition à 5 clusters	134
Figure 27 : Contributions protéiques par groupe d'aliments selon les clusters ¹	137
Figure 28 : Sélection de l'échantillon de l'étude	147
Figure 29 : Trajectoires d'évolution de la consommation des 23 groupes d'aliments et de la qualité de l'alimentation (2014 à 2022), n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2,3}	153
Figure 30 : Trajectoires d'évolution de la consommation des 25 groupes d'aliments (g/j) de 2014 à 2022 selon les profils, n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2,3}	165
Figure 31 : Déterminants socioéconomiques de l'évolution de la consommation pour les 4 groupes d'aliments fortement associés au risque de mortalité (viandes rouges, viande transformée, légumineuses et produits céréaliers complets) entre 2014 et 2022, n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	175
Figure 32 : Indicateurs de durabilité selon les clusters ¹	186
Figure 33 : Coefficients budgétaires alimentaires selon les clusters et le mode de production (A) ; Coefficients budgétaires protéiques selon les clusters (B) ¹	190
Figure 34 : Trajectoires d'évolution des indicateurs de durabilité (2014 à 2022) selon les profils, n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	201
Figure 35 : DALYs évités au cours du temps (2014 à 2022) selon les profils (A) ¹ ; Contribution des groupes d'aliments à la variation des DALYs évités entre 2014 et 2022 selon les profils (B) ²	203
Figure 36 : Sélection de l'échantillon de l'étude	210
Figure 37 : Emissions de GES totales (A) et part d'aliments biologique dans le régimes global (B) dans profils de trajectoires alimentaires selon les scénarios ¹	218
Figure 38 : Consommation alimentaires (g/jour) optimisées dans les profils de trajectoires alimentaires selon les scénarios ^{1,2,3}	219

Liste des annexes

Annexe 1 : Variables alimentaires caractéristiques des clusters ¹	278
Annexe 2 : Consommation des groupes d'aliments selon les clusters (g/j) ¹	279
Annexe 3 : Consommations (g/j) des groupes d'aliments selon les clusters ^{1,2,3}	281
Annexe 4 : Apports en nutriments selon les clusters ^{1,2,3}	282
Annexe 5 : Caractéristiques sociodémographiques selon les vagues de l'étude ^{1,2,3}	284
Annexe 6 : Paramètres des modèles mixtes modélisant les trajectoires d'évolution des 23 groupes d'aliments (2014-2022), n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	286
Annexe 7 : Paramètres des modèles mixtes modélisant les déterminants socioéconomiques de la consommation dans le temps (2014-2022), pour les 4 groupes d'aliments fortement associés au risque de mortalité (viandes rouges, viande transformée, légumineuses, produits céréaliers complets), n =17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}	288
Annexe 8 : Coefficients budgétaires alimentaires (%) selon les clusters ^{1,2}	290
Annexe 9 : Coefficients budgétaires des aliments biologiques (%) selon les clusters ^{1,2}	291
Annexe 10 : Coefficients budgétaires de l'apport protéique (%) selon les clusters ^{1,2}	292
Annexe 11 : Estimation de l'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense en alimentation globale	293
Annexe 12 : Estimation de l'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense en apport protéique	294
Annexe 13 : Structure du coût protéique en fonction de la catégorie sociale	295
Annexe 14 : Structure du coût protéique dans les régimes alimentaires selon les catégories sociales pour les groupes d'aliments significatifs	296
Annexe 15 : Structure du coût protéique en fonction du niveau d'éducation	299
Annexe 16 : Structure du coût protéique dans les régimes alimentaires selon les niveaux d'éducation pour les groupes d'aliments significatifs	301
Annexe 17 : Contraintes nutritionnelles utilisées dans les modèles d'optimisation	303
Annexe 18 : Front de Pareto (GES vs DD ²) selon les scénarios par profil	305
Annexe 19 : Emissions de GES selon les scénarios par profil ¹	306
Annexe 20 : Consommations alimentaires (g/jour) optimisées dans les profils de trajectoires alimentaires ^{1,2}	312
Annexe 21 : Consommations alimentaires (g/jour) selon les scénarios par profil ¹	314
Annexe 22 : Apports en nutriments selon les scénarios par profil ¹	320
Annexe 23 : Part du bio dans le régime alimentaire selon les scénarios par profil ¹	328

Annexe 24 : Article publié « The nature of protein intake as a discriminating factor of diet sustainability: a multi-criteria approach ».....	334
Annexe 25 : Article publié « Dietary pattern trajectories in French adults of the NutriNet-Santé cohort over time (2014-2022): role of socio-economic factors ».....	366
Annexe 26 : Article publié « Dietary consumption trajectory profiles over time of French adults from the NutriNet-Santé cohort (2014-2022): multicriteria analysis of sustainability ».....	387

Liste des abréviations

ACV : Analyses du cycle de vie

ADEME : Agence de la Transition Écologique

AESA : Apport énergétique sans alcool

AET : Apport énergétique total

AIC : Akaike Information Criterion (Critère d'information d'Akaike)

ALA : Acide α -linoléinique

AMAP : Association pour le maintien d'une agriculture paysanne

ANCOVA : Analysis of Covariance (Analyse de covariance)

ANR : Agence Nationale de la Recherche

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

ANOVA : Analysis of Variance (Analyse de variance)

AREI : Average Relative Environmental Impact (Impact environnemental relatif moyen)

AS : Adequacy Score (Sous-score d'adéquation)

BASIC : Bureau d'Analyse Sociétale pour une Information Citoyenne

BE : Besoin énergétique

BIC : Bayesian Information Criterion (Critère d'information bayésien)

BMR : Basal Metabolic Rate (Métabolisme de base)

CAH : Classification ascendante hiérarchique

cDQI : Comprehensive Diet Quality Index (Indice global de qualité de l'alimentation)

CED : Cumulative Energy Demand (Demande énergétique cumulée)

CGDD : Commissariat général au développement durable

CHNS : China Health and Nutrition Survey (Enquête chinoise sur la santé et la nutrition)

CIM-10 : 10e révision de la Classification internationale des maladies

COP : Conférence des Parties (Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques)

CP : Composantes principales

CRA : Comparative Risk Assessment (Évaluation comparative des risques)

DAP : Disposition à payer

DALYs : Disability-Adjusted Life Years (Années de vie corrigées de l'incapacité)

DHA : Acide docosahexaénoïque

ELDI : Eat-Lancet Diet Index (Indice de régime Eat-Lancet)

EM : Erreurs standards

EPA : Acide eicosapentaénoïque

EPIC : (European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (Enquête Prospective

Européenne sur le Cancer et la Nutrition)

EpiDiet : Evaluate the Potential Impact of a Diet (Évaluer l'impact potentiel d'un régime)

EREN : Équipe de Recherche en Épidémiologie Nutritionnelle

ET : Écart-type

FAO : Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

FFQ : Food Frequency Questionnaire (Questionnaire de fréquence alimentaire)

FNSEA : Fédération nationale des syndicats d'exploitants agricoles

GBD : Global Burden of Disease (Charge mondiale de morbidité)

GBMTM : Group-Based Multi-Trajectory Modeling (Modélisation multi-trajectoire basée sur les groupes)

GBTM : Group-Based Trajectory Modeling (Modélisation de trajectoires basée sur les groupes)

GES : Gaz à effet de serre

GHGE : Greenhouse Gas Emissions (Émissions de gaz à effet de serre)

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

HCSP : Haut Conseil de la santé publique

HiDiet : Indicateur composite estimant l'impact du régime sur la morbidité et la mortalité à long terme

hPDI : Healthy Plant-Based Diet Index (Indice d'alimentation végétale saine)

HRS : Health Risk Score (Score de risque sanitaire)

IC : Intervalle de confiance

IHME : Institute for Health Metrics and Evaluation (Institut de métrologie sanitaire et d'évaluation)

IMC : Indice de masse corporelle

INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

IPAQ : International Physical Activity Questionnaire (Questionnaire international d'activité physique)

KG CO₂éq : Kilogrammes d'équivalents dioxyde de carbone

MAR : Missing At Random (Données manquantes aléatoirement)

MET : Metabolic Equivalent of Task (Équivalent métabolique d'une tâche)

MG végétales : Matières grasses végétales

MS : Moderation Score (Sous-score de modération)

M- : Non-ménopausée

M+ : Ménopausée

NHANES : National Health and Nutrition Examination Survey (Enquête nationale sur la santé et la nutrition)

NHDF : Nutrition Health Disparities Framework (Cadre sur les inégalités nutritionnelles et sanitaires)

ODD : Objectifs de développement durable

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

OMS : Organisation mondiale de la santé

Org-FFQ : Organic Food Frequency Questionnaire (Questionnaire de fréquence alimentaire spécifique aux aliments biologiques)

PAC : Politique agricole commune

PANDiet : Diet Quality Index based on the Probability of Adequate Nutrient Intake (Indice de qualité du régime basé sur la probabilité d'un apport adéquat en nutriments)

PDI : Plant-Based Diet Index (Indice d'alimentation à base de plantes)

PDB : Power Distance Belief (Croyance en la distance hiérarchique)

PC : Poids corporel

PGS : Produits gras et sucrés

PGSS : Produits gras, salés ou sucrés

PNA : Programme national pour l'alimentation

PNNS : Programme national nutrition santé

PNNS-GS2 : Programme National Nutrition Santé - Guideline Score 2

pDQI : Plant-Based Diet Quality Index (Indice de qualité de l'alimentation végétale)

pRecipe : Partial Recipe

PPC : Plats préparés et/ou composés

Produits C. complets : Produits céréaliers complets

Prof. : Profession

Prot. végétales : Protéines d'origine végétale

P0 à P5 : Profils alimentaires 0 à 5

RR : Risques relatifs

RMB : Yuan chinois

SCP : Paradigme Structure-Conduite-Performance

SDH : Social Determinants of Health (Déterminants sociaux de la santé)

SDI : Sustainable Diet Index (Indice de durabilité alimentaire)

SFS : Sustainable Food System (Système alimentaire durable)

SHEIA15 : Swedish Healthy Eating Index for Adults 2015 (Indice suédois d'alimentation saine pour adultes 2015)

SNANC : Stratégie nationale pour l'alimentation, la nutrition et le climat

TMREL : Theoretical Minimum-Risk Exposure Level (Niveau théorique d'exposition à risque minimal)

TVA : Taxe sur la valeur ajoutée

TWU : Total Water Use (Consommation totale d'eau)

UC : Unité de consommation

uPDI : Unhealthy Plant-Based Diet Index (Indice d'alimentation végétale malsaine)

V-test : Valeur test

WWF : World Wildlife Fund (Fonds mondial pour la nature)

YLDs : Years Lived with Disability (Années vécues avec incapacité)

YLLs : Years of Life Lost (Années de vie perdues par mortalité prématurée)

Chapitre 1 : Introduction Générale

1. Un système alimentaire au cœur des défis globaux

1.1. Qu'est-ce qu'un système alimentaire ?

La FAO définit les systèmes alimentaires comme l'ensemble des acteurs et des activités interdépendantes qui participent à la création de valeur, depuis la production jusqu'à l'élimination des denrées alimentaires (1). Ce processus comprend notamment la production, la transformation, la distribution et la consommation des produits, majoritairement issus des secteurs agricoles, forestier et halieutique. Inscrits dans des dynamiques économiques, sociales et environnementales plus larges, les systèmes alimentaires intègrent divers sous-systèmes, tels que les systèmes de production agricole, d'approvisionnement en intrants ou de gestion des déchets, et entretiennent des interrelations étroites avec d'autres systèmes clés, comme ceux de l'énergie, du commerce ou de la santé. Dès lors, toute transformation structurelle affectant un système alimentaire peut également découler d'un changement survenu au sein de ces systèmes connexes (1). A titre illustratif, une politique visant à promouvoir une utilisation accrue des biocarburants dans le système énergétique aura des répercussions importantes sur le système alimentaire (1).

Ces dynamiques inter systémiques ont été mises en lumière par la FAO à travers le concept de la « **roue du système alimentaire** » (1), une représentation structurée selon les composantes clés du système et leurs interconnexions (**Figure 1**).

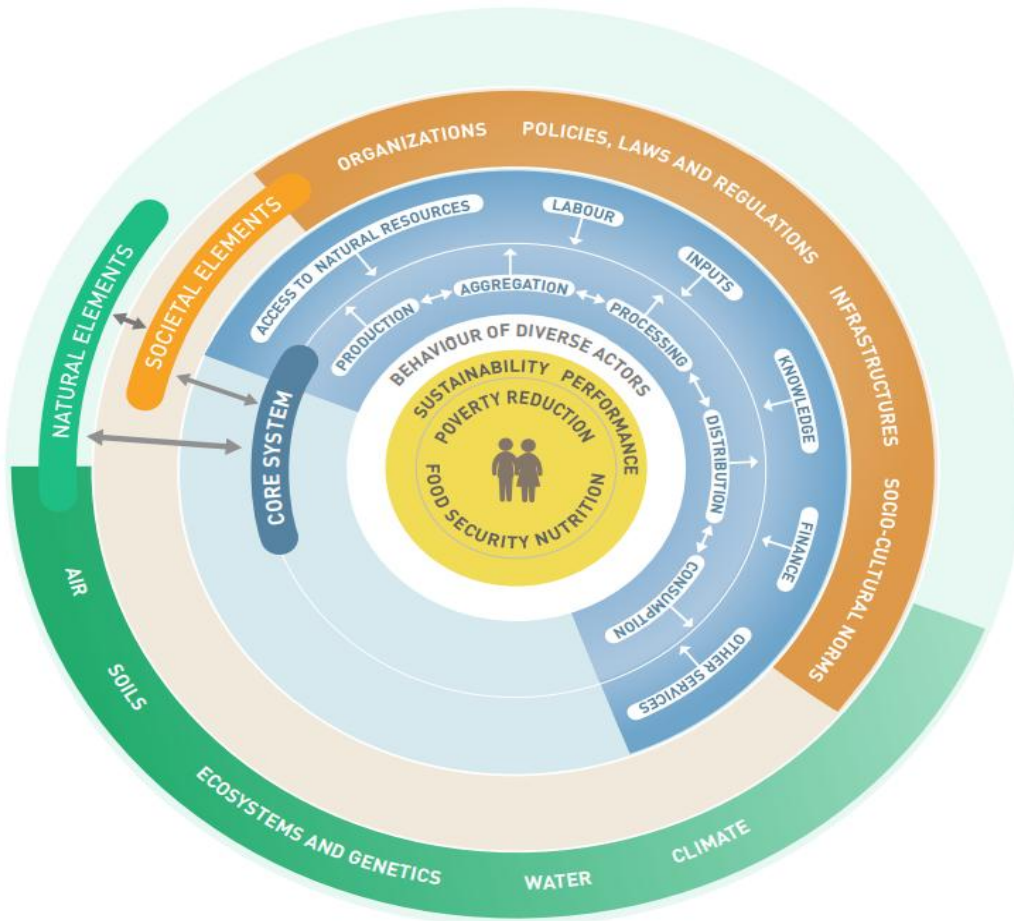


Figure 1 : Roue du système alimentaire, « The food system wheel ». Source : FAO, 2018 (1)

Le **cœur du système** comprend les activités de production, de transformation, de distribution, de consommation, et de gestion des déchets. Les **services de soutien** comprennent les activités relatives à la finance, au transport, et à la régulation. Le **contexte sociétal** couvre les politiques, les lois, les infrastructures et les normes culturelles. Et enfin, le **contexte naturel**, qui comprend l’eau, le sol, l’air, le climat, et la biodiversité.

1.2. Introduction aux défis mondiaux liés aux systèmes alimentaires

1.2.1. L’urgence climatique comme catalyseur systémique

a. Qu’est-ce que les limites planétaires ?

Les limites planétaires correspondent à des seuils scientifiquement définis délimitant l'espace opérationnel sûr à l'intérieur duquel l'humanité peut se développer sans risquer de perturber la stabilité du système terrestre et d'altérer les conditions écologiques caractéristiques de l'Holocène. Franchir ces seuils pourrait provoquer des changements environnementaux majeurs et irréversibles, menaçant le développement économique et l'équité à l'échelle mondiale (2,3).

Le cadre conceptuel des limites planétaires identifie neuf processus biophysiques critiques (2). Élaboré en 2009 par le « *Stockholm Resilience Centre* » et le « *Potsdam Institute for Climate Impact Research* », ce modèle quantifie précisément les seuils critiques à ne pas franchir pour éviter des modifications environnementales brusques ou irréversibles. Les neuf limites identifiées sont : le changement climatique, l'érosion de la biodiversité (intégrité de la biosphère), les perturbations des cycles biogéochimiques (notamment ceux de l'azote et du phosphore), les modifications d'usage des terres, l'acidification des océans, la consommation d'eau douce, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, l'introduction d'entités nouvelles (polluants chimiques et plastiques), ainsi que la charge atmosphérique en aérosols. En 2023, six de ces neuf limites avaient été franchies (3), parmi lesquelles figurent le changement climatique et la perte de l'intégrité de la biosphère (**Figure 2**).

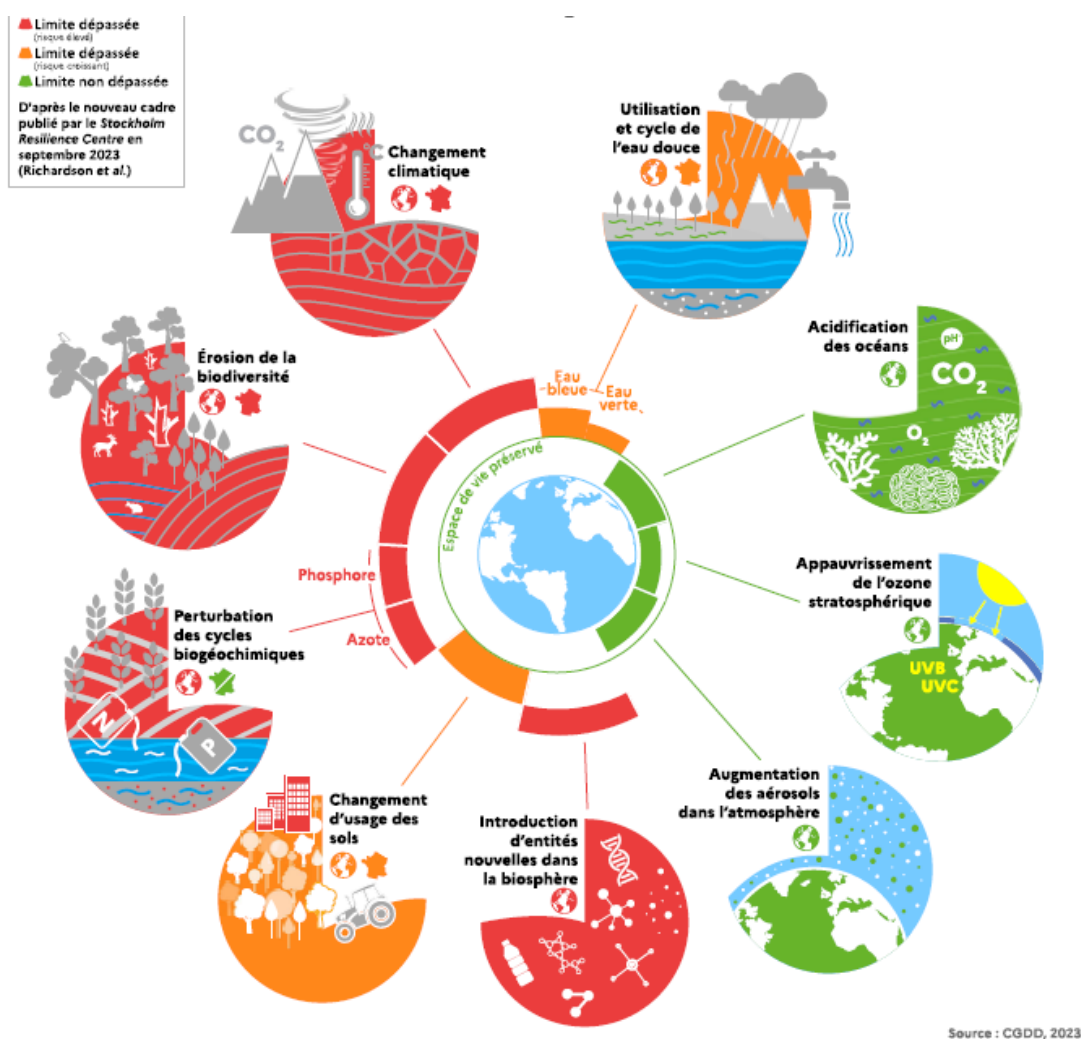


Figure 2 : Les neuf limites planétaires. Source : CGDD,2023 (4)

Ces dépassements compromettent la résilience des écosystèmes et accentuent les risques de basculement systémique. Ce cadre met également en évidence les interconnexions entre les processus environnementaux : le dépassement d'une limite planétaire tend à renforcer les pressions exercées

sur d'autres. Cette interdépendance est étayée par les travaux en science des systèmes terrestres (5,6), qui appréhendent la Terre comme un système intégré reposant sur des mécanismes de régulation partiels. Ainsi, la déforestation, relevant de la limite associée à la modification de l'usage des sols, contribue simultanément à l'augmentation des émissions de CO₂, aggravant le changement climatique, tout en accélérant l'érosion de la biodiversité. L'enjeu majeur consiste dès lors à inscrire les activités humaines dans un « espace de fonctionnement sûr », condition essentielle à l'atteinte des Objectifs de Développement Durable (ODD) (Figure 3) (7).



Figure 3 : Objectifs de Développement Durable. Source : FAO, 2015 (8)

L'utilisation des terres et les activités agricoles sont identifiées comme les principaux déterminants du dépassement des limites planétaires liées aux changements dans l'utilisation des sols, à l'altération de l'intégrité de la biosphère, aux perturbations des flux biogéochimiques et au cycle de l'eau douce. Ces activités contribuent également de manière notable à la perturbation anthropique des limites associées au changement climatique, aux entités nouvelles et à la charge atmosphérique en aérosols (9). Ces transgressions sont étroitement liées à la dégradation des terres ainsi qu'à la diminution consécutive de leur productivité et de leur complexité écologique.

b. Le rôle des systèmes alimentaires dans la transgression des limites planétaires

Changement climatique : Contribution de 31 % aux émissions globales

Le changement climatique désigne l'altération durable des paramètres climatiques, principalement due à l'augmentation des gaz à effet de serre (GES) liés aux activités humaines telles que la combustion d'énergies fossiles, la déforestation et l'agriculture (10). Ces gaz (CO₂, CH₄, N₂O) renforcent l'effet de serre en piégeant le rayonnement infrarouge, accentuant ainsi le réchauffement global (11).

L'année 2024 a été confirmée comme l'année la plus chaude jamais enregistrée à l'échelle mondiale (12,13). Plusieurs institutions internationales indépendantes s'accordent à la reconnaître comme la première année civile ayant franchi le seuil symbolique de +1,5 °C par rapport à l'ère préindustrielle (12–15). Malgré certaines divergences méthodologiques entre les jeux de données (16), la moyenne des mesures indique un réchauffement global de +1,55 °C en 2024 (13).

Dans ce contexte, les systèmes alimentaires constituent un levier d'action majeur. Le 6^e rapport du GIEC estime que l'ensemble de ces activités, depuis la production agricole et l'utilisation des terres jusqu'à la transformation, le transport, la distribution et la consommation, contribue à environ 21 à 37 % des émissions anthropiques de GES (17). Le rapport de la FAO (2022) attribue aux systèmes alimentaires 31 % des émissions mondiales de GES en 2020, un chiffre en baisse relative par rapport à 2000 (38 %), du fait de la croissance plus rapide des émissions hors secteur alimentaire (18). Parmi les principales sources d'émissions du système agroalimentaire figurent la fermentation entérique des ruminants (17,6 %), la gestion des effluents d'élevage (8,3 %), les engrais synthétiques (3,8 %) et la riziculture (4,3 %) (**Figure 4**).

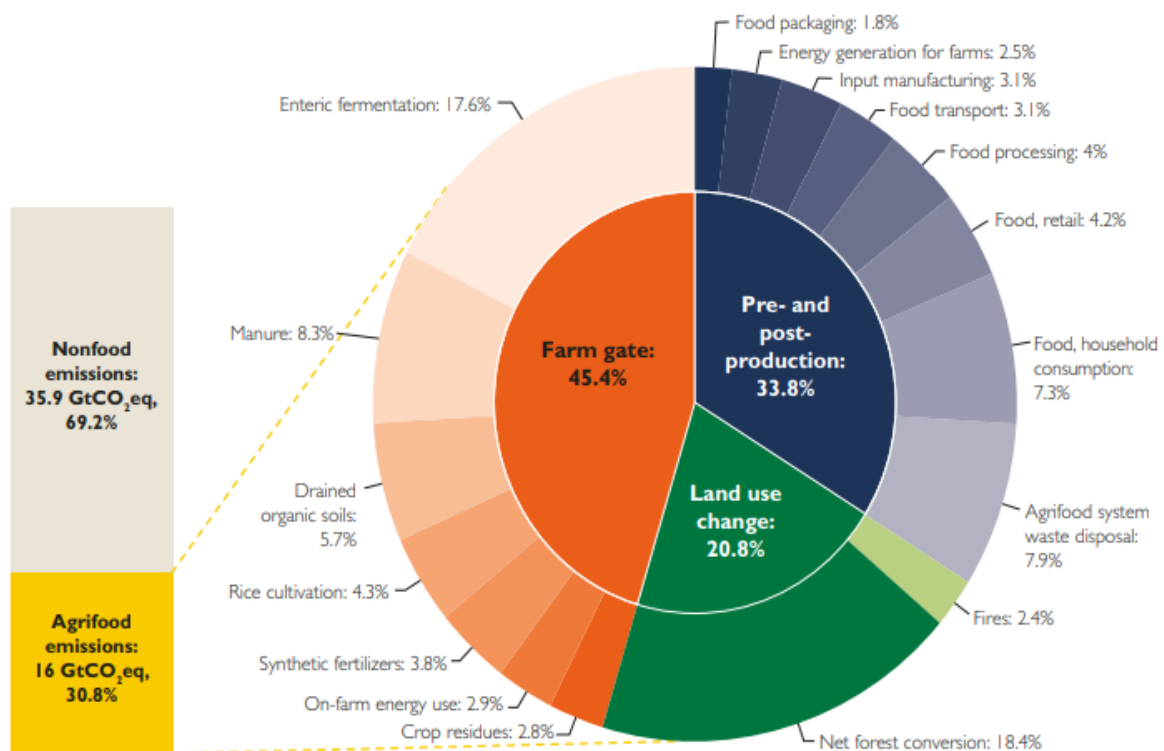


Figure 4 : Ventilation des sources d'émissions du système agroalimentaire mondial. Source : Banque Mondiale sur la base des données FAOSTAT 2023a (19)

Intégrité de la biosphère : 86 % des espèces menacées impactées

L'intégrité de la biosphère désigne la capacité des écosystèmes à maintenir leur structure, leurs fonctions écologiques ainsi que leur diversité génétique (20).

Les systèmes alimentaires représentent le principal facteur de dégradation de cette intégrité, contribuant jusqu'à 80 % à son érosion (9). En effet, l'intensification et l'expansion des pratiques agricoles induisent la destruction et la fragmentation des habitats naturels, exerçant ainsi une pression directe sur la biodiversité. En effet, l'agriculture est impliquée dans les menaces pesant sur 86% des 28 000 espèces actuellement répertoriées comme étant en danger d'extinction par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (21). Par ailleurs, le secteur agricole mobiliserait plus des deux tiers de la productivité primaire nette terrestre, c'est-à-dire de l'énergie captée par photosynthèse sur les surfaces continentales (22). À cet égard, les animaux d'élevage, principalement les bovins et les porcins, représentent aujourd'hui environ 60 % de la biomasse totale des mammifères terrestres, contre seulement 4% pour les mammifères sauvages (23).

Flux biogéochimiques : 85 à 95 % des perturbations imputables aux engrais agricoles

Les flux biogéochimiques désignent les perturbations anthropiques des cycles naturels de l'azote (N) et du phosphore (P), principalement induites par les activités agricoles. Depuis la révolution industrielle, l'intensification de l'utilisation de ces nutriments a profondément altéré leur cycle naturel au sein des écosystèmes terrestres et aquatiques. Bien que cette intensification ait permis d'accroître substantiellement les rendements agricole, contribuant à la sécurité alimentaire d'une population mondiale en expansion, elle s'accompagne de conséquences environnementales majeures (24).

La limite planétaire relative à l'azote est aujourd'hui largement transgressée : les émissions annuelles d'azote réactif d'origine anthropique atteignent environ 150 Mt, soit près du double du seuil critique défini, compris entre 62 et 82 Mt par an. Concernant le phosphore, les apports globaux aux océans via les systèmes d'eau douce s'élèvent à 22 Mt/an, dépassant la borne inférieure de la zone d'incertitude (11 Mt), bien que restant en deçà de sa borne supérieure (100 Mt). À l'échelle continentale, cependant, les apports de phosphore par les engrais excèdent déjà le seuil de précaution, atteignant 14,2 Mt/an contre une valeur de référence de 11,2 Mt/an (24). Ces perturbations ont des répercussions importantes, notamment sur la qualité et la stabilité des sols. Dans l'Union européenne, on estime qu'en 2016, environ 25 % des terres étaient soumises à des taux d'érosion dépassant les seuils de durabilité (soit >2 t/ha/an), et que plus de 6,6 % des terres agricoles présentaient une érosion sévère (>11 t/ha/an) (25). Selon une revue menée par Panagos et al. (26), de telles conditions d'érosion

peuvent entraîner une réduction moyenne de 8 % de la productivité agricole dans les parcelles intensément cultivées.

Utilisation des sols : 80 à 90 % de la déforestation tropicale et de la perte des zones humides imputables aux systèmes alimentaires

La modification de l'usage des terres désigne la conversion des écosystèmes naturels, tels que les forêts, prairies ou zones humides, en terres agricoles ou pâturages. Ce processus, largement motivé par les besoins croissants en production alimentaire, constitue l'un des principaux facteurs de perturbation des équilibres écosystémiques à l'échelle mondiale.

Actuellement, environ un tiers des surfaces terrestres émergées sont dédiées à des usages agricoles, ce qui représente une pression considérable sur les milieux naturels (27). L'un des indicateurs clés de cette pression est la réduction de la couverture forestière mondiale : seules 60 % des forêts originelles subsistent aujourd'hui, un niveau largement inférieur au seuil de sécurité écologique fixé à 75 %, nécessaire au maintien des fonctions régulatrices et de résilience des systèmes terrestres (28). Par ailleurs, les pratiques agricoles intensives, notamment la généralisation de la monoculture, ont conduit à une érosion génétique massive des ressources végétales cultivées. Depuis 1900, on estime que 75 % des variétés culturales ont disparu (29). Une méta-analyse indique que 95 % des études recensées font état d'une perte de diversité génétique agricole, dont 80 % rapportent une érosion significative. Cette homogénéisation des cultures fragilise la résilience des systèmes alimentaires, les rendant plus vulnérables aux maladies, aux ravageurs et aux effets du changement climatique (29).

Eau douce : 70 % des prélèvements mondiaux consacrés à l'agriculture

L'altération des ressources en eau douce fait référence aux perturbations quantitatives et qualitatives des réserves hydriques renouvelables, résultant majoritairement des activités humaines, notamment agricoles. Cette dimension est centrale dans l'analyse des limites planétaires, compte tenu de la raréfaction croissante des ressources disponibles et de leur rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes.

Actuellement, l'agriculture représente environ 70 % des prélèvements mondiaux en eau douce, ce qui en fait de loin le secteur le plus consommateur de cette ressource. Parmi ces volumes, près de 85 % sont effectivement consommés, c'est-à-dire non restitués aux milieux, dans le cadre de la production agricole irriguée (30). L'intensification de l'irrigation est associée à plusieurs impacts environnementaux notables. Elle contribue à la diminution des débits fluviaux, à la réduction de l'humidité des sols de surface (31) et à l'épuisement progressif des nappes phréatiques (32). Ces

phénomènes affectent non seulement la disponibilité future de l'eau pour les usages humains, mais également la stabilité des écosystèmes aquatiques et terrestres.

Nouvelles entités : contaminants agricoles dans les sols et les milieux aquatiques

La catégorie des « nouvelles entités » dans le cadre des limites planétaires désigne l'introduction dans l'environnement de substances chimiques de synthèse ou de composés naturels modifiés, tels que les plastiques, les pesticides, les médicaments vétérinaires ou les métaux lourds, dont les effets cumulatifs ou synergiques sur les écosystèmes sont encore mal connus. Par « composés naturels modifiés », on entend des composés dont la forme, la concentration ou la répartition a été altérée par l'activité humaine, les rendant plus mobiles, plus persistants ou plus réactifs que dans leur état naturel.

À ce jour, bien que la contribution précise des systèmes alimentaires à la pollution globale par les substances chimiques reste partiellement quantifiée, de nombreuses études soulignent le rôle central de l'agriculture dans cette dynamique (33). L'usage intensif de pesticides, d'antibiotiques vétérinaires et de plastiques dans les chaînes d'approvisionnement agroalimentaires engendre des impacts bien documentés sur la biodiversité (34,35) ainsi que sur la sécurité sanitaire des aliments (36–38).

En France, une étude menée sur 47 sites représentatifs de différents contextes d'usage des terres, agricoles et non agricoles, a révélé la présence de résidus de pesticides dans 98 % des sols analysés, y compris dans des zones supposées non exposées telles que les forêts, les prairies permanentes ou les terres cultivées en agriculture biologique (39). De manière complémentaire, la contamination des milieux aquatiques par les produits phytosanitaires est également préoccupante : entre 2005 et 2021, jusqu'à 22 % des stations de surveillance des cours d'eau ont présenté des concentrations d'imidaclopride, un insecticide néonicotinoïde, supérieures au seuil de toxicité pour les invertébrés aquatiques (20 ng/L), notamment dans les bassins de la Loire, de la Seine et de la Vilaine (40). Par ailleurs, l'utilisation massive d'antibiotiques en élevage constitue un facteur majeur dans l'émergence et la dissémination de la résistance antimicrobienne. Plusieurs études européennes ont mis en évidence une corrélation entre l'usage vétérinaire de certaines classes d'antimicrobiens et la présence de bactéries résistantes chez l'humain (41).

c. Pressions environnementales associées aux groupes alimentaires

L'analyse des impacts environnementaux des systèmes alimentaires met en lumière des disparités majeures entre les groupes d'aliments, tant en termes d'intensité que de nature des pressions exercées. Plusieurs travaux récents, fondés sur des analyses du cycle de vie (ACV), ont permis de caractériser avec précision ces impacts en mobilisant des indicateurs complémentaires : émissions de gaz à effet de serre (GES), usage des terres, consommation d'eau douce (souvent pondérée par la

rareté), ainsi que les rejets contribuant aux phénomènes d'acidification et d'eutrophisation des milieux.

L'étude de Clark et al. (42) apporte un éclairage particulièrement complet sur ce sujet, en comparant quinze groupes d'aliments selon ces cinq dimensions environnementales. Les auteurs expriment les résultats de manière relative, en prenant comme référence l'impact d'une portion de légumes (valeur normalisée à 1), ce qui permet d'appréhender les ordres de grandeur. Les viandes rouges non transformées (notamment le bœuf et l'agneau) apparaissent comme les plus fortement émettrices (**Figure 5**), et leurs pressions sont en moyenne 16 à 230 fois plus élevées que ceux des légumes, selon les indicateurs. Elles cumulent les scores les plus néfastes en termes d'émissions de GES, d'usage des terres, d'eutrophisation et d'acidification. Les viandes rouges transformées suivent, avec des impacts moindres mais toujours significatifs, notamment en raison de la réduction de la taille des portions.

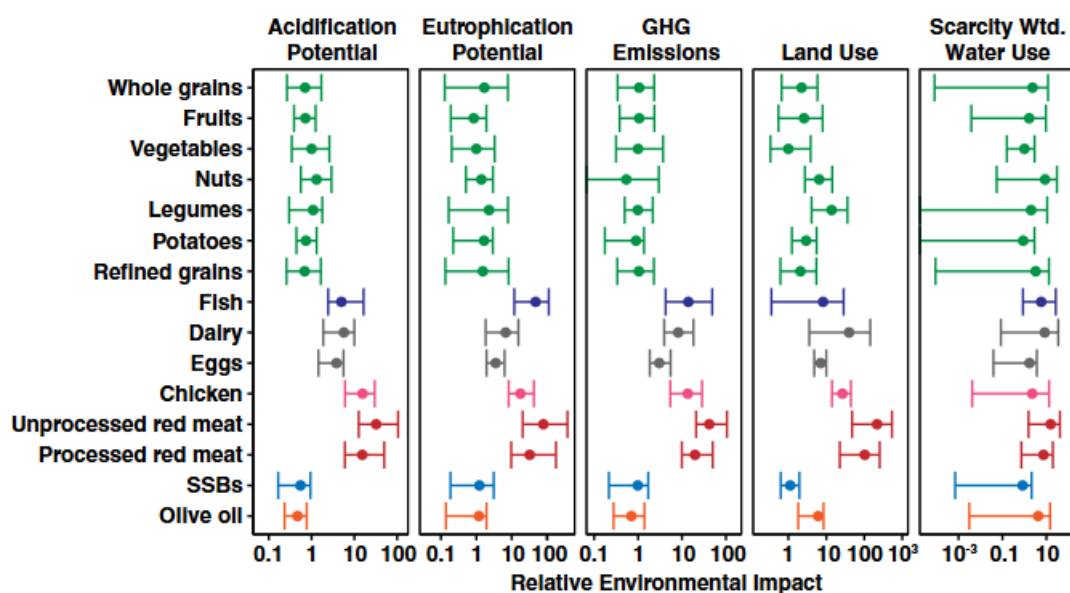


Figure 5 : Impacts environnementaux relatifs (échelle logarithmique) de 15 groupes d'aliments selon cinq indicateurs¹ (42)

¹ Les cinq indicateurs de pressions environnementales sont : potentiel d'acidification, potentiel d'eutrophisation, émissions de gaz à effet de serre (GES), usage des terres et consommation d'eau douce pondérée par la rareté. Les valeurs correspondent aux impacts relatifs par portion, normalisés à ceux des légumes (valeur de référence = 1). Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance entre les 5^{ème} et 95^{ème} percentiles. La consommation d'eau est exprimée en équivalent eau pondéré par la rareté régionale. Données issues de l'analyse de cycle de vie présentée par Clark et al. (2019) (42).

Les autres produits d'origine animale, notamment volaille, œufs, produits laitiers et poissons présentent des pressions intermédiaires, généralement comprises entre 3 et 40 fois ceux des légumes. Toutefois, la variabilité est notable selon les modes de production. Par exemple, les poissons issus de la pêche par chalutage ou de systèmes d'élevage intensifs en circuit fermé affichent des niveaux d'impact nettement plus élevés que ceux issus de pratiques plus extensives.

À l’opposé, les aliments d’origine végétale peu transformés, tels que les légumineuses, fruits, légumes, céréales complètes ou oléagineux, se situent en bas de l’échelle des pressions environnementales. Leurs scores sont généralement inférieurs à 5, et souvent bien moindres selon les indicateurs considérés. Une exception partielle concerne certaines graines oléagineuses, qui présentent une empreinte eau relativement importante par tonne produite, mais cet impact s’atténue lorsque l’on rapporte les valeurs à la calorie ou à la portion protéique. Les corrélations entre les différents indicateurs sont globalement positives, ce qui signifie que les aliments à fort impact sur un critère tendent aussi à être pénalisants sur les autres. Seule l’association entre émissions de GES et consommation d’eau pondérée par la rareté ne ressort pas comme significative, suggérant une certaine indépendance entre ces deux dimensions.

Pour synthétiser ces résultats, les auteurs ont introduit un indicateur composite, dit AREI (Average Relative Environmental Impact), qui combine les cinq pressions environnementales en une valeur moyenne, toujours exprimée relativement aux légumes. Là encore, les céréales complètes, fruits, légumes et noix obtiennent les meilleurs scores (AREI < 4), tandis que le poisson (AREI ≈ 14), les viandes rouges transformées (AREI ≈ 37) et non transformées (AREI ≈ 73) s’inscrivent parmi les aliments les plus polluants.

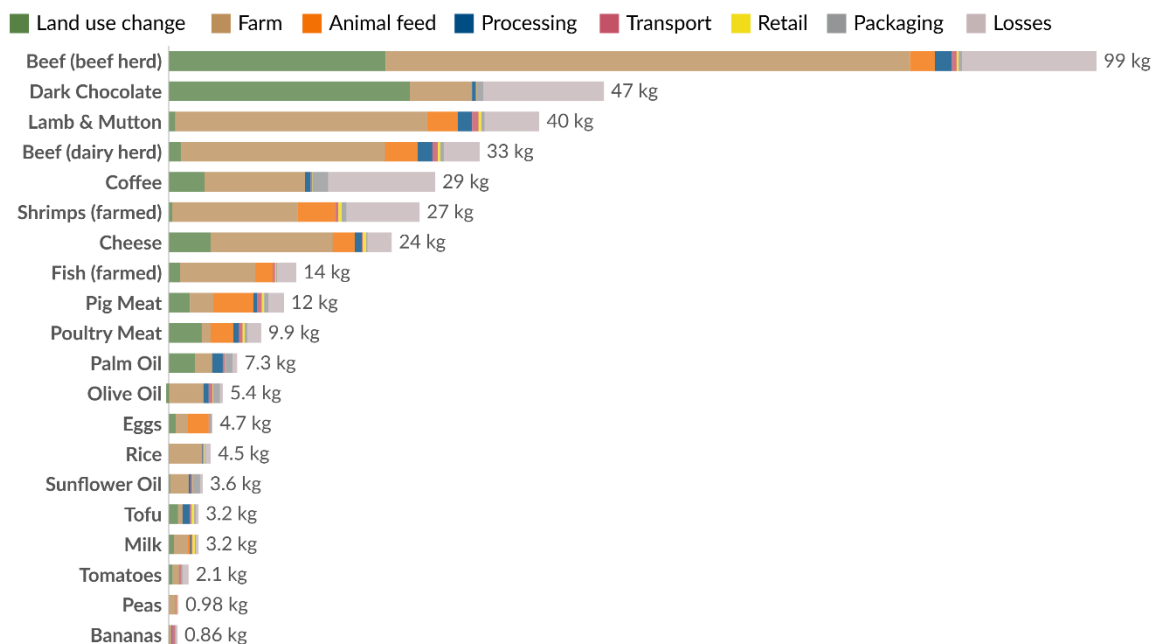
Ces résultats sont cohérents avec ceux présentés dans le « Global Nutrition Report 2021 » (43), qui confirme la prédominance des aliments d’origine animale dans les pressions environnementales globales des systèmes alimentaires mondiaux. Ce rapport mobilise cinq indicateurs similaires : GES, utilisation des sols, eau douce, azote et phosphore, et souligne l’empreinte particulièrement lourde du bœuf et de l’agneau, dont les émissions de GES sont environ dix fois supérieures à celles du porc, de la volaille ou des produits laitiers, et plus de dix fois supérieures à celles des aliments végétaux.

À titre d’exemple, les aliments d’origine animale concentrent à eux seuls 85 % des terres utilisées pour l’alimentation, 80 % des émissions de méthane et de protoxyde d’azote, ainsi que plus de la moitié des émissions totales du système alimentaire. En ce qui concerne les apports en fertilisants, ils représentent environ 25 % de l’azote et du phosphore utilisés dans l’agriculture, principalement via les cultures fourragères et la production de concentrés destinés à l’élevage.

Le poids environnemental des productions animales contribue significativement au dépassement des limites planétaires (43). Par exemple, les émissions alimentaires dépassent de 74 % le seuil compatible avec l’objectif de +2°C de l’Accord de Paris ; les surfaces cultivées sont 60 % au-dessus de la limite estimée durable, et les excès sont similaires pour l’eau douce, l’azote et le phosphore. Les modélisations montrent que si les régimes actuels des pays à hauts revenus, notamment ceux

d'Amérique du Nord ou d'Océanie, étaient généralisés à l'échelle mondiale, les pressions exercées sur les systèmes naturels seraient multipliées par 5 à 6 par rapport aux seuils de durabilité.

Pour compléter cette approche synthétique, il est également instructif de considérer les émissions de GES exprimées en équivalents CO₂ par kilogramme de produit, à différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement (production, transformation, transport, etc.). La **Figure 6** suivante, issue de la base de données de Poore et Nemecek (44), illustre la répartition des émissions par phase du système (de la ferme à l'assiette) pour une sélection d'aliments :



Data source: Joseph Poore and Thomas Nemecek (2018).

OurWorldinData.org/environmental-impacts-of-food | CC BY

Figure 6 : Émissions de gaz à effet de serre des aliments le long de la chaîne d'approvisionnement (kg CO₂eq / kg d'aliment)¹ (45)

¹ Émissions de gaz à effet de serre associées à un kilogramme de produit alimentaire, réparties selon les principales étapes de la chaîne d'approvisionnement : changement d'usage des terres, production agricole, alimentation animale, transformation, transport, distribution, emballage et pertes. Les valeurs sont exprimées en kilogrammes d'équivalents dioxyde de carbone (kg CO₂eq), prenant en compte l'ensemble des gaz à effet de serre pondérés par leur potentiel de réchauffement global sur 100 ans (GWP100). Données issues de l'analyse de cycle de vie publiée par Poore et Nemecek (2018) (44).

Cette figure permet d'identifier clairement le rôle prédominant de la phase de production agricole dans les émissions totales, en particulier pour les produits d'origine animale. À titre d'exemple, le bœuf issu de troupeaux allaitants génère en moyenne 99 kg CO₂eq par kilogramme, un niveau largement supérieur à celui de toutes les autres catégories. À l'opposé, les légumineuses (0,98 kg CO₂eq), les bananes (0,86 kg CO₂eq) et les tomates (2,1 kg CO₂eq) présentent une empreinte carbone particulièrement faible. Notons que certains aliments comme le chocolat ou le café, bien que végétaux, génèrent des niveaux d'émissions relativement élevés en raison des pertes post-récolte, de la

transformation et du transport sur de longues distances. Cette ventilation par étapes de la chaîne révèle également que le transport, souvent mis en avant dans le débat public, ne constitue qu'une part marginale des émissions totales, sauf pour les produits fortement importés ou périssables. Ce sont avant tout les pratiques agricoles (changement d'usage des terres, intrants, alimentation animale, etc.) qui expliquent l'essentiel des différences d'impact entre groupes d'aliments.

L'ensemble de ces éléments converge vers un constat évident : les aliments d'origine animale, notamment les viandes rouges, sont ceux qui exercent les pressions environnementales les plus fortes. À l'inverse, les aliments d'origine végétale, peu transformés et localement produits, constituent une voie prometteuse pour réduire l'empreinte écologique des systèmes alimentaires.

1.2.2. Alimentation et charge mondiale de morbidité : consommations à risque et expositions invisibles

Les régimes alimentaires défavorables, trop riches en glucides simples, en lipides notamment saturés et pauvres en nutriments essentiels, constituent un facteur de risque prépondérant. Selon les données de l'étude « *Global Burden of Disease* » (GBD) 2021 (46), ces régimes sont désormais le premier facteur de risque comportemental associé au fardeau mondial de morbidité, devançant le tabac et l'alcool. Le diabète en particulier illustre cette tendance alarmante tel que sa charge mondiale en Année de Vie Corrigée du facteur d'Invalidité (DALYs en anglais, pour Disability-adjusted life years) a augmenté de plus de 14 % entre 2010 et 2021, en grande partie en raison d'environnements alimentaires favorisant la consommation de produits sucrés et transformés. Ces pathologies nutritionnelles affectent toutes les régions du monde, mais pèsent plus lourdement sur les pays à faibles revenus et les groupes socioéconomiquement défavorisés.

Les principales causes de décès prématuré liées à l'alimentation comprennent les cardiopathies ischémiques (188,3 millions de DALYs), les accidents vasculaires cérébraux (160,4 millions de DALYs) et le diabète (78,9 millions de DALYs). Bien que la pandémie de COVID-19 ait constitué la première cause de mortalité en 2021, les maladies liées à l'alimentation constituent des causes chroniques et persistantes. En parallèle, les années de vie avec une incapacité (YLDs) dues à des troubles métaboliques ou nutritionnels (carences, excès ou surcharge pondérale) augmentent également, particulièrement dans les pays à revenu intermédiaire (46).

La situation en France est à l'image de ces tendances. En 2020, 50 % des adultes présentaient un surpoids, dont 20 % souffraient d'obésité. En 30 ans, la prévalence de l'obésité a doublé chez les adultes et a été multipliée par quatre chez les jeunes adultes (18-24 ans). Par ailleurs, 47 % des adultes dépassent les recommandations de l'OMS en matière de consommation de sucres (47). En 2015, 40 % des décès en France étaient imputables à l'alimentation, dont 15 % directement liés à une mauvaise

qualité alimentaire et 26 % via des facteurs de risque associés (surpoids, hypertension, cholestérol, etc.) (47). Cette situation est aggravée par un accès inégal aux soins nutritionnels (repas adaptés, suivi médical), en particulier pour les personnes en situation de vulnérabilité (48).

Au niveau européen, les maladies non transmissibles liées à l'alimentation sont la première cause de mortalité prématurée, représentant 86 % des décès prématurés (49). Plus de la moitié des adultes dans 46 pays européens souffrent aujourd'hui de surpoids et d'obésité, illustrant l'ampleur de la crise nutritionnelle à l'échelle continentale.

Comme le montre la **Figure 7** ci-dessous, la proportion de décès prématurés attribuables aux facteurs alimentaires n'a cessé d'augmenter entre 2010 et 2018 dans la plupart des régions du monde, avec des niveaux particulièrement élevés en Europe, en Amérique du Nord et en Océanie (43). Ce fardeau résulte en grande partie d'un apport insuffisant en aliments bénéfiques (céréales complètes, fruits, légumes), mais aussi d'un excès de produits délétères tels que les viandes transformées et les boissons sucrées. La combinaison de ces déséquilibres contribue à la progression des maladies chroniques et à la surcharge des systèmes de santé.

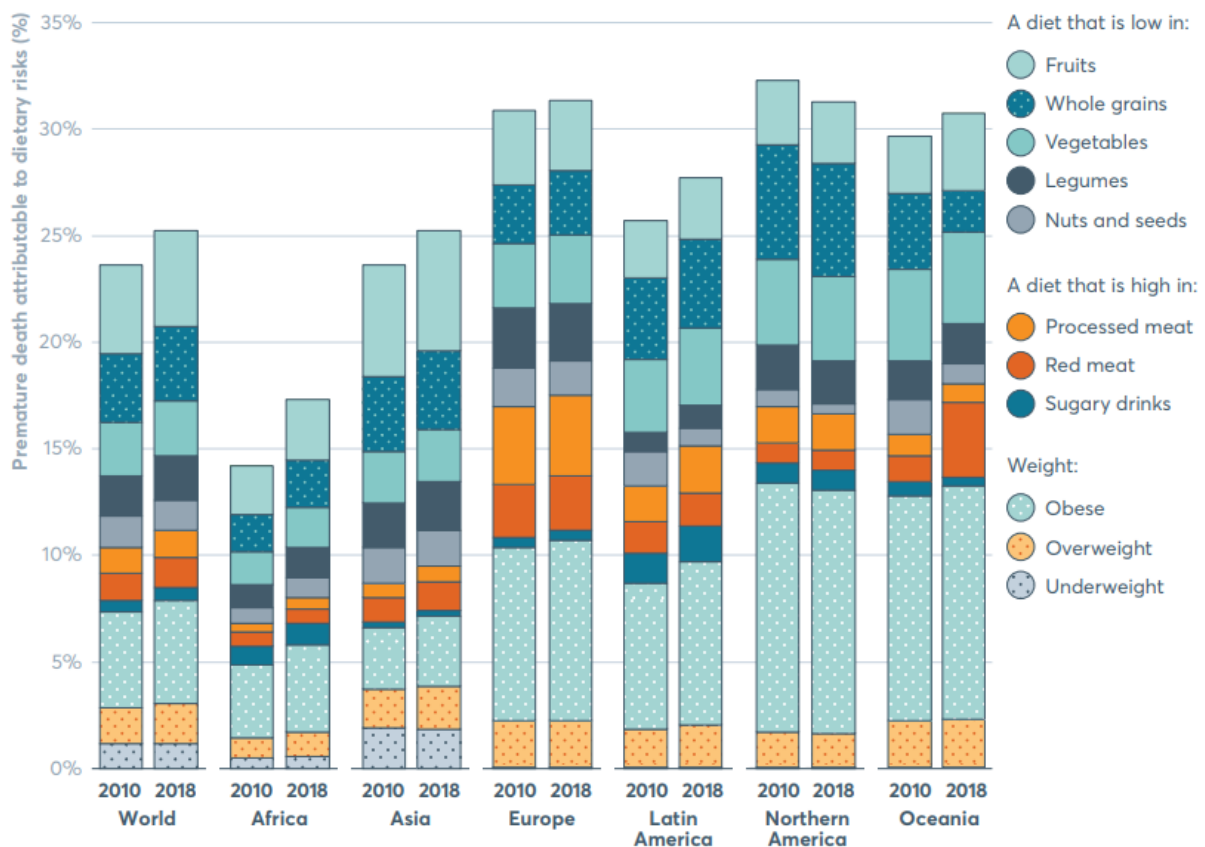


Figure 7 : Évolution du fardeau de mortalité prématurée attribuable aux risques alimentaires par région (2010–2018)¹ (43)

¹ Pourcentage de décès prématurés imputables aux risques alimentaires, par région et pour les années 2010 et 2018. Les risques sont regroupés selon qu'ils relèvent d'un déficit de consommation d'aliments protecteurs

(fruits, légumes, céréales complètes, légumineuses, noix et graines) ou d'un excès d'aliments à risque (viandes transformées, viandes rouges, boissons sucrées). Les effets du surpoids, de l'obésité et de l'insuffisance pondérale sont également pris en compte. Données issues du « Global Dietary Database », pondérées selon les données de mortalité et les facteurs de risque du « Global Burden of Disease Project ».

a. Pathologies associées à l'alimentation

Les régimes alimentaires défavorables interviennent de manière déterminante dans la survenue de nombreuses maladies non transmissibles. Au-delà des déséquilibres nutritionnels en tant que tels, plusieurs mécanismes biologiques sont impliqués, notamment l'inflammation de bas grade, les perturbations du métabolisme glucidique et lipidique, la dysbiose intestinale, le stress oxydatif, et plus largement, les dérégulations du microbiote et des équilibres hormonaux (50,51). Ces processus traduisent une exposition chronique à des aliments à forte densité énergétique et à faible qualité nutritionnelle, souvent fortement transformés.

Parmi les pathologies les plus directement associées à l'alimentation figurent les maladies cardiovasculaires. Une consommation élevée de sodium, un apport excessif en lipides saturés et en acides gras trans, une faible consommation d'oméga-3, de fibres, de fruits et de légumes, contribuent au développement de l'hypertension artérielle, de la dyslipidémie et de l'athérosclérose, principaux facteurs de risque cardiovasculaire (46,50,51). En France, environ 140 000 décès annuels sont imputables aux maladies cardiovasculaires, dont une part significative pourrait être évitée par une amélioration de la qualité nutritionnelle des régimes alimentaires (50).

Le diabète de type 2 est également fortement influencé par l'alimentation. L'excès d'apports glycémiques rapides (notamment les boissons sucrées, céréales raffinées et produits transformés riches en sucres libres), combiné à un déficit en fibres et à une surcharge pondérale, favorise la résistance à l'insuline et l'hyperglycémie chronique, aboutissant à une altération progressive du métabolisme glucidique (50,51). Ce déséquilibre est à l'origine de complications chroniques de type rénal, vasculaire, ophtalmique ou neurologique.

L'alimentation intervient aussi dans la cancérogenèse, en particulier pour les localisations digestives. La consommation de viandes rouges et transformées est associée à un risque accru de cancer colorectal, tandis que l'alcool est un facteur reconnu de cancers des voies aérodigestives supérieures, du foie, du sein et du pancréas (50,51). Le déficit en fibres et en micronutriments antioxydants pourrait également jouer un rôle dans les processus d'inflammation chronique et de prolifération cellulaire anormale.

D'autres pathologies chroniques présentent une composante nutritionnelle avérée. Les maladies rénales chroniques sont favorisées par des apports élevés en sel, en protéines animales et une

hydratation insuffisante, tandis que les troubles musculosquelettiques peuvent résulter de carences en calcium, en vitamine D ou d'un excès d'aliments acidifiants (50).

Ces différentes conditions partagent des facteurs de risque alimentaires communs, souvent intriqués, et tendent à se renforcer mutuellement dans une dynamique de comorbidité. La compréhension de ces liens souligne la nécessité d'appréhender les régimes alimentaires de manière globale, en intégrant non seulement la quantité et la qualité des nutriments, mais également la structure des aliments, leur niveau de transformation, et les expositions additionnelles induites par les procédés industriels.

b. Consommations alimentaires problématiques : hiérarchie des risques et enjeux sanitaires

L'analyse des facteurs alimentaires à l'origine des pathologies chroniques s'appuie aujourd'hui sur des méthodes d'estimation comparatives des risques (Comparative Risk Assessment, CRA). Ces approches, largement utilisées dans les travaux du « Global Burden of Disease » (GBD), permettent d'évaluer la charge de morbidité évitable attribuable à une exposition alimentaire donnée, en la comparant à une situation de référence définie comme optimale (46). En combinant les données de consommation, les fonctions dose-réponse issues de la littérature, et les estimations des risques relatifs de morbidité et de mortalité, la CRA permet de prioriser les facteurs les plus problématiques en santé publique.

D'après les résultats du GBD 2021 (46), les expositions alimentaires associées à la plus forte charge en DALYs sont l'excès de sodium (70,1 millions de DALYs), la consommation insuffisante de céréales complètes (66,1 millions), de fruits (55,4 millions), de noix et graines (51,9 millions), suivies de l'excès de viandes rouges transformées (33,9 millions) et de boissons sucrées (26,4 millions). Ces facteurs de risque sont associés à des maladies précises, notamment les maladies cardiovasculaires, le diabète de type 2, et certains cancers.

La situation française présente la même hiérarchie. Le rapport 2024 de l'ANSES (50) alerte sur le poids croissant des aliments transformés dans les régimes actuels : ces produits représenteraient plus de 30 % de l'apport énergétique journalier chez les adultes. Leur composition, généralement riche en sucres libres, en sel, en acides gras saturés, et pauvre en fibres et en micronutriments, est associée à une augmentation du risque de mortalité toutes causes (+10 à 20 %), de cancer (+15 à 20 %) et d'obésité abdominale (+35 %). L'EFSA met en évidence les effets spécifiques de ces produits sur la régulation de l'appétit, la composition du microbiote, et l'inflammation chronique (51).

Ces produits, bien que souvent perçus comme pratiques ou économiques, contribuent à une altération durable de l'environnement métabolique, notamment par leur densité calorique élevée, leur faible valeur satiétogène, et la présence récurrente d'additifs, texturants ou agents de sapidité (50,51). L'EFSA souligne par ailleurs que certains aliments transformés d'origine végétale, parfois valorisés pour

leur profil environnemental, peuvent présenter un profil nutritionnel défavorable, notamment en raison de teneurs élevées en sel et en acides gras modifiés (51).

La **Figure 8** ci-dessous illustre l'ampleur des associations épidémiologiques entre différents groupes d'aliments et les principaux événements de santé (42). La consommation régulière de céréales complètes, fruits, légumes, légumineuses et fruits à coque est associée à une réduction significative du risque de mortalité et de plusieurs maladies chroniques. À l'inverse, les viandes rouges, en particulier transformées, et les boissons sucrées sont systématiquement associées à un surrisque, notamment pour le cancer colorectal et le diabète de type 2. Ces résultats confirment les conclusions précédentes issues du GBD et soutiennent les recommandations nutritionnelles actuelles en faveur d'une alimentation plus végétale et moins transformée.

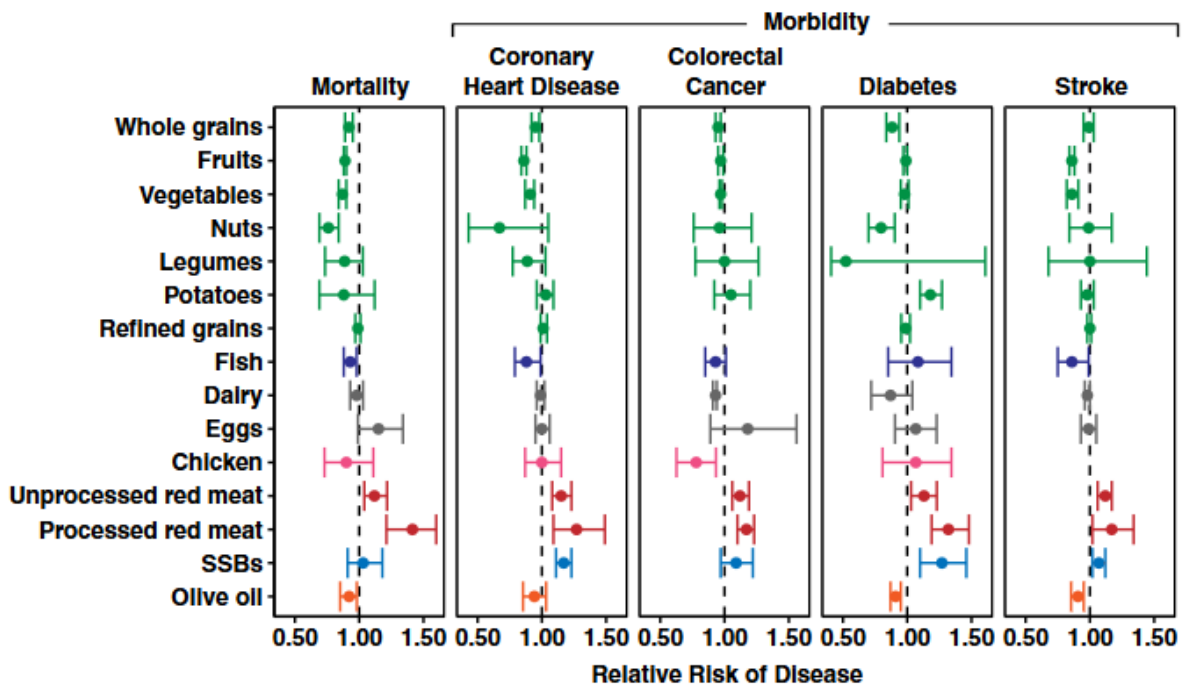


Figure 8 : Risques relatifs de mortalité et de morbidité associés à la consommation d'aliments spécifiques¹ (42)

¹ Risques relatifs (RR) de mortalité et de morbidité (maladie coronarienne, cancer colorectal, diabète, AVC) associés à la consommation de 15 groupes d'aliments, exprimés pour une portion additionnelle consommée. Un RR inférieur à 1 indique une association protectrice, un RR supérieur à 1 une association délétère. Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance à 90% (5^{ème} et 95^{ème} percentiles). Les résultats sont issus d'une méta-analyse basée sur des données de cohortes prospectives internationales, standardisées pour la portion moyenne consommée.

La connaissance de ces risques appelle à dépasser une lecture strictement nutritionnelle centrée sur les seuls apports en nutriments, pour intégrer une évaluation plus globale des aliments consommés : niveau de transformation, interactions entre composants, impacts sur le microbiote et la régulation métabolique. La hiérarchisation des risques alimentaires établie par la CRA constitue à ce titre un outil

fondamental pour guider les priorités de santé publique, en ciblant les consommations les plus délétères, tant en termes de fréquence que de gravité des effets observés.

c. Environnements alimentaires contaminés : Exposition alimentaire aux pesticides et risques sanitaires chez l'adulte

L'environnement alimentaire ne se limite pas à l'offre visible de produits, il comprend également les expositions invisibles mais continues, à certaines substances chimiques présentes dans l'alimentation. Parmi celles-ci, les résidus de pesticides constituent une source d'exposition chronique préoccupante, y compris lorsque les concentrations restent inférieures aux seuils réglementaires actuellement en vigueur. Si la toxicité aiguë est rare dans les pays européens (hors populations professionnelles), les effets à long terme d'une exposition alimentaire répétée à faibles doses font aujourd'hui l'objet d'un consensus scientifique croissant quant à leur implication potentielle dans le développement de maladies chroniques (52–54). D'après le rapport 2024 de l'Organisation Mondiale de la Santé (54), les adultes sont régulièrement exposés à des résidus de pesticides via les aliments, en particulier les fruits, les légumes et certains produits transformés. Bien que 80 à 90 % des échantillons testés contiennent des traces de pesticides, moins de 2 % dépassent les limites maximales de résidus. Toutefois, jusqu'à 30 % des adultes pourraient, dans certains contextes, approcher ou excéder la dose journalière admissible de manière cumulative, en raison d'une exposition combinée à plusieurs substances actives (54).

Parmi les pathologies documentées, les cancers occupent une place centrale. Le glyphosate, classé comme cancérigène probable par le Centre International de Recherche sur le Cancer, est associé à une augmentation de 41 % du risque de lymphome non hodgkinien chez les personnes exposées de manière chronique (54). Le lindane, désormais interdit dans de nombreux pays, reste également cité comme cancérigène avéré, en lien avec les cancers hématologiques (54). Ces observations sont corroborées par les données de l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments, qui identifie plusieurs substances actives préoccupantes, notamment le chlorpyrifos, le manèbe et le carbaryl, en raison de leurs effets cancérigènes ou toxiques sur le foie et les reins (53).

Les troubles endocriniens représentent un autre axe d'inquiétude. Plusieurs pesticides sont reconnus comme perturbateurs endocriniens, notamment le prochloraz, le tébuconazole et l'époxiconazole (52,53). Leur exposition chronique est associée à des désordres thyroïdiens, des déséquilibres hormonaux et, potentiellement, à des troubles métaboliques tels que le diabète de type 2 (52–54). Certaines études signalent également des altérations des taux de testostérone et d'œstrogènes chez les adultes exposés à des pesticides organochlorés, avec des implications possibles pour la fertilité (52,54).

Les atteintes hépatiques et rénales sont également documentées. Des variations significatives des enzymes hépatiques (ALT, AST) ont été observées chez les adultes exposés de manière chronique, avec des augmentations allant jusqu'à 35 % par rapport aux groupes témoins (54). Des effets similaires ont été signalés pour les substances telles que le cyperméthrine ou le tébuconazole, y compris à des doses proches de celles retrouvées dans l'alimentation courante (52,53). Selon une méta-analyse récente, environ 9 % des adultes pourraient dépasser les seuils d'exposition associés à une toxicité hépatique ou rénale (52).

Sur le plan neurologique, l'exposition chronique à certains organophosphorés, comme le diméthoate ou le diazinon, est associée à un risque accru de neuropathies périphériques, de troubles de la mémoire et de ralentissement cognitif, même après ajustement pour l'âge et les comorbidités (52,53).

Enfin, des données récentes mettent en évidence un lien entre résidus de pesticides et altérations du microbiote intestinal. Des effets sont observés à des doses inférieures à la dose journalière admissible pour certaines substances, comme le pyraclostrobine, avec des implications potentielles pour l'inflammation chronique, l'immunité et les troubles métaboliques (52–54). Le rapport de l'OMS souligne que ces effets, bien que subcliniques à court terme, pourraient contribuer à long terme à des déséquilibres propices au développement du syndrome métabolique et de troubles neuropsychiatriques (54).

Ces éléments plaident pour une approche renouvelée de la régulation des expositions alimentaires aux pesticides, prenant en compte non seulement la toxicité individuelle des substances actives, mais aussi leurs effets cumulés et les interactions potentielles (52–54). Une attention particulière doit être portée aux groupes les plus vulnérables, notamment les personnes âgées, les malades chroniques et les consommateurs à forte consommation de fruits et légumes issus de l'agriculture conventionnelle.

1.2.3. Inégalités sociales et économiques : l'alimentation comme révélateur des fractures sociales

L'alimentation constitue un marqueur puissant des inégalités sociales et économiques, tant en termes d'accès que de qualité nutritionnelle. Cette dimension est particulièrement bien mise en lumière par le cadre des Déterminants Sociaux de la Santé (Social Determinants of Health, SDH) (55), qui distingue différents niveaux de causalité dans la genèse des inégalités : les causes fondamentales (structurelles), les conditions de vie intermédiaires (environnement matériel, ressources économiques, capital social), et les comportements de santé. Dans le prolongement de ce cadre général, une adaptation spécifique au champ de la nutrition a récemment été proposée, à savoir le « Nutrition Health Disparities Framework » (NHDF) (48). Ce modèle met en évidence les interactions complexes entre les déterminants socio-économiques, l'accès différencié à une alimentation de qualité, l'exposition

cumulative à des environnements nutritionnels défavorables, et l'état de santé métabolique. Il insiste sur la nécessité d'interventions coordonnées à plusieurs niveaux, notamment politiques publiques, systèmes alimentaires et pratiques professionnelles, afin d'agir sur les facteurs structurels à l'origine des inégalités nutritionnelles.

La **Figure 9** ci-après illustre les composantes majeures de ce cadre. Elle identifie les populations concernées par les inégalités nutritionnelles selon la définition des « National Institutes of Health », incluant les groupes raciaux et ethniques minoritaires, les personnes à faible statut socio-économique, les communautés rurales mal desservies, les minorités sexuelles et de genre, ainsi que les personnes en situation de handicap. D'autres dimensions fondamentales, telles que le sexe, le genre ou la région géographique, sont également prises en compte dans l'analyse. L'ensemble met en lumière la diversité des facteurs à considérer pour comprendre la persistance des écarts en matière de santé nutritionnelle, et oriente vers une approche intégrée et contextualisée de la prévention.





		Levels of Influence			
		Individual	Interpersonal	Community	Societal
Domains of Influence (Over the Life Course)	Biological	Taste Predispositions, Nutritional Status, Nutrition Metabolism, Nutrigenomics, Metabolomics, Microbiome, Food Allergies and Intolerances	Maternal-Child Interaction, Feeding Practices (e.g., breastfeeding), Family Microbiome	Community Illness Food Contaminant	Sanitation Pathogen Exposure (e.g., E Coli)
	Behavioral	Dietary Intake, Dietary Habits, Eating Patterns, Coping Strategies	Family Dietary Practices (e.g., family meals) School/Work Dietary Behavior	Farmers Markets Community engagement (lobbying for full-service grocery stores)	Nutrition Policies and Laws (e.g., food assistance programs and access) State- and City-level Food and Nutrition Policies (soda taxes)
	Physical/Built Environment	Personal Food Environment and Access (exposure to fast food at home)	Household Food Environment School/Work Food Environment	Community Environment Community Resources Neighborhood Food Environment (e.g., food deserts, food marketing)	Societal Structures (e.g., zoning laws) Dept. of Education and School System
	Sociocultural Environment	Food Preferences, Sociodemographic (discretionary income) Food Literacy and Preparation Skills Limited English Cultural Identity/Acculturation Response to Discrimination	Social Networks Family/Peer Norms Interpersonal Discrimination (e.g., dietary practice, body image)	Community Norms Local Structural Discrimination (e.g., dietary practice, body image)	Social Norms Food System (e.g., supply chain) Societal Structural Discrimination
	Health Care System	Insurance Coverage, Access, Utilization Health Literacy Treatment Preferences Medical Nutrition Therapy	Patient-Clinician Relationship Medical Decision-Making (referral to Registered Dietitian)	Availability of Services Safety Net Nutrition Services (WIC, SNAP, food pantries, produce prescriptions)	Quality of Care Health Care Policies for Nutrition Services (screening & treatment) Medically Tailored Meals
Health Outcomes		Individual Health 	Family/Organizational Health 	Community Health 	Population Health 

Figure 9 : Le cadre conceptuel « Nutrition Health Disparities Framework » (48)

a. Budget alimentaire et précarité nutritionnelle

Les données récentes indiquent qu'en France, un tiers de la population est en situation d'insécurité alimentaire, et plus de 4 millions de personnes dépendent de l'aide alimentaire (47). Cette précarité touche particulièrement les jeunes de moins de 25 ans, qui représentent la moitié des bénéficiaires des Restos du Cœur, ainsi que les personnes âgées en perte d'autonomie (47). Les ménages les plus modestes consomment deux fois moins de fruits et légumes que les plus aisés (47,56), confirmant un accès inégal à une alimentation équilibrée. Au niveau européen, les 15 % les plus riches consomment en moyenne 12 kg de fruits et légumes par an de plus par unité de consommation que les plus pauvres

(57). Cette fracture alimentaire s'accompagne de disparités qualitatives tel que les régimes des populations défavorisées sont généralement plus riches en lipides saturés, en sucres et en sel, et plus pauvres en fibres et micronutriments (48,49,57). Ce gradient social dans la composition des régimes est en partie explicable par la loi de Bennett (58), selon laquelle l'élévation du revenu entraîne une diversification alimentaire accrue, tandis que les ménages à faibles ressources tendent à se replier sur des régimes à forte teneur en glucides et à faible densité nutritionnelle.

Les statistiques de l'INSEE révèlent par ailleurs que, malgré une hausse de 10 % des dépenses alimentaires entre 2009 et 2019, la part de l'alimentation dans le budget des ménages est restée relativement stable autour de 20 %, atteignant 22 % en 2022 dans un contexte inflationniste (59). Cependant, les ajustements budgétaires sont profondément différenciés selon les niveaux de revenu. Les ménages aisés ont augmenté leurs achats de fruits et légumes, tandis que les ménages modestes ont réorienté leur budget vers les pains, céréales et aliments moins coûteux, cette hausse reflétant surtout une augmentation des prix, non des quantités achetées (59). A l'échelle européenne, l'enquête EPIC 2022 de l'OCDE (60) a permis d'identifier trois profils de consommateurs : « sensibles au prix » (24 %), « acheteurs réguliers de viande » (43 %) et ceux « à conscience écologique » (33 %). Les ménages à faibles revenus appartenaient majoritairement au premier groupe, fortement influencé par le prix et le goût, peu réceptif aux campagnes d'information, et faiblement engagé dans des choix alimentaires durables.

Des études de modélisation nutritionnelle ont également mis en évidence la difficulté, pour les ménages modestes, d'atteindre un niveau nutritionnel adéquat sans hausse du coût alimentaire. Respecter les besoins nutritionnels nécessiterait systématiquement une augmentation du budget alimentaire (61,62). Toutefois, il a été démontré qu'il était possible d'améliorer la qualité nutritionnelle à isocoûts, sauf pour les ménages disposant de moins de 3,85 €/jour, pour lesquels de profondes modifications du régime alimentaire seraient nécessaires (61). L'analyse fine des régimes nutritionnellement optimisés montre par ailleurs que la part des aliments animaux diminue fortement dans les versions les plus économiques (63), et que les différences de consommation selon le revenu se concentrent sur les fruits, légumes et poissons (64). Le prix reste ainsi le premier critère de choix des aliments, bien devant la composition nutritionnelle ou la qualité gustative (65).

Ces constats sont confirmés par des études comportementales montrant que les individus à plus faibles revenus présentent des scores de « *Healthy Eating Index* » significativement plus bas, traduisant une moins bonne qualité alimentaire (65). Ce score évalue la qualité de l'alimentation et son adéquation avec les recommandations nutritionnelles américaines. Par ailleurs, l'effet du revenu est désormais avéré dans plusieurs aspects de la consommation alimentaire, dont la faible variété des produits consommés et la résistance à l'information nutritionnelle (64). Les profils alimentaires

typiques des populations précaires reflètent ainsi un triptyque défavorable caractérisé par moins de fruits et légumes frais, de légumes secs, de céréales complètes, plus de produits industriels et des choix dictés par le prix souvent au détriment de la santé. L'alimentation s'impose ainsi comme un vecteur central de médiation entre les inégalités sociales et la santé, à l'intersection des logiques structurelles du système alimentaire et des déterminants socio-économiques (48,57).

b. Gradient social des maladies chroniques

Les inégalités sociales et économiques façonnent fortement les déterminants de santé, notamment en matière de maladies chroniques liées à l'alimentation. Le gradient social observé dans la prévalence de ces pathologies reflète une distribution inégale de l'exposition aux facteurs de risque nutritionnels. À l'échelle mondiale, les pays présentant un indice socio-démographique faible à moyen connaissent une transition nutritionnelle rapide, marquée par une augmentation préoccupante des maladies non transmissibles d'origine alimentaire (46). Ce phénomène touche particulièrement les tranches d'âge intermédiaires, notamment les adultes âgés de 50 à 69 ans, qui enregistrent les taux les plus élevés de pathologies chroniques nutritionnelles (46). De manière plus large, les maladies chroniques associées à l'alimentation (obésité, diabète de type 2, maladies cardiovasculaires, certains cancers) sont disproportionnellement présentes chez les populations défavorisées (48).

Cette dynamique est illustrée par la répartition géographique des DALYs attribuables aux risques alimentaires (**Figure 10**) (66). On y observe un contraste net entre les régions du monde : en Afrique subsaharienne, la part des DALYs liés à l'alimentation reste faible, souvent inférieure à 4 %, du fait de la prédominance d'autres facteurs de morbidité tels que les maladies infectieuses ou la sous-nutrition. À l'inverse, plusieurs pays d'Europe de l'Est, d'Asie centrale ou du Moyen-Orient enregistrent des niveaux parmi les plus élevés au monde, dépassant parfois les 20 %. Ces taux traduisent une exposition importante aux régimes défavorables, riches en sel, en sucres ajoutés et en produits transformés, dans un contexte de vulnérabilité structurelle et de transition alimentaire accélérée. Les pays à revenu élevé ne sont pas épargnés. Bien que les proportions y soient souvent plus modérées, elles témoignent néanmoins de disparités internes marquées, souvent corrélées aux inégalités sociales d'accès à une alimentation saine. Dans l'ensemble, cette cartographie globale confirme le poids croissant des risques alimentaires dans le fardeau des maladies chroniques et leur distribution inégalitaire, étroitement liée aux contextes socio-économiques.

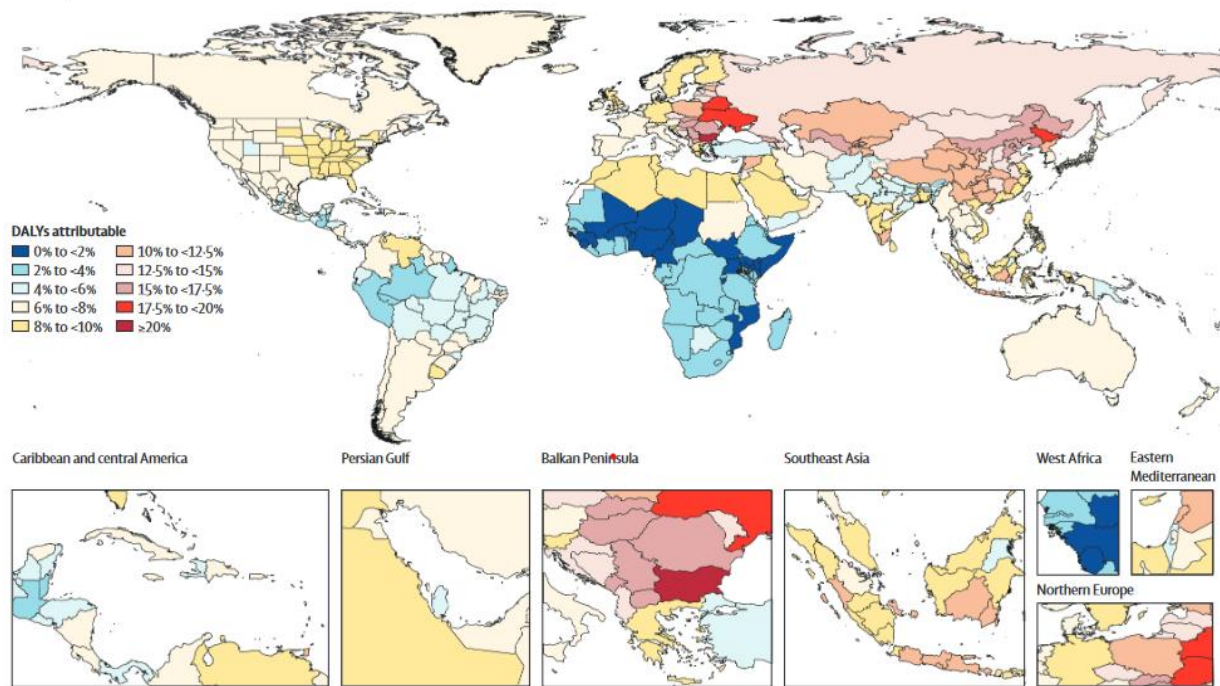


Figure 10 : Part des DALYs attribuables aux risques alimentaires dans le monde en 2019¹ (66)

¹ Cette carte illustre la proportion d'années de vie ajustées sur l'incapacité (DALYs) imputables aux risques alimentaires dans 204 pays en 2019. Les pays sont classés par tranches de pourcentage, du plus faible (<2 %) au plus élevé (>20 %). Les données mettent en évidence une hétérogénéité géographique marquée, révélatrice des inégalités sociales et économiques face aux expositions nutritionnelles et aux maladies non transmissibles associées à l'alimentation.

A l'échelle européenne, une revue systématique couvrant la période 2005–2020 (57) met en évidence que l'obésité est socialement déterminée dans la majorité des pays, en particulier chez les femmes et dans les pays d'Europe de l'Est. Parmi les indicateurs socioéconomiques analysés, le niveau d'éducation, ressort comme le prédicteur le plus constant de l'obésité, avec une association significative rapportée dans 63 % des études, suivie du revenu. L'alimentation constitue le canal médiateur central entre statut socioéconomique faible et obésité. En effet, les individus socialement défavorisés disposent d'un accès restreint à une alimentation saine et sont moins exposés à l'éducation nutritionnelle, ce qui accroît leur vulnérabilité. Les mécanismes explicatifs incluent des facteurs cognitifs et culturels, notamment la faible exposition aux messages de prévention, les normes sociales divergentes sur le poids corporel, et un moindre recours à la médecine préventive. Le plan d'action de l'OMS pour l'Europe 2015–2020 (49) confirme la persistance d'un double fardeau nutritionnel dans les pays de la région, particulièrement dans les foyers les plus vulnérables.

c. Déserts alimentaires

Les inégalités d'accès à une alimentation saine s'inscrivent au cœur des fractures sociales et spatiales des systèmes alimentaires contemporains. En France, environ 21 000 communes, soit 62 % du

territoire national, sont dépourvues de commerces alimentaires (47). Ce déficit touche particulièrement les zones rurales et périurbaines, où les infrastructures de distribution de produits frais sont sous-développées, renforçant les inégalités territoriales d'accès à une alimentation équilibrée. Les environnements dits « obésogènes » caractérisés par une forte densité de « fast-foods », une faible disponibilité de supermarchés et de magasins de fruits et légumes, sont surreprésentés dans les quartiers défavorisés (56). Les populations concernées sont ainsi plus exposées à une offre alimentaire peu diversifiée et dominée par des produits industriels riches en énergie et pauvres en nutriments, ce qui restreint leurs choix et renforce les inégalités nutritionnelles.

L'alimentation, dans ce contexte, agit comme un canal médiateur entre le statut socioéconomique et la santé à travers divers facteurs environnementaux, à savoir l'accès limité aux commerces sains, l'habitat isolé, les infrastructures urbaines peu propices à l'activité physique et la concentration de points de restauration rapide (57). La proximité géographique des fast-foods est notamment associée à une prévalence accrue d'obésité, tandis que la disponibilité de magasins d'alimentation saine tend à exercer un effet protecteur (56).

Une revue systématique portant sur 17 études menées principalement aux États-Unis et au Mexique (67) met en évidence une relation modérée mais significative entre la qualité de l'environnement alimentaire et le poids corporel. Toutefois, les effets varient selon les études et apparaissent fortement modulés par le contexte socioéconomique, familial et racial. La simple présence d'un désert alimentaire ne suffit pas à expliquer l'obésité. Ce sont les interactions entre pauvreté, insécurité alimentaire, accès facilité aux aliments industriels et moindre exposition à l'éducation nutritionnelle qui en constituent les fondements.

d. Fracture sociale dans l'accès à l'alimentation biologique et durable

L'alimentation biologique et durable, bien qu'associée à de meilleurs profils nutritionnels et environnementaux, reste largement conditionnée par des inégalités sociales. Ces régimes, souvent à dominante végétale, sont davantage adoptés par des individus ayant un niveau d'éducation, de revenu et de capital culturel plus élevés, ce qui en fait un marqueur supplémentaire de fracture sociale.

Une étude menée par l'EREN (68) a montré que les grands consommateurs d'aliments issus de l'agriculture biologique suivent globalement une alimentation plus saine et riche en végétaux. Toutefois, leur régime présente un surcoût significatif de 26 % par rapport à celui des petits consommateurs. Ce surcoût s'explique principalement par le mode de production biologique, et non uniquement par le type d'aliments choisis. La dimension économique apparaît ainsi comme un frein majeur à la généralisation de ce modèle alimentaire. Les fruits et légumes, produits emblématiques de ces régimes, illustrent cette inégalité à travers un écart de prix persistant entre les versions bio et

conventionnelle, malgré une moindre volatilité des prix dans le secteur biologique (69). Cette relative stabilité traduit une demande fidèle, mais aussi peu accessible aux budgets modestes, soulignant l'inélasticité économique de la consommation de bio.

Au-delà des aspects matériels, des déterminants culturels et symboliques influencent également la consommation d'aliments biologiques. Une étude sur les croyances sociales (70) a mis en évidence le rôle de la « *Power Distance Belief* » (PDB), c'est-à-dire le rapport des individus à la hiérarchie sociale. Ainsi, les personnes à faible PDB, sensibles aux enjeux de justice sociale et environnementale, consomment plus volontiers des produits biologiques perçus comme un acte engagé. À l'inverse, une forte PDB, traduisant une tolérance aux inégalités, est associée à une moindre propension à adopter des comportements alimentaires durables.

Ainsi, la consommation d'aliments biologiques ne dépend pas uniquement de contraintes économiques ou éducatives, elle reflète aussi des systèmes de valeurs. Cette articulation entre position sociale, représentations culturelles et comportements alimentaires contribue à expliquer les disparités observées dans l'accès aux régimes durables. Face à cette fracture, les politiques publiques doivent intégrer la double dimension économique et culturelle de l'alimentation durable, afin d'en favoriser une appropriation plus équitable.

e. Externalisation des coûts climatiques et fracture sociale alimentaire

Les systèmes alimentaires actuels génèrent un ensemble de coûts cachés (sanitaires, environnementaux, sociaux et économiques) qui ne sont pas intégrés dans le prix des aliments. Ce concept, appelé « *True Cost of Food* », désigne les externalités négatives que la production, la transformation, la distribution et la consommation alimentaires font peser sur la société (71). Ces coûts, supportés collectivement, échappent aux mécanismes de marché tout en impactant profondément la durabilité des systèmes alimentaires et l'équité sociale.

Selon les dernières estimations du « *UN Food Systems Summit Hub* » (2024), ces coûts atteignent plus de 12 000 milliards de dollars par an à l'échelle mondiale. Ils se répartissent majoritairement entre les dommages sanitaires (6 000 à 7 000 milliards \$), les impacts environnementaux (3 000 à 4 000 milliards \$), et les pertes sociales et économiques indirectes (71). En 2020, les régimes alimentaires défavorables, notamment riches en sodium et pauvres en fruits et grains entiers, ont généré à eux seuls 8 100 milliards USD de coûts sanitaires, représentant 70 % des coûts totaux (72). En France, le fardeau sanitaire lié à l'alimentation est estimé à 125 milliards d'euros par an (47). Ce coût, largement évitable, illustre l'une des principales externalités non internalisées dans les prix alimentaires, notamment ceux des produits transformés. Les aliments bon marché sont ainsi trompeurs car leur

faible coût apparent masque de lourdes conséquences économiques, sociales et environnementales à long terme.

Cette externalisation affecte de manière disproportionnée les populations les plus vulnérables. En effet, les ménages à faibles revenus, qui consacrent une part importante de leur budget à l'alimentation, sont les premiers touchés par l'inflation des produits alimentaires notamment en période de « crises » climatiques. Les chocs tels que les sécheresses ou les inondations, accentués par le changement climatique, amplifient la volatilité des prix des denrées de base en aggravant ainsi l'insécurité alimentaire des foyers précaires. Par ailleurs, les politiques agricoles en cours, comme la Politique Agricole Commune, favorisent les grandes exploitations tournées vers l'exportation, au détriment des agricultures vivrières locales. L'accaparement des terres, la dépendance aux monocultures intensives subventionnées (blé, maïs, soja), et l'érosion de la biodiversité renforcent l'exposition des communautés rurales aux aléas climatiques, tout en affaiblissant leur souveraineté alimentaire. Il a été en effet démontré que les coûts sociaux documentés de l'usage des pesticides de synthèse en France (coûts environnementaux, sanitaires, de régulation) représentaient au moins 372 millions d'euros par an en 2017, soit plus de 10 % du budget annuel du ministère français de l'Agriculture (73).

Face à ces constats, plusieurs institutions internationales, dont la FAO, l'ONU et la Commission EAT-Lancet, plaident pour une transformation systémique intégrant les « *true costs* » dans les décisions économiques, fiscales et politiques. Le « *True Cost Accounting* » apparaît comme un outil clé pour orienter les choix vers des régimes alimentaires plus sains, équitables et durables (72). Selon les simulations, une transition généralisée vers de tels régimes permettrait de réduire jusqu'à 70 % des coûts liés aux maladies non transmissibles, tout en améliorant les indicateurs environnementaux et sociaux (72).

1.3. Vers des systèmes alimentaires durables

1.3.1. Cadre conceptuel des systèmes alimentaires durables

a. Définition et composantes d'un système alimentaire durable

Un système alimentaire durable (Sustainable Food System, SFS) se définit comme un système capable d'assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle pour l'ensemble de la population, tout en préservant les bases économiques, sociales et environnementales nécessaires aux générations futures. Cette approche intégrée implique de répondre simultanément à trois exigences fondamentales : la viabilité économique, l'équité sociale et la soutenabilité environnementale (1,74,75). Plus précisément, un SFS doit être profitable à chaque étape de la chaîne de valeur, assurer une répartition équitable des

ressources et des revenus, respecter les droits sociaux, et limiter son impact sur le climat, l'eau, la biodiversité et les écosystèmes.

La durabilité d'un système alimentaire repose sur l'équilibre entre trois dimensions interdépendantes, chacune associée à des critères spécifiques (**Figure 11**). La dimension économique concerne la rentabilité, la viabilité des acteurs, les revenus générés et la fiscalité. La dimension sociale intègre les questions d'équité entre groupes sociaux (genre, âge, origine ethnique), la santé, la nutrition, le bien-être, ainsi que les droits du travail. Enfin, la dimension environnementale se mesure par l'empreinte carbone, les pertes alimentaires, les atteintes à la biodiversité, la pollution et la santé des écosystèmes agricoles et naturels (1).

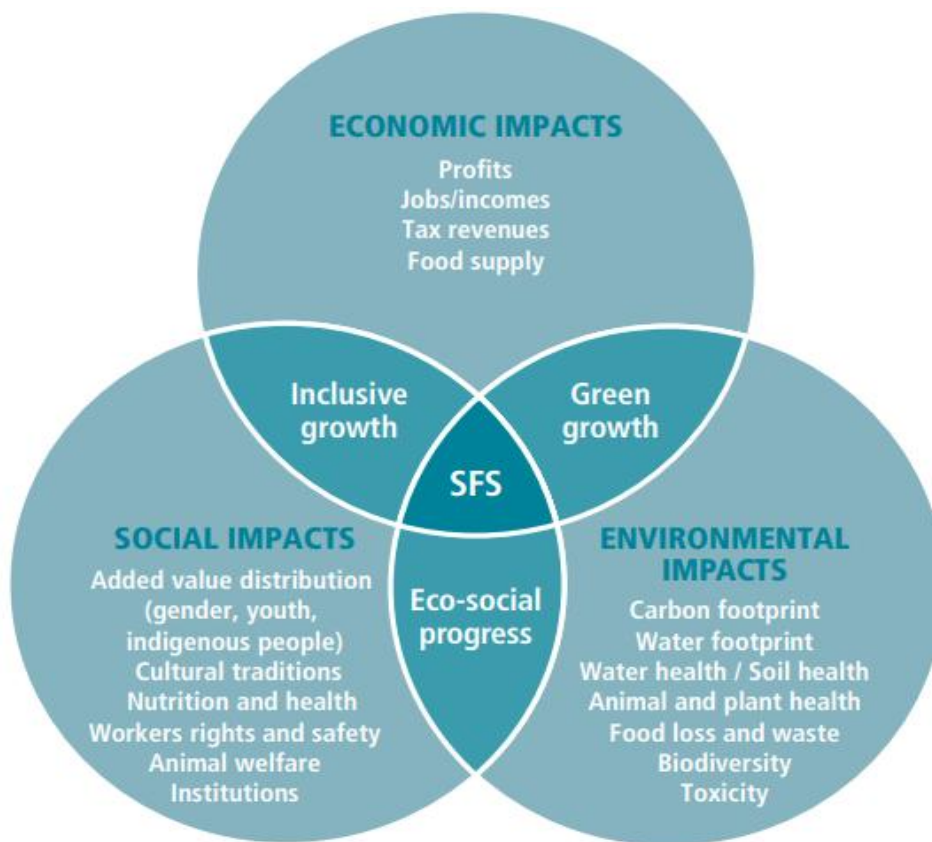


Figure 11 : La durabilité dans les systèmes alimentaires. Source: FAO, 2014 (1)

Toutefois, les approches actuelles de la durabilité présentent plusieurs limites. Les analyses centrées uniquement sur la production tendent à négliger les externalités sociales et environnementales. De même, les méthodes basées sur les chaînes de valeur se concentrent sur un produit à la fois, sans intégrer les interdépendances entre les différents maillons du régime alimentaire. Il en résulte une compréhension fragmentée des dynamiques systémiques. Par ailleurs, la concentration du pouvoir entre les mains de grandes entreprises agroalimentaires, au détriment des petits producteurs, engendre un déséquilibre structurel qui compromet les objectifs d'équité. La durabilité sociale suppose

pourtant une redistribution équitable de la valeur ajoutée, des conditions de travail décentes et un accès universel à une alimentation saine et culturellement appropriée (1).

Face à ces défis, une approche systémique s'impose, et implique que chaque composante du système alimentaire interagit avec les autres. Ainsi, une politique agricole peut par exemple influencer l'alimentation, l'emploi ou encore l'environnement. Cette approche requiert une gouvernance intersectorielle et le recours à des indicateurs multidimensionnels permettant d'évaluer simultanément les performances économiques, sociales et écologiques. Elle implique également l'inclusion des groupes marginalisés, notamment les femmes, les jeunes et les populations rurales, dans la conception des politiques alimentaires (1). Le cadre conceptuel des SFS proposé par la FAO constitue ainsi un outil stratégique pour l'élaboration, l'analyse et la mise en cohérence des politiques publiques. Il a pour objectifs opérationnels d'analyser les systèmes existants, en identifiant leurs structures, dysfonctionnements (ex : gaspillages, malnutrition), externalités négatives (ex : émissions de gaz à effet de serre), et leviers d'action à différentes échelles; de détecter les incohérences politiques, comme les subventions agricoles qui encouragent la consommation de produits délétères pour la santé; de favoriser les politiques intersectorielles en facilitant la coordination entre les secteurs de la santé, de l'agriculture, de l'environnement et du commerce; et enfin d'accompagner les transitions durables, en construisant une vision partagée et contextualisée des objectifs à atteindre (1).

Cette vision intégrée est également portée par des initiatives internationales et régionales telles que la Commission EAT-Lancet (74), ou la stratégie « *Farm to Fork* » (75) qui proposent un cadre pour des régimes alimentaires compatibles avec les limites planétaires. Elles appellent à transformer les systèmes alimentaires « de la fourche à la fourchette » pour garantir à chacun une alimentation suffisante, saine, accessible et nutritive, tout en respectant les équilibres environnementaux et sociaux.

b. Une approche systémique : Paradigme Structure-Conduite-Performance

Le paradigme Structure-Conduite-Performance (SCP), issu de l'économie industrielle, offre un cadre analytique pertinent pour appréhender la complexité des systèmes alimentaires contemporains. Initialement conçu pour comprendre le fonctionnement des marchés, ce modèle repose sur l'hypothèse selon laquelle la structure d'un système détermine la conduite des acteurs, laquelle influe directement sur la performance globale du système. Adapté aux systèmes alimentaires, il permet d'analyser les interactions entre les acteurs, les institutions, les dynamiques économiques et les résultats en matière de nutrition, de durabilité environnementale et de justice sociale (1).

Dans ce cadre, la structure fait référence à l'organisation du système alimentaire. Elle inclut la diversité des acteurs (producteurs, transformateurs, distributeurs, consommateurs), le degré de concentration des marchés, les politiques publiques en vigueur, ainsi que les infrastructures disponibles. La conduite correspond aux décisions stratégiques et aux pratiques individuelles ou collectives, notamment le choix de production, de transformation, de distribution et de consommation. Enfin, la performance désigne les résultats mesurables du système en termes de santé publique, de qualité nutritionnelle, de résilience environnementale et d'équité sociale. L'application de ce modèle aux systèmes alimentaires par la FAO met en lumière des relations de causalité systémiques. A titre d'exemple, une structure de marché dominée par un petit nombre de multinationales agroalimentaires oriente la production vers des aliments transformés à faible coût, favorisant des pratiques de consommation déséquilibrées. Cette dynamique peut générer une surconsommation calorique, une perte de biodiversité liée aux modes de production intensifs et aggraver les inégalités sociales et sanitaires.

Cependant, le modèle SCP ne se limite pas à une lecture linéaire et descendante des mécanismes, mais intègre également des « boucles de rétroaction » qui reconnaissent la capacité des performances du système à infléchir les structures existantes (**Figure 12**). Ainsi, une crise sanitaire ou climatique majeure peut entraîner des réformes structurelles, tandis que des changements de conduite (ex : la montée en puissance des circuits courts ou de l'agriculture biologique) peuvent transformer l'organisation du système. Cette dynamique évolutive et interactive constitue le point de départ d'une démarche systémique, essentielle pour penser les transitions vers des systèmes alimentaires durables.

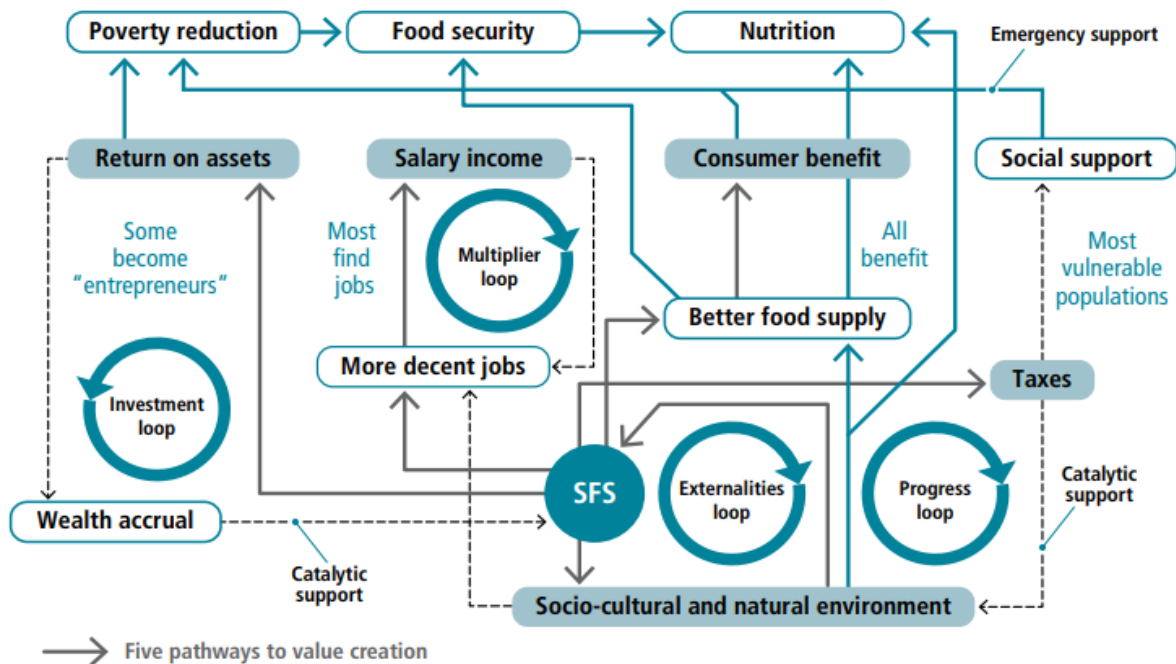


Figure 12 : le paradigme de développement des systèmes alimentaires. Source: FAO, 2014 (1)

Ce paradigme s'avère donc particulièrement utile pour identifier les leviers d'action dans une perspective transversale qui intègre à la fois les contraintes structurelles et les marges de manœuvre comportementales des acteurs. Il permet ainsi d'élaborer des stratégies plus cohérentes, en tenant compte des interdépendances qui caractérisent les systèmes alimentaires en tant qu'écosystèmes socio-économiques complexes.

1.3.2. Des Initiatives à plusieurs échelles

a. Initiatives internationales

Les systèmes alimentaires occupent désormais une place centrale dans les politiques climatiques mondiales. La COP29 a marqué un tournant en intégrant explicitement l'alimentation dans l'agenda climatique, avec une journée dédiée et des engagements concrets. Pourtant, malgré le fait que 91 % des « Contributions Déterminées au niveau National » identifient les systèmes alimentaires comme priorités d'atténuation, seuls 40 % des émissions du secteur sont réellement couvertes et les chaînes en amont en aval ainsi que l'élevage restent largement ignorés (76).

Face à ces limites, plusieurs initiatives structurantes ont été mises en place. Le « *UN Food Systems Coordination Hub* » (2024–2026) vise à faire des systèmes alimentaires le levier principal pour atteindre les ODD (71). Il s'appuie sur une gouvernance multi-acteurs, une intégration climat-alimentation-finance et un appui ciblé aux pays. Ainsi, la « *Convergence Initiative* », lancée au Kazakhstan, aligne les politiques alimentaires nationales sur les objectifs climatiques. La COP29 a également été marquée par des annonces fortes telles que le triplement du financement climatique (300 milliards USD/an d'ici 2035), la taxation des émissions agricoles (Danemark), et l'adoption de déclarations sur le méthane et l'eau-climat. Les thèmes transversaux abordés incluent l'agroécologie, la réforme des subventions, la résilience des petits agriculteurs et l'innovation.

Dans ce contexte, la FAO souligne la nécessité d'une approche transversale intégrant nutrition, biodiversité et durabilité, avec des exemples d'actions locales comme la revalorisation des millets en Inde ou la promotion du régime méditerranéen. Elle appelle à des lignes directrices globales et à une transformation culturelle des pratiques alimentaires (77). Cependant, des freins systémiques subsistent à travers les politiques agricoles orientées vers les monocultures et les produits transformés qui rendent l'accès à une alimentation saine plus difficile en particulier pour les populations vulnérables (48). Ces logiques doivent être réformées pour permettre une transition alimentaire juste et durable.

b. Initiatives européennes

Adoptée en 2020 dans le cadre du Pacte Vert européen, la stratégie « *Farm to Fork* » vise à rendre le système alimentaire de l'Union Européenne plus durable, équitable et résilient. Elle poursuit plusieurs objectifs : garantir la sécurité alimentaire, améliorer la santé publique, respecter les limites planétaires, et soutenir une économie agroalimentaire équitable (75). Elle est structurée autour de huit axes, dont la réduction de l'usage des pesticides, des antibiotiques et des engrais ; le soutien à l'agriculture biologique ; la résilience aux crises ; la promotion de circuits courts et d'emballages durables ; l'amélioration de l'étiquetage nutritionnel et environnemental ; la lutte contre le gaspillage alimentaire ; le soutien aux petits producteurs via la Politique Agricole Commune (PAC) ; et le renforcement de la recherche et de la coopération internationale.

Entre 2020 et 2024, plusieurs mesures ont été mises en œuvre (78), notamment les recommandations pour les plans stratégiques de la Politique Agricole Commune, un plan de contingence pour la sécurité alimentaire, un code de conduite pour les pratiques commerciales et des règlements sur les phytosanitaires biologiques et les données agricoles. D'autres initiatives restent en discussion, comme la certification carbone agricole, les nouvelles techniques génomiques, et des propositions sur le bien-être animal. Cependant, plusieurs volets restent inachevés comme l'étiquetage nutritionnel frontal, le cadre législatif global pour des systèmes alimentaires durables, les profils nutritionnels, ou encore la révision des matériaux en contact avec les aliments. L'absence d'une évaluation d'impact globale et les tensions entre sécurité alimentaire et durabilité, exacerbées par la pandémie de COVID-19 et la guerre en Ukraine, ont suscité nombre de critiques et débats. Par ailleurs, l'aide au maintien en agriculture biologique a été supprimée depuis la PAC 2023. A cet égard, le Conseil scientifique européen sur le climat a déploré un manque d'incitations financières efficaces pour les agriculteurs. En réponse, un dialogue stratégique a été lancé en 2024 pour explorer des voies conciliant soutien au revenu agricole et transition écologique, en s'appuyant sur l'innovation et des politiques adaptées.

Ainsi, la stratégie « *Farm to Fork* » a initié des avancées significatives mais reste freinée par des retards réglementaires et des arbitrages complexes entre objectifs sociaux, économiques et environnementaux. Sa réussite dépendra de ce fait de la volonté politique à accélérer et concrétiser ses ambitions.

c. Initiatives nationales

En France, l'ancrage institutionnel d'un système alimentaire durable s'est renforcé avec l'adoption de la Stratégie nationale pour l'alimentation, la nutrition et le climat (SNANC), inscrite dans l'article 265 de la loi climat et résilience (loi n° 2021-1104 du 22 août 2021) (79). Cette stratégie constitue le socle

des orientations nationales en matière d'alimentation durable, en lien étroit avec la santé publique, la transition écologique et la souveraineté alimentaire.

La SNANC vise à promouvoir une alimentation moins émettrice de gaz à effet de serre, favorable à la santé humaine, protectrice de la biodiversité, et contribuant à la résilience des systèmes agricoles et alimentaires territoriaux. Elle articule les politiques alimentaires et nutritionnelles existantes, en s'appuyant sur deux cadres complémentaires qui sont le Programme National pour l'Alimentation (PNA) et le Programme National Nutrition Santé (PNNS). Le PNA élargit ses priorités au-delà des enjeux nutritionnels, en intégrant des objectifs de justice sociale, de lutte contre le gaspillage alimentaire et d'éducation alimentaire, en particulier pour les jeunes. Il encourage également l'achat de produits locaux et de saison, la diversité et la qualité nutritionnelle et organoleptique de l'offre alimentaire, et l'implication des collectivités territoriales dans la mise en œuvre des actions. Par ailleurs, un accent est mis sur la diversification des cultures pour renforcer la biodiversité cultivée et réduire la dépendance aux importations alimentaires, notamment pour les cultures peu compétitives sur le territoire national. Cette mesure s'inscrit dans une logique de relocalisation de la production et de sécurité alimentaire durable.

En somme, la SNANC incarne une volonté politique claire de transition vers un système alimentaire intégré, en lien avec les enjeux climatiques, sanitaires et territoriaux, tout en mettant l'accent sur la participation locale et la relocalisation des chaînes d'approvisionnement.

2. L'alimentation durable comme levier systémique

2.1. Qu'est-ce qu'une alimentation durable ?

L'alimentation durable occupe une place centrale dans les réflexions sur la transition écologique et la santé publique. Elle dépasse le simple cadre nutritionnel pour embrasser l'ensemble du système alimentaire, en mettant l'accent sur le rôle crucial de la consommation comme levier de transformation. En influençant l'offre alimentaire, les choix de consommation des individus peuvent orienter les modes de production et contribuer à des systèmes plus justes, plus sains et plus respectueux de l'environnement.

2.1.1. Une définition intégrative aux multiples dimensions

La FAO a proposé en 2010 une définition de référence des régimes alimentaires durables, les décrivant comme des régimes à faible impact environnemental, qui soutiennent la sécurité alimentaire, la santé et la nutrition pour les générations actuelles et futures. Ils doivent en outre préserver la biodiversité, être culturellement adaptés, économiquement accessibles et équitables, sûrs sur le plan sanitaire et

optimiser l'utilisation des ressources naturelles et humaines (77). Cette vision met en évidence la nécessité de concilier quatre dimensions fondamentales (**Figure 13**) : la nutrition et la santé, l'environnement, l'équité socio-économique et le respect des cultures. Ainsi, l'alimentation durable ne se réduit pas à un ensemble de critères nutritionnels, mais s'inscrit dans une logique systémique qui englobe l'ensemble des enjeux contemporains, du champ à l'assiette.

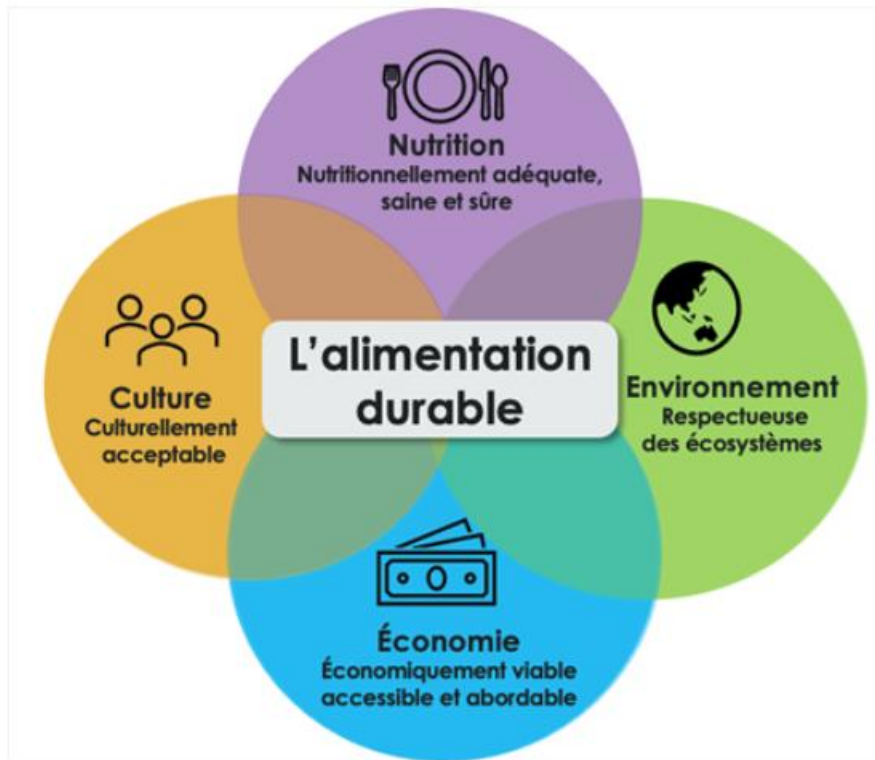


Figure 13 : Principes d'une alimentation durable (80)

Le rapport de la commission EAT-Lancet (2019) a renforcé cette approche globale en proposant un cadre concret, dit la « *Planetary Health Diet* » (74). Cette diète universelle vise à répondre simultanément aux enjeux de santé mondiale et de respect des limites planétaire. L'alimentation durable, majoritairement végétale (légumes, fruits, céréales complètes, légumineuses, oléagineux) favorisant l'apport en fibres et micronutriments, limite la consommation de produits d'origine animale, de lipides saturés, de sucres ajoutés et d'aliments transformés. Elle reste cependant flexible, et doit s'adapter aux spécificités culturelles et régionales. L'ambition est de nourrir durablement une population mondiale estimée à 10 milliards d'ici 2050, tout en respectant les seuils environnementaux. Deux cibles sont ainsi définies, à savoir une alimentation saine, susceptible de réduire la mortalité liée aux maladies chroniques, et une production agricole durable, respectant six frontières planétaires (climat, biodiversité, usage des terres, cycles de l'eau, azote et phosphore). Pour atteindre ces objectifs, cinq stratégies doivent être combinées : favoriser l'adoption de régimes durables, réorienter les politiques agricoles, adopter des modes de production plus durables, préserver les écosystèmes

naturels, et réduire de moitié le gaspillage alimentaire (74). Ainsi, le concept de « *Safe Operating Space* » proposé dans ce cadre intègre à la fois les objectifs de santé publique et les limites écologiques, permettant d'identifier les modèles alimentaires conciliant bien-être humain et soutenabilité planétaire.

En France, l'Agence de la Transition Ecologique (ADEME) complète cette approche en soulignant le rôle fondamental de l'alimentation dans la transition écologique (81). Selon l'agence, une alimentation durable permet de concilier quantité et qualité de l'alimentation, respect de l'environnement, accessibilité économique pour les consommateurs et juste rémunération des producteurs. Elle constitue donc un levier majeur d'action en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de préservation des ressources en eau, d'amélioration de la santé publique et de cohésion sociale. Les leviers identifiés par l'ADEME incluent la promotion de produits à faible impact environnemental, l'évolution des pratiques de consommation vers des régimes plus sobres et plus végétaux, et la lutte contre les pertes et gaspillages. L'ensemble de ces dynamiques s'inscrit dans une logique « du champ à l'assiette », impliquant une transformation simultanée des modes de production, de distribution et de consommation.

2.1.2. Des principes structurants aux leviers de mise en œuvre

À partir de ces définitions globales, les organismes internationaux ont proposé des cadres plus opérationnels pour traduire le concept d'alimentation durable en principes directeurs et critères concrets. Le document conjoint de la FAO et de l'OMS (82) constitue à ce jour l'un des référentiels majeurs. Il identifie seize principes clés qui structurent l'alimentation durable autour de trois dimensions interdépendantes : la santé publique, la soutenabilité environnementale et l'équité socioculturelle (82).

Sur le plan sanitaire, ces principes insistent sur la nécessité de promouvoir une alimentation diversifiée, composée majoritairement d'aliments peu ou non transformés, riche en fruits, légumes, légumineuses, céréales complètes, noix et graines, et en eau potable comme boisson principale. L'apport nutritionnel doit être adapté aux besoins physiologiques pour prévenir les différentes formes de malnutrition tout en réduisant le risque de maladies chroniques. Ces recommandations s'accompagnent d'un appel à limiter la consommation de produits transformés, riches en sucres ajoutés, en lipides saturés et en sel, conformément aux directives de l'OMS. La dimension environnementale, quant à elle, repose sur la nécessité de contenir les pressions exercées par les systèmes alimentaires sur les ressources naturelles dans les limites planétaires. Il s'agit notamment de limiter les émissions de gaz à effet de serre, l'usage des terres et de l'eau douce, ainsi que les intrants chimiques azotés et phosphorés, tout en préservant la biodiversité et en réduisant les pratiques

agricoles intensives fondées sur l'usage de produits phytosanitaires, d'antibiotiques, d'hormones ou de plastiques dans les emballages. Enfin, les critères socioculturels rappellent que toute recommandation alimentaire durable doit rester accessible, désirable et culturellement ancrée. Le respect des pratiques alimentaires locales, la lutte contre le gaspillage, la réduction des inégalités d'accès, ainsi que la prise en compte des rapports de genre, notamment en matière de charge domestique liée à l'alimentation, sont identifiés comme des conditions essentielles à la faisabilité sociale de ces transformations.

Ces orientations générales trouvent une expression plus concrète dans le cadre proposé par la Commission EAT-Lancet (74), qui complète l'approche qualitative par une structuration quantitative des consommations recommandées. Le régime dit « Planetary Health Diet » repose sur une alimentation principalement végétale, associant une forte densité nutritionnelle à une empreinte environnementale réduite. Il fixe ainsi, pour un apport énergétique de référence de 2500 kcal par jour, des quantités cibles par groupes d'aliments, accompagnées d'intervalles admissibles permettant une adaptation aux contextes régionaux et culturels. L'ensemble de ces repères est présenté dans le **Tableau 1** suivant, qui constitue une base utile pour analyser les écarts entre régimes réels et alimentation durable.

Tableau 1 : Recommandations de consommation journalière pour une alimentation de santé planétaire « Planetary Health Diet » selon la Commission EAT-Lancet (2019)¹

Groupe alimentaire	Quantité cible (g/j)	Intervalle admissible (g/j)	Remarques
Céréales complètes	232 g	—	Base énergétique principale
Tubercules	50 g	0–100 g	Consommation modérée, variable selon culture
Légumes	300 g	200–600 g	Source majeure de fibres et micronutriments
Fruits	200 g	100–300 g	Idéalement frais, non sucrés
Produits laitiers	250 g	0–500 g	Sous forme de lait ou dérivés peu transformés
Viande rouge	14 g	0–28 g	Représente moins d'une portion par semaine
Volaille	29 g	0–58 g	Option à plus faible impact que viande rouge
Œufs	13 g	0–25 g	Environ 1-2 œufs/semaine
Poisson	28 g	0–100 g	Priorité aux sources durables
Légumineuses	75 g	0–100 g	Protéines végétales essentielles
Noix et graines	50 g	0–75 g	Bons lipides, fibres, protéines
Huiles végétales (non saturées)	40 g	20–80 g	Privilégier huile d'olive, colza, tournesol

Groupe alimentaire	Quantité cible (g/j)	Intervalle admissible (g/j)	Remarques
Sucres ajoutés	31 g	0–31 g	Limite stricte : moins de 5 % de l'énergie

¹ Ces repères sont établis pour un apport énergétique journalier de 2500 kcal. Ils visent à concilier santé humaine et durabilité environnementale, tout en offrant une flexibilité permettant leur adaptation aux contextes culturels et nutritionnels locaux.

Cette distribution théorique des groupes alimentaires a été synthétisée sous forme visuelle par la Commission EAT-Lancet dans le schéma dit de la « Planetary Health Plate » (74), représentant un modèle de repas quotidien aligné avec les recommandations de santé publique et les impératifs écologiques (**Figure 14**). Ce visuel traduit concrètement les proportions relatives des aliments à privilégier ou à limiter, en mettant en avant la dominance des aliments d'origine végétale, la modération des produits animaux, et la place marginale laissée aux sucres ajoutés.

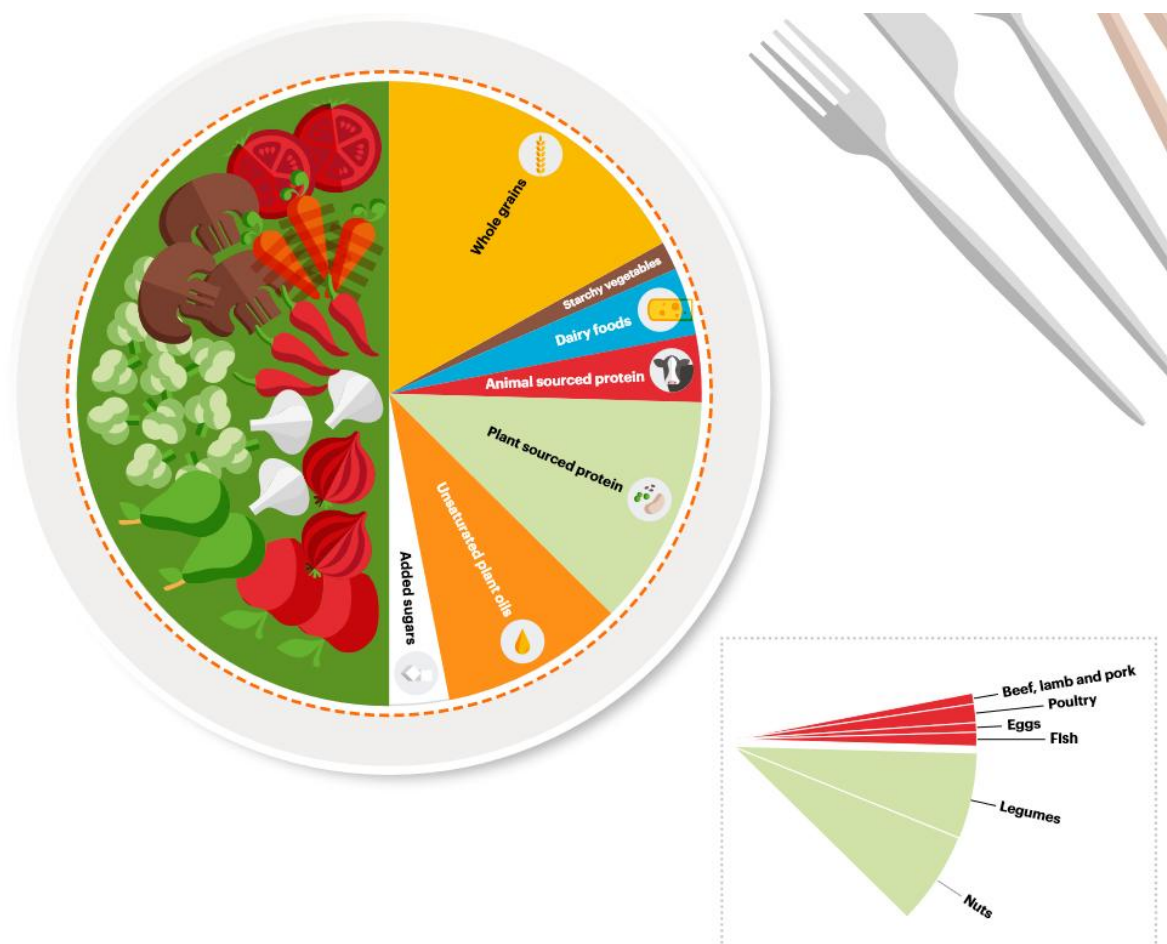


Figure 14 : Représentation visuelle d'un régime sain et durable selon le modèle EAT-Lancet (74)

Malgré la précision des repères nutritionnels proposés, les consommations observées à l'échelle mondiale s'en écartent fortement (43). La **Figure 15** suivante illustre les écarts relatifs, par région et par année, entre les apports alimentaires réels et les recommandations de la Commission EAT-Lancet,

dans plusieurs régions du monde, aux années 2010 et 2018 (43). Ces déviations concernent aussi bien les apports insuffisants en aliments à haute valeur nutritionnelle (fruits, légumes, légumineuses, noix, céréales complètes) que les excès d'aliments associés à des risques sanitaires et environnementaux élevés (viandes rouges et transformées, produits laitiers dans certaines régions), ainsi que les déviations par rapport aux niveaux de poids corporel considérés comme normaux (insuffisance pondérale, surpoids, obésité). Les écarts sont exprimés en pourcentage et codés par couleur, du bleu au rouge, selon leur niveau d'alignement ou de déviation par rapport aux recommandations.

Les résultats mettent en évidence une sous-consommation généralisée des aliments protecteurs dans toutes les régions. À l'inverse, la consommation de viande rouge, et plus encore de viande transformée, dépasse largement les seuils recommandés, notamment en Europe, en Amérique du Nord et en Océanie, avec des écarts pouvant atteindre plus de 700 %. La consommation de produits laitiers apparaît plus hétérogène, marquée par des insuffisances en Afrique et en Asie, et des excès en Europe et en Amérique du Nord. Enfin, les données relatives au poids corporel révèlent une forte prévalence du surpoids et de l'obésité dans les régions les plus industrialisées, traduisant une inadéquation persistante des régimes alimentaires avec les objectifs de santé publique.

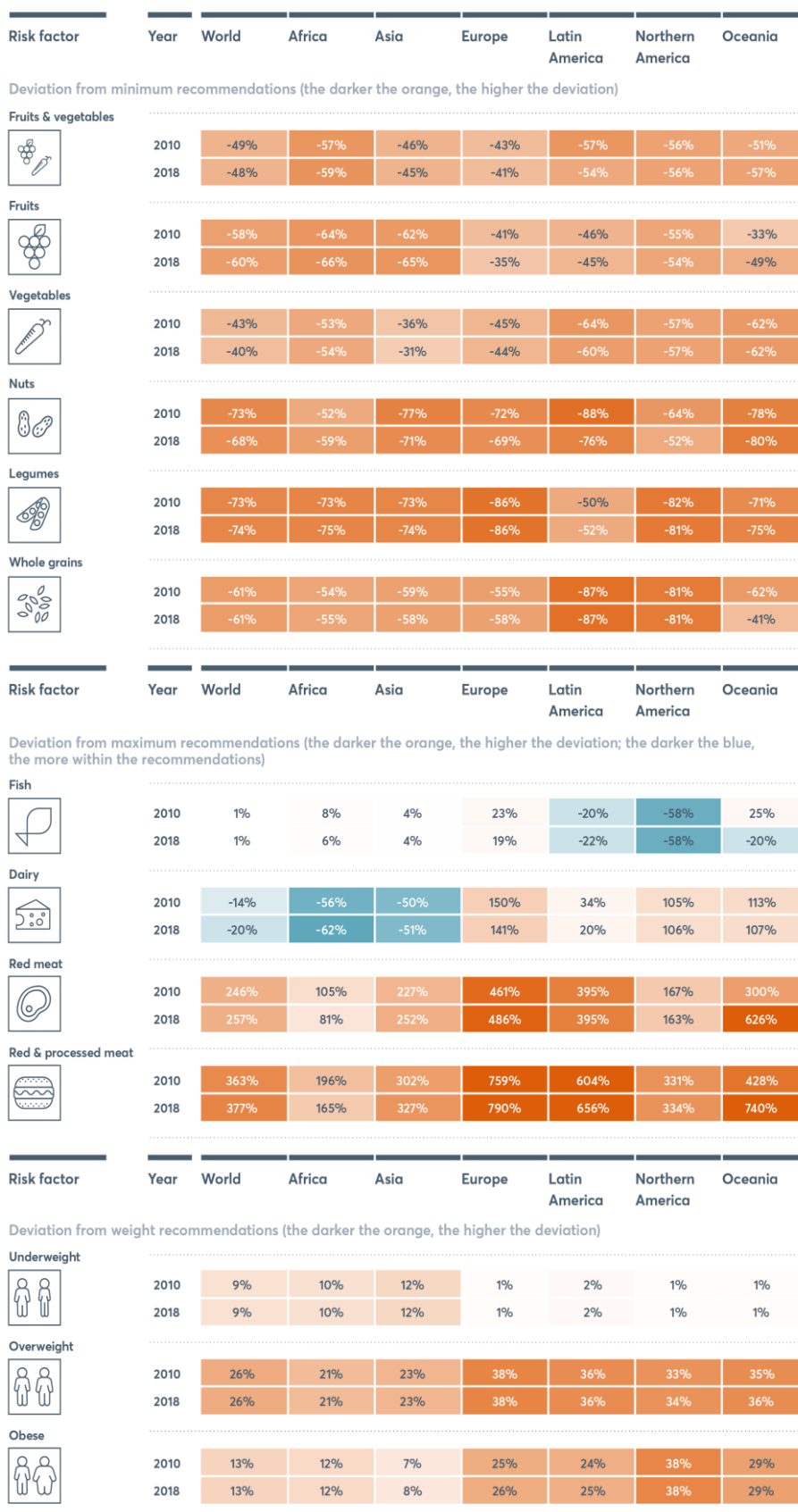


Figure 15 : Écarts en pourcentage par année (2010, 2018) et par région par rapport aux recommandations de la Commission EAT-Lancet sur les régimes alimentaires sains issus de systèmes alimentaires durables¹ (43)

¹ Les données incluent les apports minimaux recommandés pour les aliments favorables à la santé (fruits, légumes, légumineuses, noix, céréales complètes), les apports maximaux recommandés pour les aliments ayant des effets délétères sur la santé et/ou l'environnement (viande rouge, viande transformée, produits laitiers, poisson), ainsi que les écarts par rapport au poids corporel normal (insuffisance pondérale, surpoids, obésité).

Dans l'ensemble, les écarts observés entre les recommandations et les pratiques réelles de consommation soulignent la nécessité de s'appuyer sur des données concrètes pour guider la transition. Les deux référentiels (74,82), qualitatif de la FAO et quantitatif de la commission EAT-Lancet, convergent vers une même conclusion que les régimes les plus favorables à la santé sont également ceux qui exercent la plus faible pression sur l'environnement. Ce constat met en évidence la nécessité d'un changement profond des modèles alimentaires, à la fois en matière d'offre et de demande. La FAO et l'OMS appellent ainsi à une transformation systémique impliquant l'ensemble des acteurs du système alimentaire. Neuf leviers d'action sont identifiés, allant de l'adoption de politiques publiques cohérentes (production, étiquetage, fiscalité) à l'intégration de la durabilité dans les recommandations nutritionnelles nationales, en passant par l'éducation, le soutien aux populations vulnérables, ou encore la réduction des pertes et gaspillages tout au long de la chaîne alimentaire (82).

Ce cadre global, en ancrant la durabilité dans des critères clairs et multidimensionnels, donne un fondement solide à l'analyse des pratiques alimentaires observées dans les différentes populations. Il souligne en particulier l'importance des choix de consommation, en tant que reflet des arbitrages entre santé, culture, environnement et contraintes économiques. Dans cette perspective, interroger les consommations alimentaires concrètes devient essentiel pour évaluer dans quelle mesure les régimes en place s'alignent avec les principes d'une alimentation durable.

2.1.3. La consommation comme maillon central

a. Le pouvoir structurant de la demande

La demande alimentaire joue un rôle déterminant dans la transformation des systèmes alimentaires. Elle constitue un maillon central de la chaîne de valeur, capable d'orienter les pratiques de production, de distribution et d'innovation. Plusieurs études montrent que les consommateurs ne sont pas de simples bénéficiaires de l'offre, mais des acteurs à part entière de sa structuration. Leur volonté de payer un prix supérieur pour des produits perçus comme plus sains, durables ou éthiques agit comme un signal économique fort pour les entreprises agroalimentaires (83). Une méta-analyse récente révèle ainsi que les consommateurs sont prêts à dépenser en moyenne 29,5 % de plus pour des produits alimentaires durables, montrant un intérêt croissant pour la qualité environnementale et le rôle social de leur alimentation (84).

Cette influence ne repose pas uniquement sur des logiques de marché. Elle s'exerce également à travers des dynamiques sociales, culturelles et normatives. En effet, les consommateurs adoptent de plus en plus des comportements influencés par les normes collectives, les recommandations publiques et les discours environnementaux. Les effets de réseau, les communautés locales, les médias sociaux et les campagnes de sensibilisation amplifient ces dynamiques en créant des cercles vertueux qui renforcent les comportements durables et peuvent accélérer leur diffusion à l'échelle collective (83,85).

b. Mobilisation du consommateur pour la transition agroécologique

La transition agroécologique, encore souvent abordée sous l'angle de la production, ne pourra aboutir sans une mobilisation forte et structurée de la demande. En l'absence d'un marché porteur, les agriculteurs n'ont ni les incitations économiques ni la visibilité suffisante pour adopter des pratiques agroécologiques. La consommation devient donc une condition préalable à l'émergence de filières durables. Plusieurs travaux insistent sur la nécessité de repenser les politiques alimentaires à travers cette rétroaction essentielle entre offre et demande tel que les producteurs adaptent leur offre en fonction des attentes exprimées par les consommateurs, à condition que celles-ci soient suffisamment fortes, continues et lisibles (86).

Les produits biologiques, équitables ou locaux constituent aujourd'hui des indicateurs partiels mais concrets d'une telle demande. L'essor de ces produits dans les circuits de distribution, y compris dans la grande distribution, témoigne de l'influence croissante des préférences individuelles sur les stratégies d'approvisionnement des entreprises (87). A titre indicatif, le marché mondial du bio excédait les 110 milliards d'euros en 2020 (86), malgré un ralentissement au moment de la crise économique à la suite de la pandémie Covid-19. Par ailleurs, les circuits courts (vente directe, marchés fermiers) apparaissent comme des vecteurs privilégiés d'une agroécologie de proximité, soutenue par une relation de confiance entre consommateurs et producteurs (87).

c. Génération Z : un acteur émergent clé

Parmi les moteurs récents du changement, la génération Z (population née après 1995) apparaît comme un groupe particulièrement influent. Engagée, informée et connectée, elle exerce une double pression, directe et indirecte, sur les entreprises. Directement, par ses choix d'achat et ses comportements de boycott, et indirectement, par sa capacité à diffuser ses valeurs et à influencer l'image des marques via les réseaux sociaux. Selon des enquêtes récentes, 73 % des jeunes de cette génération sont prêts à payer davantage pour des produits durables, et 62 % attendent des entreprises qu'elles s'engagent activement sur les enjeux sociaux et environnementaux (88). Cette dynamique peut également être illustrée par la multiplication de mouvements de contestation, tels que les

collectifs de « déserteurs » issus de grandes écoles, qui remettent en question les logiques productivistes traditionnelles et appellent à une réorientation des modèles économiques vers des finalités plus soutenables.

Cette influence se traduit également par une exigence accrue de transparence sur les origines des produits, les conditions de fabrication et l'impact environnemental global. En dénonçant les cas de greenwashing ou en valorisant les marques engagées, la génération Z agit comme un régulateur comportemental du marché. Ce groupe joue donc un rôle de vigie dans la transition alimentaire, obligeant les entreprises à revoir leurs pratiques sous peine de sanctions réputationnelles. Le défi réside désormais dans l'institutionnalisation de ce pouvoir en renforçant l'information disponible, en garantissant l'équité d'accès aux options durables et en structurant la participation de cette génération dans les politiques publiques alimentaires (88).

d. Rôle des politiques publiques et des recommandations alimentaires

Enfin, une transition alimentaire soutenable portée par la consommation nécessite un cadre politique clair et structurant. Si l'offre évolue partiellement en réponse à la demande, c'est avant tout l'existence d'un environnement normatif et réglementaire cohérent qui permet d'orienter les préférences individuelles vers des choix alimentaires plus durables. L'intégration explicite de critères environnementaux, sociaux et sanitaires dans les recommandations nutritionnelles officielles constitue à ce titre un levier d'action majeur.

Bien que la FAO ait longtemps souligné la faible prise en compte de la durabilité dans les repères alimentaires nationaux (seuls quatre pays (l'Allemagne, le Brésil, la Suède et le Qatar) en faisaient mention en 2018 parmi les 215 analysés) (89), des avancées notables ont été observées depuis. Une revue récente de 2022 portant sur 83 pays montre que si aucun ne respecte l'ensemble des seize principes définis par la FAO et l'OMS pour une alimentation saine et durable, 45 % des lignes directrices étudiées mentionnent désormais la préservation de l'environnement (90). Toutefois, la grande majorité des documents analysés restent partiellement alignés avec les principes de durabilité, qu'il s'agisse des dimensions environnementales, sanitaires ou socioculturelles (90,91). La France, par exemple, ne fait pas exception. Ses repères actuels intègrent certaines recommandations favorables à la santé humaine, mais n'adressent que partiellement les enjeux environnementaux et restent largement centrés sur une approche nutritionnelle (90).

Le rapport de la FAO (2018) souligne l'importance de cette démarche et appelle à faire évoluer les recommandations nutritionnelles vers une approche systémique centrée non plus uniquement sur les nutriments, mais sur des régimes alimentaires complets, durables et culturellement adaptés (89). L'OCDE insiste, de son côté, sur la nécessité d'élaborer des politiques qui tiennent compte des

déterminants réels de la consommation : prix, goût, santé et accessibilité (60). En effet, les recommandations politiques convergent vers plusieurs axes, à savoir impliquer l'ensemble des ministères concernés (santé, agriculture, environnement), cibler les produits à fort impact (viande rouge, charcuterie), promouvoir des comportements sobres (cuisiner soi-même, limiter la publicité), et éduquer à la réduction du gaspillage. Par ailleurs, la FAO rappelle que la consommation durable pourrait permettre de réduire jusqu'à 70 % des coûts cachés liés aux maladies chroniques et aux dégradations environnementales (72).

En conclusion, la consommation représente bien plus qu'un acte individuel. C'est un levier systémique, stratégique et politique pour faire évoluer l'offre alimentaire vers plus de durabilité. Pour qu'elle devienne une force de transformation, il est indispensable de créer les conditions d'un engagement éclairé, équitable et soutenu des consommateurs. Cela implique d'agir sur les environnements alimentaires, d'articuler les incitations économiques et sociales, et d'aligner les politiques publiques autour d'un objectif commun qui est de réconcilier santé humaine, équité sociale et intégrité écologique.

2.2. Changer nos régimes alimentaires : leviers et obstacles

2.2.1. La complexité des transitions vers une alimentation durable

La transition vers une alimentation durable représente un enjeu de grande ampleur, tant sur le plan individuel que collectif. Loin de relever uniquement de décisions personnelles ou d'un engagement volontaire, elle s'inscrit dans un processus complexe, façonné par l'entrelacement de dimensions économiques, sociales, culturelles et environnementales. En 2022, 2,8 milliards de personnes dans le monde n'étaient pas en mesure de se permettre un régime alimentaire sain, soulignant l'importance des inégalités structurelles dans l'accès à l'alimentation durable (72). Cette complexité se reflète aussi dans la diversité des contextes alimentaires à l'échelle mondiale. Comme le montre la **Figure 16**, la concentration et l'intensité de l'insécurité alimentaire varient fortement d'une région à l'autre, soulignant la pluralité des situations de départ et la nécessité d'adapter les leviers de transition aux réalités locales.

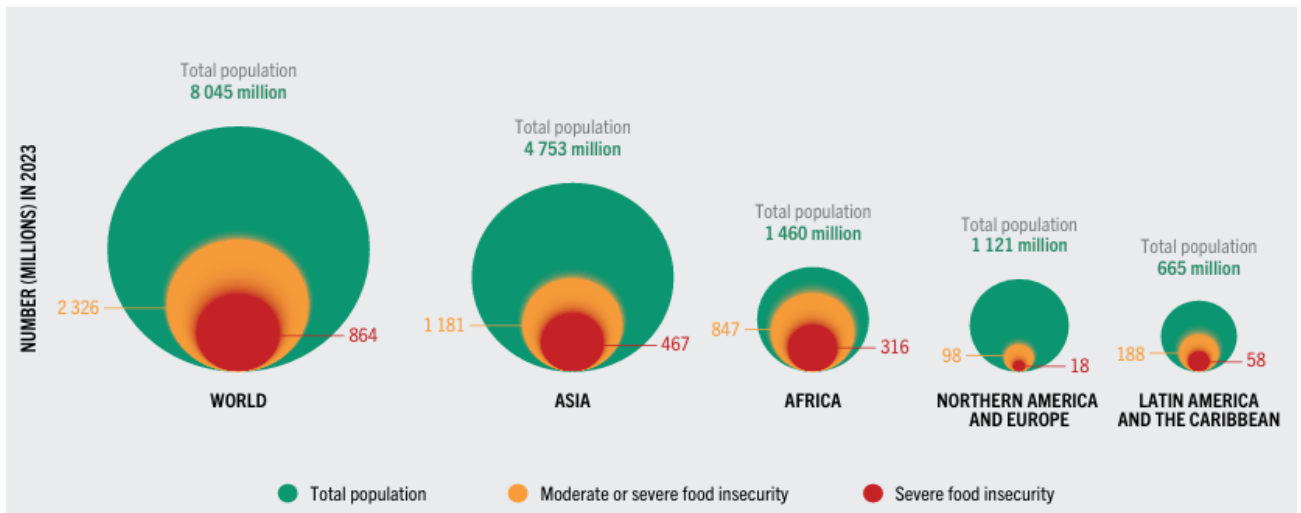


Figure 16 : Répartition mondiale de l'insécurité alimentaire selon sa gravité en 2023¹ (92)

¹ Cette figure illustre la distribution de l'insécurité alimentaire modérée et sévère à travers les principales régions du monde en 2023. La taille des cercles reflète la population totale, tandis que les zones colorées indiquent le nombre de personnes concernées par des formes modérées (orange) ou sévères (rouge) d'insécurité alimentaire. Les données montrent une forte hétérogénéité régionale, témoignant de la diversité des contextes dans lesquels s'inscrivent les transitions vers une alimentation durable.

Adopter un régime durable suppose une transformation profonde des habitudes alimentaires, qui repose sur l'interaction entre déterminants individuels (valeurs, motivations, connaissances, budget alimentaire) et facteurs contextuels ou systémiques (prix, disponibilité, infrastructures, politiques publiques). Une méta-analyse récente (93) confirme que ces transitions sont le fruit de dynamiques complexes, mobilisant à la fois des leviers psychologiques (préférences, attitudes, perceptions du risque), des connaissances nutritionnelles ou écologiques souvent limitées, et un ensemble de normes sociales, culturelles et économiques. Les motivations individuelles à adopter une alimentation durable sont généralement multiples. Elles incluent la recherche de bénéfices pour la santé, la préoccupation environnementale, ou encore l'adhésion à des valeurs éthiques. Toutefois, ces intentions se heurtent fréquemment à des contraintes matérielles (revenu disponible, éducation, compétences culinaires, disponibilité locale des produits dits « durables ») (85). Par exemple, la confiance dans les labels, l'expérience sensorielle, et la perception du coût influencent fortement les décisions d'achat, notamment chez les publics à bas revenus ou peu sensibilisés aux enjeux de durabilité.

Par ailleurs, le comportement des consommateurs ne se déploie pas dans un espace neutre. Il est façonné par l'environnement alimentaire dans lequel ils évoluent qui se caractérise par l'accessibilité physique et géographique des produits durables, la densité des offres transformées, les stratégies de marketing agressives, l'organisation des supermarchés, l'absence de marchés de proximité ou de solutions végétariennes dans la restauration collective. Ces facteurs conditionnent concrètement la faisabilité des choix alimentaires durables, en facilitant ou en limitant l'accès à des alternatives plus

durables. En parallèle, les structures sociales (genre, classe, statut d'emploi), les politiques agricoles, les cadres réglementaires et la gouvernance alimentaire influencent également les comportements. C'est pourquoi plusieurs travaux appellent à intégrer les consommateurs dans les politiques de transition agroécologique, non comme de simples bénéficiaires, mais comme co-acteurs du changement (93). La **Figure 17** ci-dessous synthétise les principaux facteurs qui influencent les comportements alimentaires durables, en distinguant les leviers et les freins selon les dimensions écologique, sanitaire, économique et socioculturelle.

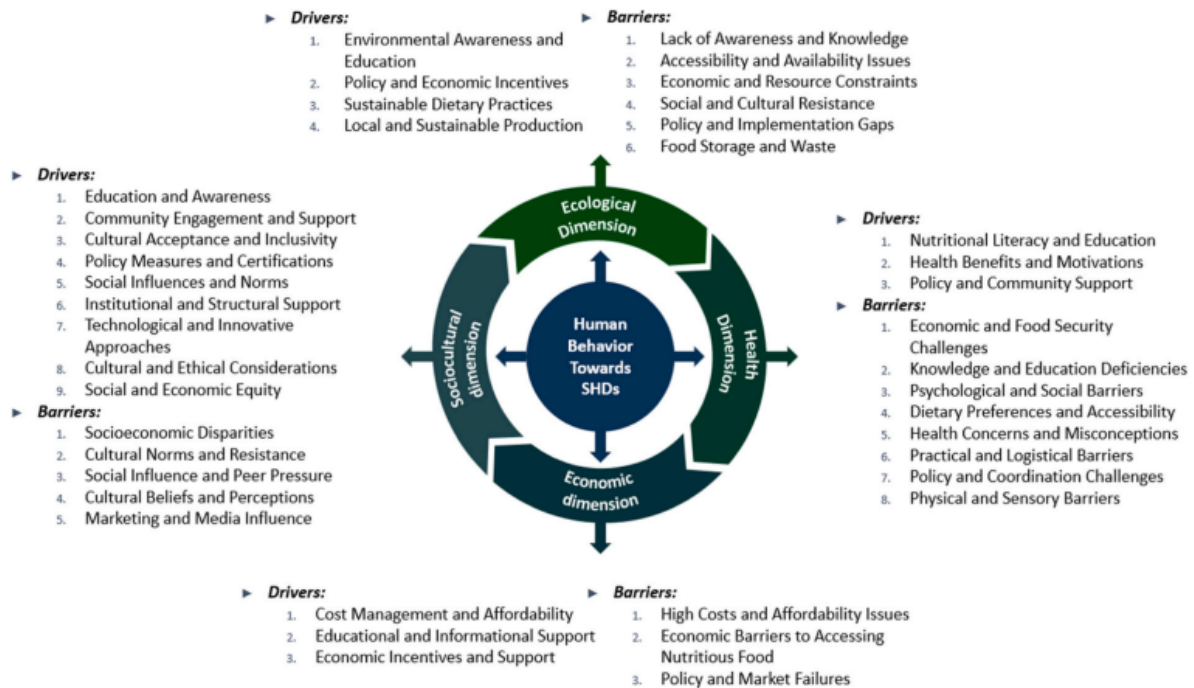


Figure 17 : Cadre conceptuel des déterminants comportementaux d'une alimentation durable (94)

Un des points récurrents dans la littérature est l'existence d'un écart marqué entre les intentions affichées et les comportements effectifs des consommateurs, souvent désigné sous le terme « *attitude-behavior gap* » (93). De nombreuses personnes affirment souhaiter adopter une alimentation plus durable, mais leurs pratiques alimentaires restent guidées par des facteurs plus immédiats comme le prix, le plaisir, les habitudes ou les injonctions sociales. Ce fossé comportemental est d'autant plus marqué que la notion même de durabilité alimentaire reste floue pour une partie du public. Elle est souvent réduite à sa dimension sanitaire, alors qu'elle intègre des enjeux écologiques, sociaux, économiques et culturels. Cette vision partielle limite l'adhésion globale et renforce les résistances au changement (93).

En définitive, la transition vers une alimentation durable ne peut réussir qu'à condition de reconnaître et d'agir sur l'ensemble des leviers qui la conditionnent. Il ne s'agit pas seulement de responsabiliser les individus, mais de créer les conditions collectives pour que le choix durable devienne le choix par

défaut en étant accessible, valorisé et soutenu. Dans ce qui suit, nous examinerons plus en détail les principales motivations qui encouragent l'adoption d'une alimentation durable, ainsi que les freins structurels, culturels et psychologiques qui en limitent la généralisation.

2.2.2. Les motivations intrinsèques des consommateurs

a. Facteurs psychologiques et cognitifs

Motivations et normes

L'adoption d'une alimentation durable repose sur un socle complexe de facteurs intrinsèques qui relèvent à la fois de dimensions psychologiques, cognitives et sociales. Parmi les principales motivations identifiées figurent la conscience environnementale, la recherche de santé, les valeurs éthiques (liées au bien-être animal ou à la justice sociale), les normes sociales ainsi que les connaissances et attitudes favorables envers la durabilité alimentaire. Ces éléments constituent autant de leviers potentiels pour orienter les comportements alimentaires vers des régimes plus responsables.

Les travaux empiriques montrent que les préférences alimentaires ne sont pas uniquement dictées par le goût ou le prix, mais aussi par des valeurs profondément ancrées. L'enquête EPIC 2022 de l'OCDE (60) citée plus haut avait permis d'identifier trois profils de consommateurs : « sensibles au prix » (24 % des ménages) contraints par le prix et peu engagés dans la consommation durable, « acheteurs réguliers de viande » (43 %) qui maintiennent une consommation élevée de viande malgré une attention modérée aux enjeux environnementaux et ceux « à conscience écologique » (33 %) qui montrent un engagement fort pour les produits durables (locaux, de saison, peu emballés), motivés par la fraîcheur, la santé et des convictions éthiques. En France, les pourcentages des trois profils étaient de 19%, 25% et 56% respectivement (**Figure 18**).

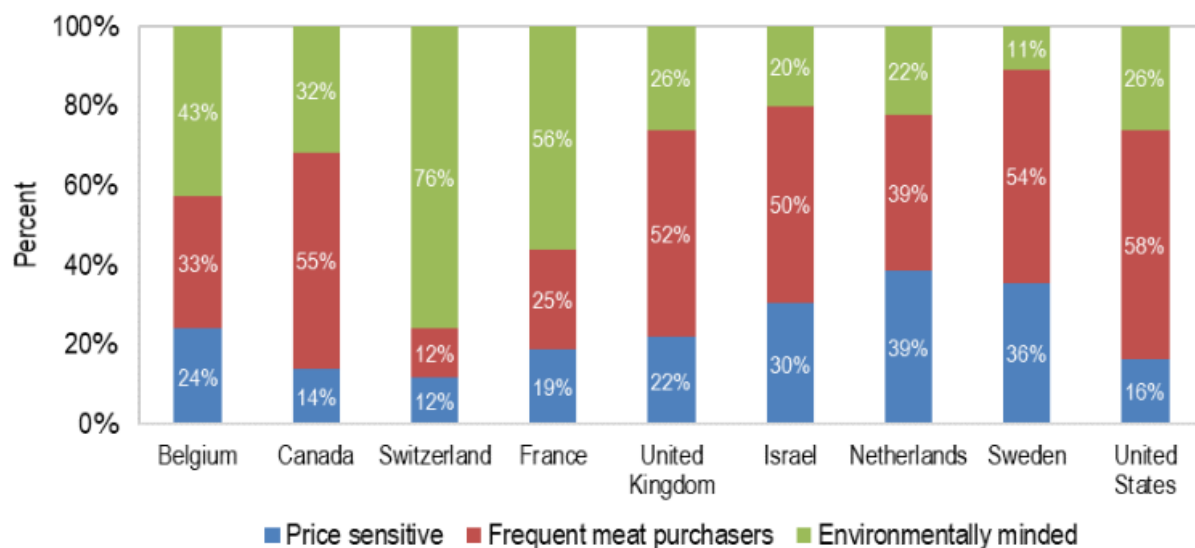


Figure 18 : Répartition des trois profils dans les neuf pays de l'étude EPIC. Source : OCDE, 2022 (60)

Ces profils sont fortement corrélés aux caractéristiques socio-économiques. Les ménages à revenus élevés et écologiquement sensibles adoptent plus facilement une alimentation durable, tandis que les ménages à faibles revenus sont moins sensibles aux campagnes d'information et davantage orientés par des contraintes économiques. Le refus des inégalités et la perception du bio comme un acte de justice sociale sont également associés à une plus forte adhésion aux produits écologiques (60).

Plusieurs études mobilisent la « Théorie du Comportement Planifié » pour expliquer les choix alimentaires durables (85,95). Ce modèle identifie trois déterminants majeurs de l'intention d'achat : l'attitude personnelle, les normes subjectives (pression sociale perçue) et le contrôle comportemental perçu (capacité à agir malgré les contraintes). L'attitude est le facteur le plus prédictif, bien qu'un écart important subsiste entre intention et comportement effectif. Environ 47 % des individus exprimant une intention forte d'acheter des produits durables ne concrétisent pas cette volonté, en raison de freins pratiques, économiques ou sociaux (96).

Une méta-analyse récente (85) regroupant plus de 47 000 consommateurs confirme que les motivations intrinsèques sont au cœur des comportements d'achat « vert ». Elle souligne notamment l'importance de la santé personnelle, perçue comme une motivation plus concrète que les enjeux environnementaux, et des normes sociales, qui agissent souvent de manière indirecte mais puissante. La conscience environnementale reste un moteur important, bien que parfois sous-estimée ou mal comprise. Les impacts réels de l'alimentation (émissions de GES, perte de biodiversité) sont en effet moins connus que d'autres gestes écologiques plus visibles, comme le recyclage. Les produits bio, locaux et issus du commerce équitable sont souvent associés à des motivations multiples telles que la santé, l'impact environnemental réduit, la solidarité locale et l'éthique du travail (86). L'achat de ces

produits s'inscrit ainsi dans une logique plus large de consommation responsable, qui mobilise des valeurs personnelles, des croyances sociales et un sentiment de responsabilité intergénérationnelle.

Enfin, les recherches récentes (93,97) insistent sur le fait que ces motivations, bien que fondamentales, ne suffisent pas à expliquer seules les comportements alimentaires durables. Elles doivent être activées dans un environnement propice à l'action garantissant une offre disponible, un étiquetage clair, des prix abordables et une reconnaissance sociale du comportement responsable. Sans ce cadre favorable, les motivations intrinsèques restent souvent à l'état d'intention.

Rôle de la connaissance

La connaissance des enjeux nutritionnels, environnementaux ou éthiques constitue un levier central mais ambivalent dans l'adoption de comportements alimentaires durables. Qu'il s'agisse de comprendre les impacts des aliments, les bénéfices santé ou le sens des labels, l'information joue un rôle déterminant dans la formation des intentions et des pratiques d'achat. Cependant, cette influence reste conditionnée par la qualité, la clarté et la crédibilité des informations transmises.

Les connaissances nutritionnelles, en particulier, représentent l'un des déterminants les plus solides du comportement alimentaire. De nombreuses études montrent que les individus les plus éduqués, notamment ceux diplômés de l'enseignement supérieur, ont tendance à consommer davantage de fruits, légumes et céréales complètes, et à intégrer plus efficacement les recommandations nutritionnelles (65). La santé personnelle, plus concrète que les enjeux écologiques et directement liée à l'alimentation, constitue ainsi la principale motivation des consommateurs à modifier leurs choix alimentaires (85,93). Toutefois, la durabilité alimentaire repose également sur la conscience des impacts environnementaux de l'alimentation. Or, cette dimension reste souvent mal maîtrisée. Par exemple, beaucoup de consommateurs sous-estiment l'empreinte carbone de la production de viande ou de produits transformés, et surestiment l'impact positif d'achats locaux ou bio, indépendamment du type d'aliment ou de sa saisonnalité (93). Cette connaissance environnementale partielle crée des biais cognitifs qui freinent l'adoption de comportements réellement durables.

Les labels alimentaires devraient permettre de guider les choix vers des produits plus durables. Pourtant, leur efficacité peut être limitée par la complexité perçue de ces dispositifs et par le questionnement qu'ils suscitent. Les consommateurs ayant une faible confiance dans les labels ou une compréhension limitée de leur signification sont moins enclins à orienter leurs achats en fonction de ces repères (98). Par ailleurs, la multiplication de ces labels, aux critères variables et parfois peu exigeants, accentue la confusion chez les consommateurs. Le rapport BASIC–WWF–Greenpeace (99) identifie une profusion de démarches qui, faute de lisibilité et d'évaluation harmonisée, affaiblissent la confiance dans l'ensemble du système de certification. Certains labels environnementaux suscitent

même défiance, notamment lorsqu'ils sont perçus comme opportunistes ou peu transparents (88). Pourtant, la connaissance des processus de production et des certifications augmente l'intention d'achat (85).

Face à ces constats, l'éducation apparaît comme un levier incontournable. L'éducation nutritionnelle et écologique, intégrée dès le plus jeune âge et adaptée à la diversité des publics, permet non seulement d'améliorer les connaissances mais aussi de renforcer les motivations internes à adopter des régimes plus durables. Plusieurs travaux soulignent que les campagnes les plus efficaces sont celles qui s'inscrivent dans la durée (plus de six mois), utilisent des messages simples, concrets (ex : impact comparé des produits, portions, labels) et ciblent les bénéfices personnels (santé, économies) plutôt que des messages génériques (83).

Caractéristiques individuelles

L'adoption de régimes durables est fortement influencée par des facteurs sociodémographiques tels que le genre, le niveau d'éducation, le revenu et l'âge. Ces variables façonnent les préférences, les contraintes et les opportunités des consommateurs, et expliquent en partie les écarts observés dans les comportements alimentaires (60,70,83,86,93).

Le genre apparaît comme un facteur déterminant. En effet, les femmes sont en moyenne plus sensibles aux enjeux de santé, d'environnement et de bien-être animal. Elles sont aussi plus enclines à réduire leur consommation de viande et à intégrer des produits durables dans leur alimentation, jouant souvent un rôle central dans les décisions alimentaires du foyer (93).

Comme développé plus haut, le niveau d'éducation est positivement associé à une meilleure compréhension des enjeux de durabilité et à une adoption plus fréquente de comportements alimentaires responsables. Les personnes diplômées sont plus critiques vis-à-vis des systèmes de production conventionnels et davantage ouverts aux alternatives végétales (93).

Le revenu détermine la capacité d'action. Si les ménages à hauts revenus peuvent plus facilement accéder aux produits durables, les ménages modestes, bien que parfois motivés, rencontrent des freins économiques importants. Le rapport OCDE (2025) recommande d'adapter les politiques aux profils de consommateurs : par exemple, les « sensibles au prix » réagissent davantage aux politiques de prix, tandis que ceux « à conscience écologique » sont plus sensibles aux messages environnementaux (60).

L'âge joue également un rôle dans la mesure où les jeunes adultes sont plus enclins à expérimenter de nouvelles pratiques (flexitarisme, protéines végétales), tandis que les personnes âgées privilégient souvent une réduction de portions plutôt qu'un changement de régime alimentaire (93).

Ces facteurs interagissent. Par exemple, les jeunes femmes diplômées sont parmi les plus réceptives aux messages de durabilité, tandis que les hommes plus âgés et peu diplômés sont moins concernés. La revue de Fernqvist et al. souligne l'importance de prendre en compte ces profils pour adapter les stratégies d'intervention (83).

b. Motivations comportementales et sensorielles

Au-delà des considérations environnementales ou éthiques, les dimensions sensorielles et comportementales, notamment le goût, le plaisir, l'habitude et la perception d'efficacité individuelle jouent un rôle central dans les choix alimentaires. Ces motivations, souvent immédiates et émotionnelles, peuvent à la fois soutenir ou freiner l'adoption de régimes durables (83,93,97).

Le plaisir gustatif figure parmi les moteurs dominants de la consommation, y compris pour des produits à fort impact environnemental comme la viande. Même informés, de nombreux consommateurs privilégient le goût à la durabilité. Ce plaisir peut toutefois encourager certains choix responsables, comme les produits bio ou locaux, souvent perçus comme plus savoureux. À l'inverse, il peut dissuader la consommation de légumes ou d'alternatives végétales jugées moins appétissantes (100).

Les habitudes alimentaires profondément enracinées dans les traditions familiales, culturelles et les préférences personnelles, jouent également un rôle majeur dans la transition en favorisant une éventuelle résistance au changement (96,101). Les modèles comportementaux (Théorie du Comportement Planifié, Théorie de l'Action Raisonnée, Théorie Sociale Cognitive) montrent que l'expérience passée influence fortement les comportements futurs, souvent plus que les attitudes ou les connaissances. Ainsi, la familiarité, entendue ici comme le confort psychologique lié aux pratiques alimentaires connues et répétées, les routines, l'importance accordée aux repas identitaires (ex : viande associée à la virilité ou aux fêtes familiales) sont autant de facteurs qui freinent les transitions (96). Dans ce sens, la commensalité (le fait de manger ensemble) renforce souvent les normes alimentaires en place, et les tentatives individuelles de changement peuvent être limitées si l'entourage ne suit pas (85,102,103). La peur de déroger aux attentes du groupe ou de perturber l'équilibre familial freine les changements individuels, même chez des personnes sensibilisées, créant une dissonance cognitive (93). Ainsi, réduire la viande peut être perçu dans certaines cultures ou milieux comme une rupture ou une régression (93,102). À l'inverse, les signaux positifs envoyés par des pairs (réduction de la viande, choix bio, etc.) peuvent initier un effet d'entraînement, surtout lorsqu'ils proviennent de personnes proches (103), de même que le rôle central des femmes comme "gestionnaires" de l'alimentation du foyer (48,83).

Enfin, le sentiment de pouvoir agir, ou perception d'efficacité individuelle, est un levier essentiel de l'adoption de régimes durables. Les consommateurs qui croient que leurs choix peuvent avoir un

impact positif sur l'environnement sont plus enclins à réduire leur consommation de viande, à acheter bio ou à privilégier des produits labellisés (93,95). À l'inverse, si les individus pensent que leurs efforts sont insignifiants, leur motivation à changer reste faible, même s'ils connaissent les enjeux (93).

2.2.3. Les freins intrinsèques des consommateurs

Parmi les freins intrinsèques à l'adoption d'une alimentation durable, le prix perçu élevé des produits durables constitue un obstacle majeur, particulièrement pour les ménages à faibles revenus. Dans plusieurs études, le coût apparaît comme le critère numéro un des choix alimentaires, avant même les considérations de santé ou d'environnement (60,104,105). Même les consommateurs sensibilisés à la durabilité indiquent ne pas toujours pouvoir agir selon leurs valeurs, faute de moyens (104). Dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, les régimes durables sont en moyenne de 18 à 45 % plus chers que les régimes actuels, ce qui en freine l'adoption (105). Par ailleurs, les études sur la disposition à payer (DAP) montrent que, bien qu'un segment significatif de la population soit prêt à payer plus pour des produits durables (en moyenne +30 %), cette disposition varie selon le revenu, le genre, l'âge et le niveau d'éducation (84,87). Les femmes, les jeunes adultes et les ménages plus aisés affichent les DAP les plus élevés, ce qui confirme l'existence d'un gradient socio-économique fort dans la capacité à soutenir l'offre durable. À cet égard, les subventions ciblées apparaissent comme des leviers efficaces tel qu'une baisse de prix de 10 % sur les aliments sains augmenterait leur consommation de 12 à 16 % (106).

Par ailleurs, le temps disponible et la recherche de praticité constituent des obstacles majeurs à l'adoption d'une alimentation durable. Plusieurs études montrent que la cuisine maison est perçue comme chronophage, complexe et peu compatible avec les emplois du temps modernes, notamment chez les jeunes adultes et les étudiants (107), en plus du manque de compétences culinaires. Ceci freine la consommation de produits bruts, de légumes frais ou de légumineuses, et favorise l'adoption de solutions pratiques comme les plats prêts-à-consommer, les repas rapides et les produits transformés (108), tout en réduisant l'autonomie alimentaire (109,110). Cette recherche de commodité se traduit souvent par des régimes monotones et pauvres en diversité nutritionnelle, centrés sur des féculents faciles à cuire et des protéines simples. L'opposition entre durabilité et praticité est ainsi vécue comme un dilemme quotidien par de nombreux ménages, quel que soit leur profil sociodémographique (108).

2.2.4. Les freins extrinsèques aux consommateurs

a. Multiplicité et déséquilibre de pouvoirs

La concentration de l'offre agroalimentaire entre les mains de quelques grandes entreprises constitue un frein extrinsèque majeur à l'adoption d'une alimentation durable. Ces acteurs dominants orientent l'offre vers des produits transformés, standardisés et à forte marge, au détriment de la diversité nutritionnelle et écologique (111). Inspirées des stratégies de l'industrie du tabac et de l'alcool, leurs pratiques incluent un lobbying actif, une influence sur les politiques publiques, et un contrôle des espaces publicitaires, favorisant la consommation des produits les plus rentables, souvent les moins favorables à la santé (112). Ces acteurs, souvent regroupés en puissantes fédérations (comme FoodDrinkEurope ou la FNSEA), mobilisent des stratégies de lobbying structurées, influencent les normes, et freinent l'adoption de réformes ambitieuses (étiquetage, fiscalité, régulation de la publicité) (113,114).

L'enquête sur la Déclaration de Dublin (115,116) illustre cette dynamique. Présentée comme un consensus scientifique en faveur de l'élevage, elle est en réalité portée par des auteurs aux liens étroits avec la filière de la viande, visant à peser sur les politiques européennes en minimisant l'impact environnemental des protéines animales. Ce déséquilibre de pouvoir est également documenté dans un rapport parlementaire français (111), qui souligne la concentration de l'offre avec 75 % de l'alimentation mondiale qui repose sur seulement 12 plantes et 5 espèces animales. Cette uniformisation est alimentée par une domination des filières industrielles à forte rentabilité, soutenue par des investissements marketing massifs (111,112). Cette domination limite la visibilité des alternatives locales, biologiques ou éthiques, pourtant plus alignées avec les objectifs à long terme de santé publique et de durabilité.

Dans ce contexte, les actions publiques volontaristes (achats institutionnels durables, restrictions publicitaires, subventions ciblées) restent insuffisantes si elles ne s'accompagnent pas d'une régulation structurelle du pouvoir de marché, d'une transparence accrue des conflits d'intérêts, et d'un soutien aux acteurs de la transition (agriculteurs indépendants, circuits courts) (72,85,86).

b. Fragmentation scientifique et confusion normative

La recherche sur l'alimentation durable demeure largement fragmentée entre différentes disciplines (nutrition, sciences sociales, environnement, agronomie) ce qui complique l'élaboration de messages cohérents, accessibles et opérationnels pour le public et les décideurs. Historiquement, la nutrition s'est concentrée sur une approche réductionniste, focalisée sur les composés biochimiques des aliments (vitamines, acides gras, micronutriments), négligeant souvent les dimensions sociales,

culturelles et environnementales. Cette orientation a nourri ce que certains chercheurs qualifient de « nutritionnisme », réduisant l'alimentation à une simple somme de nutriments (117). Parallèlement, les sciences humaines et sociales, bien que porteuses d'approches bio-culturelles et multiscales, sont longtemps restées marginales ou isolées, et peinent encore à dialoguer avec les disciplines biologiques et techniques (117,118). L'agronomie, quant à elle, bien que structurée autour d'une vision systémique, s'est peu intéressée aux usages alimentaires, aux cultures culinaires ou aux effets sanitaires des modèles agricoles.

Les avancées en agroécologie et en systèmes alimentaires durables traduisent une volonté de décloisonnement, mais ces efforts demeurent limités à la marge des structures de recherche dominantes (117). Cette segmentation empêche l'émergence d'un paradigme commun de durabilité et nuit à la lisibilité des recommandations. Une revue systématique récente souligne que la majorité des études croisent seulement deux dimensions à la fois (ex. : santé + climat, ou climat + coût), mais très rarement les quatre piliers que sont la santé, l'environnement, l'économie et la culture (119). En conséquence, les messages adressés aux consommateurs sont souvent contradictoires, voire confus : certains régimes jugés bons pour la santé peuvent s'avérer coûteux ou peu compatibles avec les objectifs environnementaux, comme cela a été observé dans certains pays européens (119).

Cette fragmentation est également épistémologique. Selon une analyse bibliométrique (88), la littérature sur la consommation durable s'organise en cinq clusters distincts : consommation durable, conscience du consommateur, marketing vert, objectifs de développement durable, et greenwashing. Cela témoigne d'une pluralité de concepts mais aussi d'une faible intégration interdisciplinaire. L'ouvrage coordonné par Bricas et al. plaide ainsi pour une véritable « écologie des savoirs », fondée sur un dialogue structuré entre disciplines et avec la société civile. L'objectif est de produire des connaissances transversales, coconstruites et intelligibles pour nourrir une transition systémique de l'alimentation (117).

Enfin, la méconnaissance des préférences des groupes défavorisés, souvent absents des travaux scientifiques, constitue une autre limite critique. Les recommandations actuelles restent trop souvent déconnectées des contextes sociaux réels. Blare et al. recommandent à ce titre d'encourager la recherche participative sur les pratiques, les contraintes et les aspirations de ces populations (86).

A cet égard, le cloisonnement disciplinaire représente un frein extrinsèque majeur à l'adoption d'une alimentation durable. Il génère une confusion normative qui désoriente les citoyens et ralentit l'action publique. La mise en place de méthodologies intégrées et transdisciplinaires s'impose pour dépasser les silos et construire des cadres d'analyse et d'action adaptés à la complexité des systèmes alimentaires.

3. État des lieux des transitions alimentaires durables dans la littérature

3.1. Méthodes d'analyse longitudinale et du parcours de vie

Parmi les approches quantitatives, les modèles de trajectoires alimentaires occupent une place centrale dans l'analyse des transitions dans le temps. La modélisation des trajectoires groupées (Group-Based Trajectory Modeling, GBTM) et les modèles de croissance latente permettent d'identifier des sous-groupes de population suivant des schémas d'évolution alimentaire distincts, souvent non linéaires. Ces outils sont particulièrement adaptés à l'étude des comportements alimentaires au fil du parcours de vie, en intégrant des données répétées et en tenant compte de l'hétérogénéité interindividuelle.

Ainsi, l'étude menée par Tao et al. (120) montre que la qualité de l'alimentation tend à décliner de l'adolescence au début de l'âge adulte, avant de s'améliorer à nouveau, selon des trajectoires quadratiques différenciées entre hommes et femmes. L'impact d'événements de vie majeurs comme le départ du foyer parental, entrée dans la vie active ou la parentalité, est particulièrement marqué, révélant des effets transitoires ou persistants selon le contexte et le genre. De manière complémentaire, une étude menée sur la cohorte HANDLS (121) démontre que les trajectoires de qualité alimentaire à l'âge adulte, bien que relativement stables, sont fortement différenciées selon des facteurs socio-économiques et démographiques. Grâce à la GBTM, trois profils d'évolution ont été identifiés pour plusieurs indices alimentaires, soulignant la pertinence de cette approche pour mettre au jour des dynamiques structurelles sous-jacentes. Ces modèles statistiques sont d'autant plus utiles qu'ils permettent de relier les trajectoires alimentaires à des événements de vie, tout en intégrant les effets différenciés selon le sexe, comme le montre à nouveau l'étude de Tao et al. (120), qui distingue des effets spécifiques de la cohabitation et de la parentalité sur la qualité de l'alimentation chez les femmes, effets absents ou inversés chez les hommes. L'utilisation de méthodes robustes pour gérer les données manquantes, comme l'estimation de vraisemblance complète (FIML), renforce la solidité de ces analyses longitudinales.

L'approche proposée par Perignon et Darmon (122) classe les études sur les régimes durables en quatre grandes familles méthodologiques : les régimes simulés, ou scénarios, (approche 1), les régimes observés dans la population (approche 2), l'identification de profils exemplaires ou « déviants positifs » (approche 3), et les régimes optimisés sous contraintes (approche 4). Les approches 2 et 3, qui reposent sur des données empiriques, nécessitent souvent des données longitudinales pour analyser les évolutions alimentaires réelles, avec l'avantage de mieux intégrer l'acceptabilité culturelle et la variabilité interindividuelle. Dans une optique complémentaire, Eme et al. (123) soulignent l'hétérogénéité des indicateurs utilisés pour évaluer la durabilité alimentaire, et le manque de données

longitudinales continues dans la majorité des études existantes. Leur analyse de 51 publications met en lumière l'importance implicite d'une approche temporelle pour tester et comparer des indicateurs harmonisés relatifs à la nutrition, l'environnement et les dimensions socio-économiques.

Parallèlement aux analyses quantitatives dans de larges populations, certaines recherches proposent une lecture plus qualitative et systémique des transitions alimentaires. Lamine et Marsden (2023) (124), à travers une étude comparée des systèmes alimentaires britannique et français, s'appuient sur des données longitudinales collectées sur plus de deux décennies pour analyser les dynamiques de pouvoir, les ruptures institutionnelles et la pluralité des récits de durabilité. Ils montrent que l'analyse des transitions ne peut se limiter aux innovations techniques, mais doit intégrer les reconfigurations politiques, les alliances territoriales et la compétition narrative entre modèles agricoles et alimentaires. Par ailleurs, l'article de Ruben et al. (125), bien que non centré sur des méthodes quantitatives, plaide pour un renouvellement paradigmatique dans l'analyse des systèmes alimentaires. Il souligne la nécessité d'approches dynamiques et contextuelles, en phase avec les logiques de résilience, de circularité, d'inclusion sociale et de connectivité rurale-urbaine. Cette vision systémique justifie pleinement l'utilisation de méthodes capables de capturer les trajectoires différenciées dans le temps, tant au niveau des individus que des collectifs.

Au-delà de la diversité des approches, les publications récentes convergent vers la nécessité d'une intégration explicite des dimensions de durabilité dans des outils cohérents, comparables et exploitables pour l'action publique. L'article de Perignon & Darmon (122), en catégorisant les approches existantes (scénarios hypothétiques, évaluation empirique, déviance positive, optimisation contrainte), met en évidence l'intérêt des méthodologies multicritères qui combinent réalisme comportemental (acceptabilité), robustesse nutritionnelle, coûts économiques, et impacts environnementaux. Ces approches, bien qu'hétérogènes, partagent un même objectif de construire une grille de lecture intégrée des transformations alimentaires. Elles insistent sur la nécessité de quantifier les arbitrages entre objectifs parfois contradictoires (par exemple : un régime respectueux du climat mais coûteux ou peu acceptable culturellement), et d'accompagner les politiques alimentaires de cadres d'évaluation harmonisés, comme l'ont souligné Eme et al. (123) à travers leur travail de standardisation des indicateurs internationaux.

En somme, les cadres intégrés d'évaluation de la durabilité constituent un pivot méthodologique essentiel pour comprendre les transitions alimentaires contemporaines. Ils permettent de dépasser les approches monodimensionnelles pour embrasser la complexité des enjeux liés à l'alimentation durable. La littérature récente témoigne d'ailleurs d'un tournant vers des approches longitudinales, mixtes et systémiques, seules à même de saisir cette complexité. Qu'il s'agisse de modèles de trajectoires quantitatives, d'études de cohortes ou d'analyses des dynamiques politiques et

structurelles, ces travaux insistent sur l'importance d'un ancrage temporel et contextuel pour éclairer les leviers de changement. Le développement et la diffusion de ces cadres conditionnent ainsi la capacité des chercheurs et des décideurs à orienter les systèmes alimentaires vers des trajectoires à la fois viables, saines, équitables et écologiquement soutenables.

3.2. Transitions alimentaires durables : constats empiriques et avancées récentes

3.2.1. Une transition en cours, mais hétérogène et incomplète

Les transitions alimentaires observées à l'échelle internationale au cours des deux dernières décennies témoignent d'un mouvement partiel vers des régimes plus durables, qui reste inégal selon les contextes géographiques, les générations, et les groupes sociaux. Dans plusieurs pays européens, des signaux d'évolution se dessinent, traduisant une réduction modérée de la consommation de viande rouge et de produits transformés, parallèlement à une augmentation des apports en fruits, légumes, légumineuses et substituts végétaux. Ces changements restent cependant marginaux, souvent insuffisants pour atteindre les objectifs climatiques ou nutritionnels fixés par les grands cadres de référence.

L'étude longitudinale menée en Suède entre 2001-2004 et 2014-2018, fondée sur des enquêtes de santé représentatives de la ville de Göteborg (126), révèle une baisse significative des émissions de gaz à effet de serre liées à l'alimentation, en particulier chez les jeunes adultes (-28 % en brut chez les 25-34 ans). Cette réduction est attribuable à une moindre consommation de viande transformée et de produits dits « discrétionnaires » (fast-foods, boissons sucrées), bien que la consommation de viande de ruminants soit restée stable, limitant les bénéfices environnementaux globaux. Une dynamique similaire est observée aux Pays-Bas dans la cohorte EPIC-NL (127), dans laquelle les participants ont amélioré la qualité nutritionnelle de leur régime entre 1993 et 2015, notamment par une augmentation des apports en noix, légumineuses et substituts végétaux. Toutefois, ces changements n'ont pas entraîné de réduction significative de l'empreinte carbone de l'alimentation, notamment en raison du maintien, voire de l'augmentation, de la consommation de viande bovine et de poisson, deux groupes à fort impact environnemental.

Parallèlement, les analyses globales fondées sur des modèles prospectifs révèlent une trajectoire mondiale préoccupante. En croisant données nutritionnelles et projections démographiques, Bodirsky et al. montrent que la transition nutritionnelle actuelle, marquée par une augmentation de la consommation de produits animaux, de sucres et d'aliments à forte densité énergétique, conduit à une hausse constante de la prévalence de surpoids et d'obésité, ainsi que de la demande alimentaire (128). D'ici 2050, les produits animaux devraient représenter environ 24 % de l'apport énergétique

mondial, contre 18 % en 2010, alors même que les apports en fruits, légumes et noix restent en dessous des recommandations. Cette évolution remet en question la possibilité d'atteindre les objectifs de sécurité alimentaire et de durabilité, notamment dans les pays à revenus intermédiaires, où l'augmentation des « calories vides » est particulièrement marquée (128). Cette dynamique de transition incomplète s'observe également à l'échelle mondiale. Comme le montre la **Figure 19**, la carte mondiale des déséquilibres nutritionnels révèle un glissement progressif, entre 1965 et 2050, d'une situation de pénurie vers une généralisation de la surconsommation. Alors que la sous-nutrition dominait largement en 1965, notamment en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud et en Amérique latine, la situation s'est progressivement inversée. En 2010, l'obésité devenait majoritaire dans de nombreuses régions, et les projections pour 2050 annoncent une généralisation des excès caloriques, y compris dans des zones jusqu'ici marquées par la précarité alimentaire.

Ce basculement ne signifie pas pour autant la disparition de la sous-alimentation. La carte révèle un double fardeau nutritionnel croissant, avec la cohabitation de la dénutrition et de l'obésité dans un même pays. Les pictogrammes illustrant les 16 pays les plus peuplés soulignent en parallèle une augmentation notable de la consommation de calories vides et des produits d'origine animale, sans amélioration significative des consommations de fruits, légumes ou noix. Ces évolutions traduisent les limites des trajectoires alimentaires actuelles face aux objectifs de santé publique et de durabilité.

Enfin, plusieurs études montrent que les progrès vers une alimentation durable sont marqués par des disparités générationnelles et sociales. Les jeunes adultes tendent à adopter plus rapidement des comportements alimentaires compatibles avec la durabilité environnementale, comme l'illustre l'exemple suédois (126). À l'inverse, les autres tranches d'âge ou les groupes à revenu plus élevé peuvent maintenir des habitudes alimentaires plus émettrices, en particulier par une consommation persistante de viande rouge (126,129).

Ces constats soulignent que la transition alimentaire durable, bien qu'amorcée dans certains contextes, reste fragmentaire et hétérogène. Elle est freinée par des résistances culturelles, des préférences ancrées, et des conditions socioéconomiques inégalement réparties. Loin d'être linéaire ou universelle, cette transition prend des formes contrastées selon les populations, nécessitant des approches différenciées pour accompagner efficacement les changements de comportements.

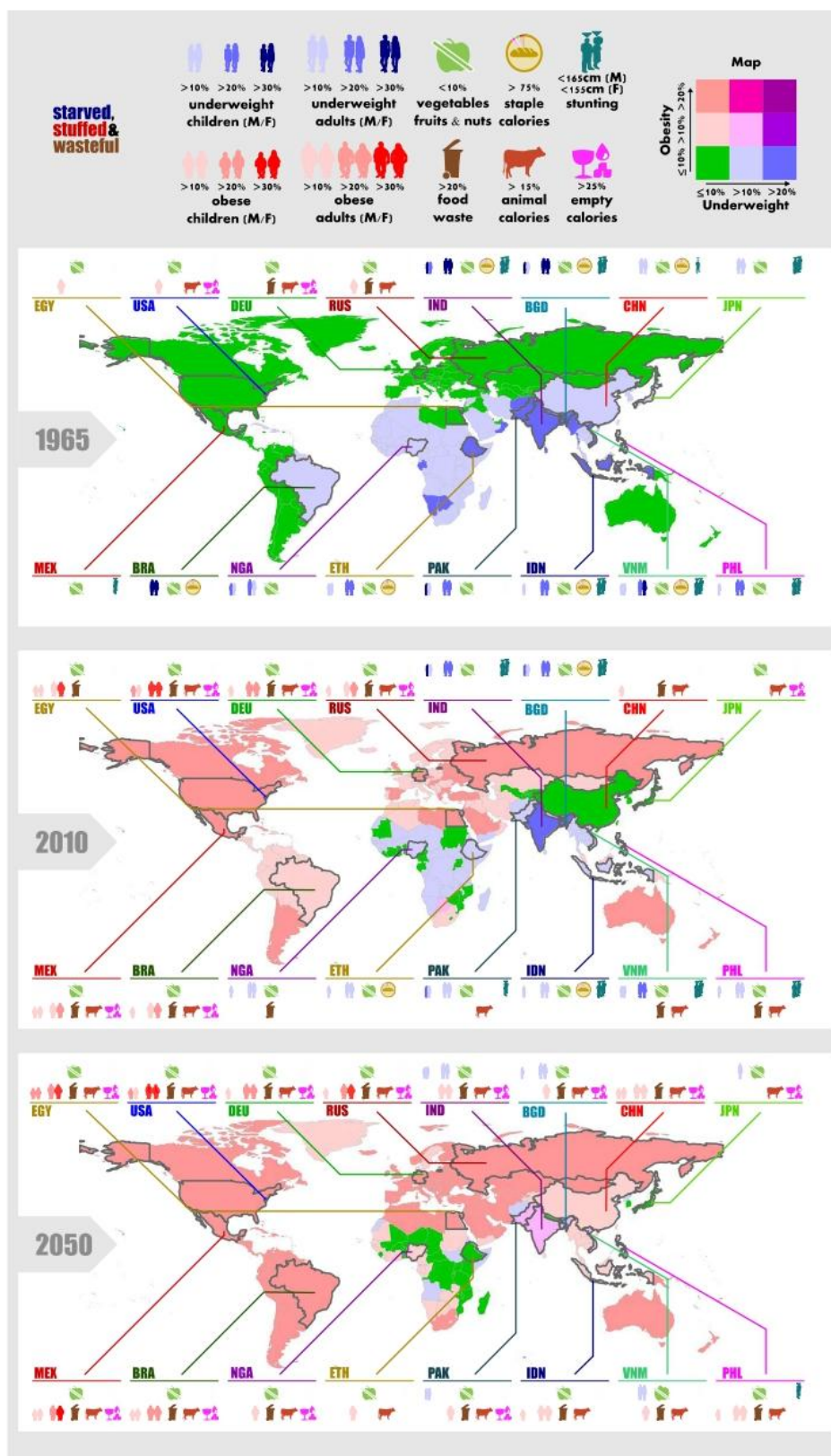


Figure 19 : Régimes alimentaires déséquilibrés : le passage de la pénurie à la surconsommation¹ (128)

¹ Les couleurs des cartes montrent la prévalence de l'insuffisance pondérale et de l'obésité dans la population. Pour les 16 pays les plus peuplés, des symboles indiquent des détails supplémentaires sur l'anthropométrie, la composition alimentaire et le gaspillage alimentaire. Les abréviations des pays correspondent aux codes ISO3. Les estimations pour 2050 sont des projections issues de modèles. Pour 1965 et 2010, les données rapportées

sont complétées par des estimations. Les estimations de l'indice de masse corporelle (IMC) pour 1965 ont été ajustées à partir de données disponibles seulement à partir de 1975. Les données sur la composition alimentaire ont été complétées pour certains pays majeurs sans données publiées, comme les Philippines ou la République démocratique du Congo. Les estimations du gaspillage alimentaire sont toutes issues de modélisations.

3.2.2. Profils alimentaires et leviers de durabilité identifiés

La littérature récente met en évidence une grande hétérogénéité des profils alimentaires en matière de durabilité. Plutôt que d'observer une transition uniforme, les études montrent l'existence de régimes contrastés au sein des populations, avec des niveaux très variables d'impacts environnementaux et de qualité nutritionnelle (130). Ces profils, qu'ils soient définis empiriquement ou à partir d'indices standardisés, permettent d'identifier des leviers clés pour orienter les comportements vers une alimentation à la fois plus saine et plus durable.

De nombreux travaux à l'EREN ont porté sur l'évaluation en transversal de la durabilité des régimes alimentaires (131) en utilisant diverses approches : une approche se basant sur un critère spécifique comme les émissions de gaz à effet de serre liées à la production des régimes alimentaires (132) ou la consommation d'aliments bio (68), une approche exploratoire à partir d'identification de typologie (133) et enfin une approche *a priori* consistant à créer un indice d'évaluation de la durabilité des régimes alimentaires français (134) dont les associations avec la santé à long terme ont été estimées (135,136)

La **Figure 20** illustre une structure alimentaire remarquablement similaire entre les trois régimes durables obtenus par des approches distinctes au sein de la cohorte NutriNet-Santé. Notamment, les compositions alimentaires du régime moyen du 5^{ème} quintile du Sustainable Diet Index (SDI), score composite de durabilité intégrant des dimensions nutritionnelle, environnementale, économique et socioculturelle, présente une composition alimentaire presque indiscernable de celle observée chez les participants du 5^e cluster issu de la typologie de groupes. À l'inverse, le régime alimentaire moyen des participants du quintile caractérisé par les plus faibles émissions de gaz à effet de serre présente de légères différences. Plus précisément, la consommation de fruits, de légumes et de viande (blanche et de ruminants) est réduite, tandis que la consommation d'aliments gras et sucrés ainsi que de féculents est augmentée, ce qui reflète les adaptations du modèle alimentaire axé sur la prise en compte du climat.

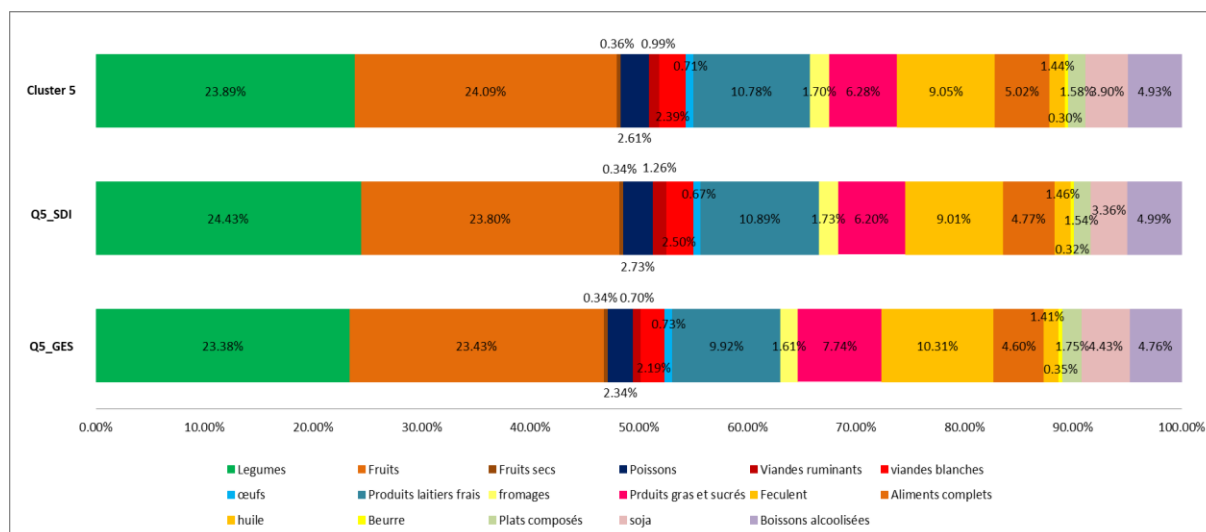


Figure 20 : Contribution (en % de g) des groupes d'aliments dans les trois meilleurs régimes obtenus par différentes approches d'identification de régimes durables¹ (137)

Abréviations : GES, Gaz à effet de serre ; SDI, Sustainable Diet Index.

¹Cluster 5 : groupes des participants présentant le meilleur compromis lors de la phase exploratoire

Q5_SDI : quintile des participants ayant obtenu les SDI (indice d'évaluation de la durabilité) les plus élevés

Q5_GES : quintile des participants dont la production du régime émet le moins de gaz à effet de serre

Plusieurs travaux ont cherché à caractériser les régimes alimentaires selon leur contenu en produits d'origine animale et végétale. C'est le cas de l'étude britannique de Hjorth et al. (138), qui distingue cinq quintiles de consommation de produits animaux, allant des « petits consommateurs de viande » aux « grands consommateurs ». Les résultats montrent que les individus à forte consommation de viande génèrent jusqu'à 2,5 fois plus d'émissions de gaz à effet de serre par jour, et mobilisent davantage de terres, d'eau d'irrigation et de ressources azotées. À l'inverse, les régimes à base majoritairement végétale, riches en légumineuses, céréales complètes, fruits et légumes, sont systématiquement associés à une empreinte environnementale réduite.

D'autres études approfondissent cette distinction en différenciant les régimes végétaux selon leur qualité. Les recherches menées aux États-Unis (139) et en Chine (140) distinguent ainsi les régimes alimentaires végétalisés sains (« healthy Plant-Based Diets », hPDI), centrés sur des aliments végétaux peu transformés, et les régimes alimentaires végétalisés malsains (« unhealthy Plant-Based Diets », uPDI), dominés par des produits sucrés, raffinés ou ultra-transformés. Les résultats confirment que seuls les régimes végétalisés de haute qualité sont associés à une réduction du risque de maladies cardiovasculaires, de diabète de type 2 et de mortalité toutes causes, tout en présentant une empreinte carbone significativement plus faible. À l'inverse, les régimes végétalisés de mauvaise qualité peuvent augmenter les risques de morbidité, voire annuler les bénéfices environnementaux. En effet, l'étude longitudinale conduite aux États-Unis sur la cohorte Nurses' Health Study II montre que les participants présentant une adhésion élevée à un régime végétal sain présentent un risque

réduit de 23 à 29 % de maladies cardiovasculaires, ainsi qu'une empreinte environnementale moindre, en particulier en termes d'utilisation des terres, d'eau et d'émissions de GES (139).

Ces profils alimentaires mettent en lumière des leviers d'action convergents. La réduction de la consommation de viande rouge et de produits transformés apparaît comme un déterminant majeur, tant pour la santé que pour l'environnement. Ce constat est confirmé par l'étude chinoise sur l'adhésion au régime EAT-Lancet (141), dans laquelle les individus ayant les scores les plus élevés présentent une mortalité réduite, un risque moindre de maladies cardiovasculaires, et une légère diminution des émissions de GES et de l'utilisation des terres. Néanmoins, ces bénéfices peuvent être atténués si la réduction de la viande est compensée par une augmentation de produits coûteux sur le plan environnemental (comme les produits laitiers ou les fruits importés), ou s'ils sont inaccessibles aux ménages modestes.

Dans une approche complémentaire, certaines études classent directement les régimes selon leur intensité en GES. L'exemple de la cohorte HEXA en Corée du Sud (142) montre que les individus dont les régimes auto-sélectionnés sont les moins émetteurs sont aussi ceux qui consomment le moins de viande rouge et le plus de légumineuses, poissons, céréales complètes et légumes. Chez les femmes, ces profils à faible empreinte carbone sont significativement associés à une réduction du risque de syndrome métabolique.

Au-delà des grandes catégories de régimes, plusieurs études soulignent l'importance des variables sociodémographiques dans les profils alimentaires et leur durabilité. En particulier, le sexe (ou le genre) apparaît comme un facteur structurant de l'empreinte environnementale. La **Figure 21** illustre, à partir d'un échantillon représentatif de la population bavaroise (143), les différences marquées entre hommes et femmes en termes de contribution des groupes alimentaires aux émissions de gaz à effet de serre. Chez les hommes, la viande et les produits carnés représentent 36,4 % des émissions totales liées à l'alimentation, contre 26,1 % chez les femmes. Cette différence s'explique par une consommation plus élevée de produits animaux dans les régimes masculins, qui alourdit considérablement leur impact environnemental. Les produits laitiers, quant à eux, contribuent de manière significative aux émissions pour les deux sexes (jusqu'à 21,1 % chez les femmes), tandis que les aliments d'origine végétale (fruits, légumes, légumineuses, céréales complètes) restent faiblement émetteurs, confirmant leur potentiel écologique.

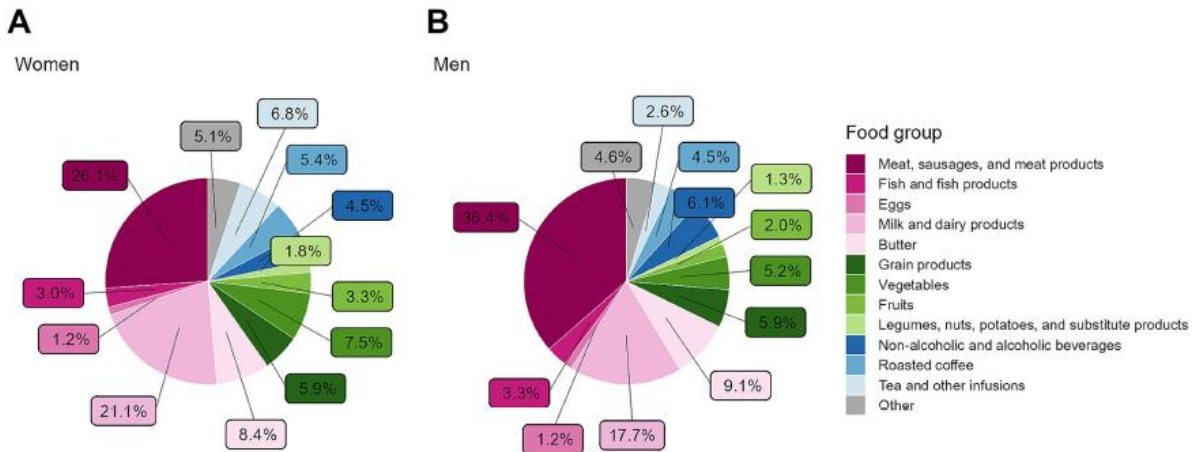


Figure 21 : Contribution (%) des groupes d'aliments aux émissions de GES, stratifiée par sexe et ajustée sur un apport énergétique de 2 500 kcal pour les femmes (A) et les hommes (B) (143)

En somme, les profils alimentaires identifiés dans la littérature révèlent que les régimes les plus durables sur le plan environnemental sont généralement ceux qui sont aussi les plus favorables à la santé, à condition qu'ils soient composés d'aliments peu transformés et diversifiés. La nature des aliments végétaux consommés, la place accordée aux produits animaux, et les dimensions culturelles ou économiques du régime, conditionnent la durabilité réelle des profils. Ces résultats appellent à dépasser l'opposition binaire entre « végétal » et « animal » pour promouvoir une transition qualitative, différenciée, et adaptée aux réalités sociales et culturelles des populations.

3.2.3. Impacts combinés sur la santé, l'environnement et le coût

L'un des apports majeurs de la littérature récente sur les transitions alimentaires réside dans la mise en évidence de co-bénéfices entre santé humaine, durabilité environnementale et, dans une moindre mesure, coût économique. Ces analyses convergent vers l'idée qu'une alimentation riche en aliments végétaux peu transformés, et modérée en produits animaux, est non seulement bénéfique pour la planète mais également associée à une réduction du risque de maladies chroniques et de mortalité prématurée.

Sur le plan environnemental, la réduction des produits d'origine animale, et notamment des viandes rouges, est systématiquement identifiée comme le levier le plus efficace pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation des terres, de l'eau d'irrigation, et des engrais azotés. À titre d'exemple, les participantes à la Nurses' Health Study II (139) dont le régime alimentaire correspond aux quintiles les plus élevés de l'indice AHEI (« Alternative Healthy Eating Index ») ou du hPDI présentaient des émissions de GES réduites de plus de 30 % par rapport aux quintiles les plus faibles, ainsi qu'une réduction marquée de l'utilisation des terres et de l'eau. Des résultats similaires sont

observés en Chine (141), où une meilleure adhésion au régime EAT-Lancet est associée à une baisse des émissions de GES et de l'usage des sols, malgré une stabilité de la consommation d'eau douce.

Un exemple probant de ces bénéfices a été documenté en Suède (126), où l'évolution des régimes entre le début des années 2000 et la fin des années 2010 montre un déplacement progressif vers des habitudes plus durables. La **Figure 22** met en évidence une réduction marquée de la consommation de viandes rouges transformées, de produits sucrés et d'alcool, entraînant une baisse significative des émissions de gaz à effet de serre associées.

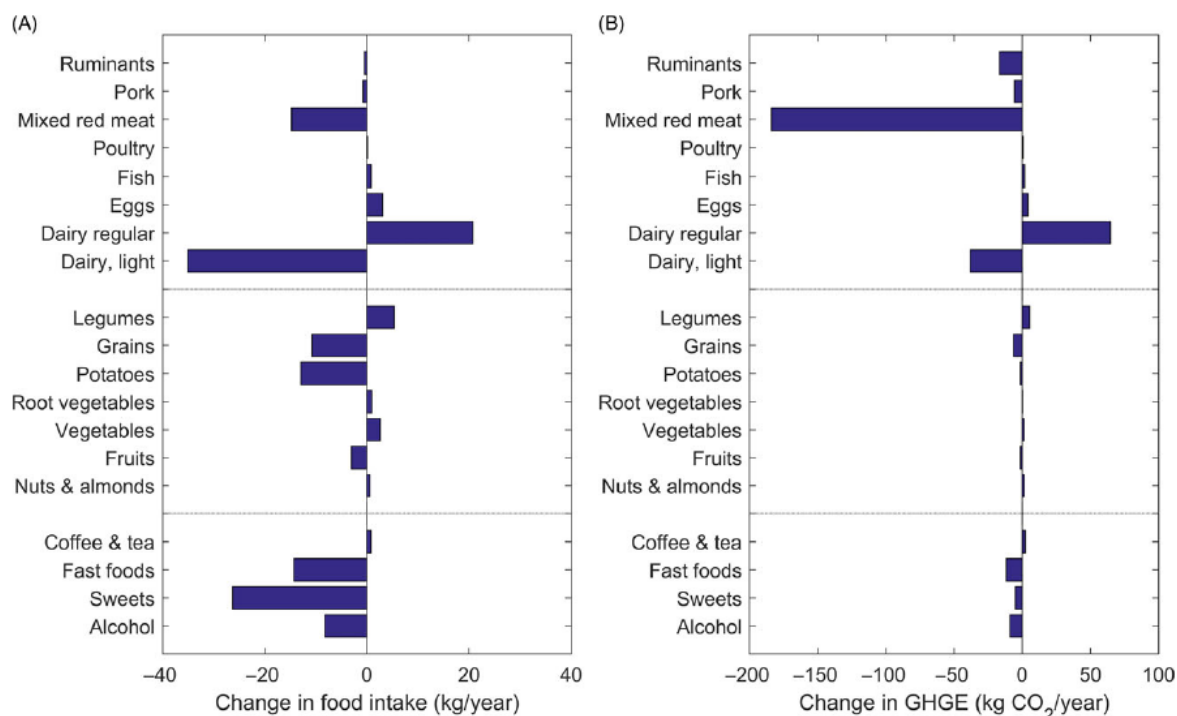


Figure 22 : Changements absolus de la consommation alimentaire (A) et des émissions de gaz à effet de serre (GHGE) (B) par groupe d'aliments¹ (126)

¹ Les groupes alimentaires sont divisés en trois catégories : aliments d'origine animale (en haut), aliments d'origine végétale (au milieu) et aliments dits « discrétionnaires » (en bas).

Ces tendances convergentes ont également été observées dans des contextes non occidentaux, comme en Chine, où une large étude de cohorte nationale a permis d'évaluer l'association entre la qualité du régime alimentaire et ses impacts environnementaux et économiques (141). La **Figure 23** présente les résultats issus de l'enquête CHNS (1997-2011), en fonction du niveau d'adhésion au régime EAT-Lancet (Eat-Lancet Diet Index, ELDI). Les résultats montrent que les individus appartenant aux quartiles les plus élevés du score ELDI (Q3-Q4) présentent des régimes plus riches en fruits, légumes, noix, légumineuses et céréales complètes, avec une moindre contribution des viandes rouges, graisses et sucres ajoutés. Cette amélioration de la qualité alimentaire s'accompagne d'une diminution progressive des émissions de GES, de l'utilisation de l'eau et des terres agricoles. En parallèle, le coût du régime augmente légèrement, mais l'écart reste modéré (moins d'un yuan par

jour), suggérant que la soutenabilité nutritionnelle et environnementale ne s’oppose pas nécessairement à l’accessibilité économique. Ces résultats confirment la pertinence des recommandations EAT-Lancet même dans des contextes socio-économiques contrastés

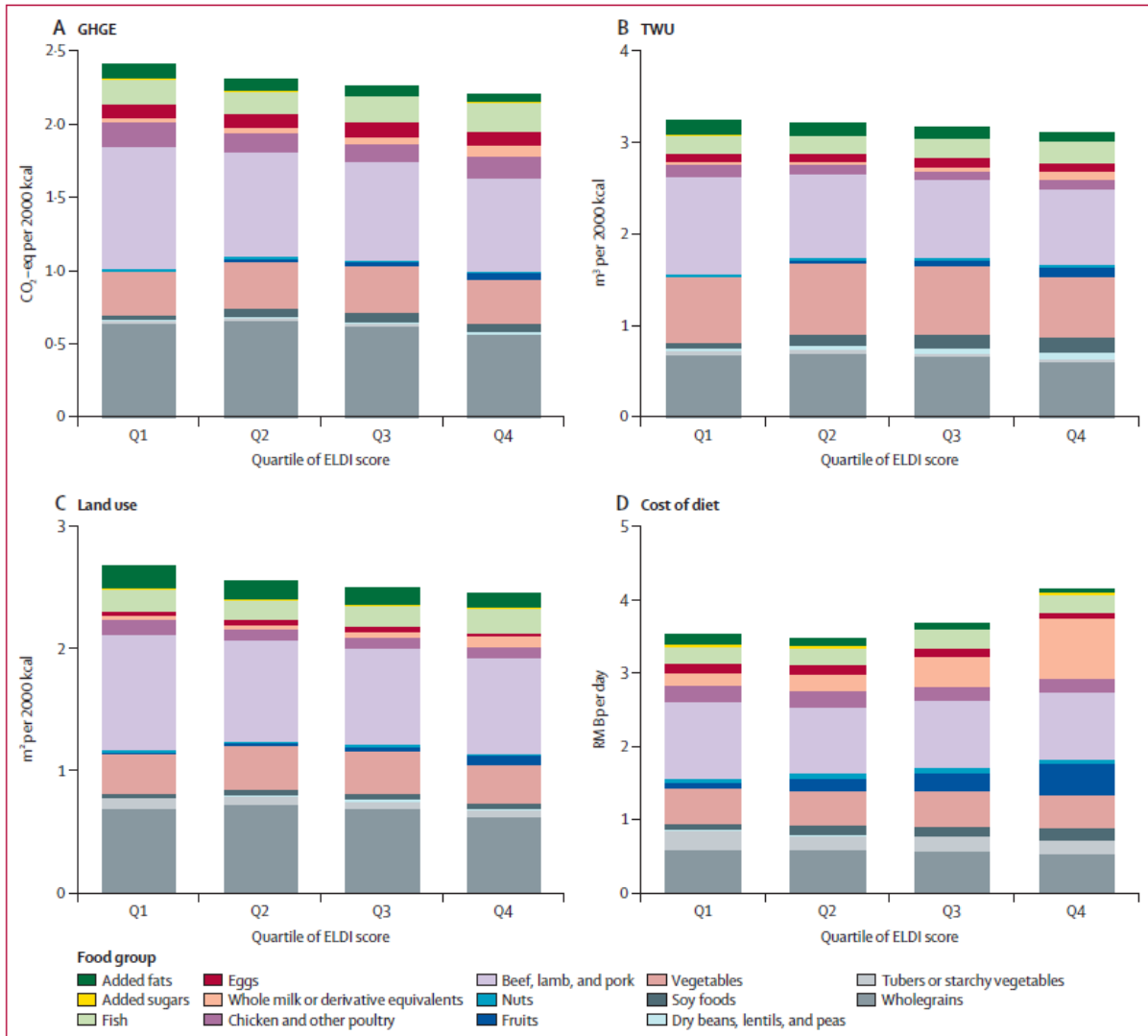


Figure 23 : Émissions de gaz à effet de serre (GHGE), utilisation totale de l’eau (TWU), utilisation des terres et coût du régime alimentaire selon les quartiles de l’indice ELDI (Eat-Lancet Diet Index), données de l’enquête CHNS (1997–2011)¹ (141)

Abréviations : ELDI, Eat-Lancet Diet Index ; GHGE, émissions de gaz à effet de serre ; TWU, consommation totale d’eau ; RMB, yuan chinois ; CHNS, China Health and Nutrition Survey

¹ Les valeurs sont des moyennes ajustées (IC 95 %) issues de modèles linéaires généraux prenant comme variables dépendantes : les émissions de GES, la consommation d’eau, l’usage des terres et le coût du régime. Les quartiles de score ELDI, l’apport énergétique total et les variables sociodémographiques ont été utilisées comme variables indépendantes.

Les effets sur la santé sont également significatifs. La littérature montre de manière cohérente que les régimes à dominante végétale, dès lors qu’ils reposent sur des aliments peu transformés, permettent une réduction des risques de maladies cardiovasculaires, de diabète de type 2, de syndrome

métabolique et de mortalité toutes causes. L'adhésion élevée à l'indice SHEIA15 (« Swedish Healthy Eating Index for Adults 2015 ») en Suède (144) est ainsi associée à une réduction de la mortalité de 10 à 20 % selon le sexe, tandis que les émissions de GES liées à l'alimentation diminuent parallèlement de 10 à 17 %. En Chine, le risque de diabète de type 2 est réduit de plus de 25 % (141), et jusqu'à 66% (140) chez les individus ayant les scores ELDI (« EAT-Lancet Diet Index ») (141) ou PDI (140) les plus élevés, tandis que la mortalité toutes causes est diminuée de 8 % (141) à 43 % (140) selon les études.

Au-delà de ces effets sanitaires et environnementaux, quelques études intègrent la dimension économique des régimes durables. L'article de Leydon et al. (119), revue systématique de 24 études européennes et australiennes, met en évidence une tension fréquente entre durabilité environnementale et accessibilité économique. Si les régimes de meilleure qualité nutritionnelle tendent à réduire les impacts environnementaux (jusqu'à -50 % de GES dans certaines études), ils sont aussi parfois associés à un coût plus élevé, notamment en raison de la consommation accrue de fruits, légumes, noix ou produits laitiers, des groupes souvent plus chers que les aliments de base ou les produits transformés. En Chine, par exemple, l'adhésion au régime EAT-Lancet entraîne une augmentation moyenne du coût alimentaire de 3,3 %, bien que cette hausse soit en partie compensée par la diminution de la consommation de viande (141).

La durabilité des régimes alimentaires apparaît donc comme un équilibre à atteindre entre bénéfices sanitaires, réduction de l'empreinte écologique, et acceptabilité économique. La question du coût, bien qu'encore peu explorée de manière longitudinale, constitue un enjeu central pour la transformation à grande échelle des régimes alimentaires, en particulier dans les contextes où les inégalités d'accès aux aliments de qualité demeurent fortes.

Malgré ces avancées, la littérature demeure marquée par une limite importante, qui est la rareté des données longitudinales permettant d'évaluer simultanément les évolutions alimentaires, les impacts environnementaux, les effets sanitaires et, le cas échéant, les dimensions économiques. Si certaines cohortes comme la *Nurses' Health Study II* aux États-Unis (139), *EPIC-NL* aux Pays-Bas (127), ou encore les enquêtes du *China Health and Nutrition Survey* (140,141) permettent un suivi dans le temps, sans pour autant porter sur les mêmes individus au cours des périodes de suivi, la plupart des études se fondent encore sur des analyses transversales ou des modélisations théoriques. Cette contrainte méthodologique limite la compréhension fine des dynamiques de transition dans le temps, et souligne l'intérêt d'approches longitudinales intégrées pour documenter la complexité des transformations alimentaires durables dans des contextes socio-économiques réels.

C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente thèse, en mobilisant une approche **longitudinale** appliquée à une large cohorte française, avec des données individuelles, afin d'identifier et de

caractériser les trajectoires alimentaires sur près d'une décennie, et d'en évaluer les implications en matière de durabilité.

Chapitre 2 : Démarche scientifique, objectifs et structure de la thèse

1. Un cadre conceptuel inspiré de l'économie de la croissance et de la transition

1.1. Le sentier de croissance économique : transposition au champs alimentaire

La transposition du concept de sentier de croissance économique à l'étude des transitions alimentaires durables constitue une approche méthodologique innovante, permettant d'analyser les trajectoires individuelles de changement alimentaire à partir de fondements théoriques solides issus de la macroéconomie. Ce cadre conceptuel structuré offre une compréhension approfondie des dynamiques de transition vers des régimes alimentaires durables.

Initialement développé dans le modèle néoclassique de Solow-Swan, le concept de sentier de croissance économique constitue un outil théorique majeur permettant d'analyser les trajectoires de développement économique à long terme (145). Dans ce modèle, un sentier de croissance équilibrée décrit une situation dynamique dans laquelle les variables économiques essentielles (production, consommation, capital) croissent toutes à un taux constant, assurant ainsi une stabilité macroéconomique. Plus précisément, cet état stationnaire se définit par une égalisation des taux de croissance garantis par l'épargne et ceux naturellement induits par la démographie et le progrès technique. Un tel équilibre assure un optimum où la consommation par habitant est maximale (règle d'or).

Cette approche économique implique une démarche analytique claire qui consiste à identifier d'abord un état initial potentiellement déséquilibré, déterminer ensuite l'état optimal de croissance équilibrée et enfin modéliser les trajectoires dynamiques permettant d'atteindre cet optimum (145). La pertinence de cette logique réside dans sa capacité à expliciter clairement les étapes et les conditions nécessaires pour cheminer vers un équilibre stable et optimal, malgré les fluctuations et déséquilibres ponctuels susceptibles d'apparaître en cours de route. Dans ce processus, les comportements microéconomiques individuels, notamment les décisions d'épargne et d'investissement, jouent un rôle déterminant. Agrégées à l'échelle de l'économie entière, ces décisions façonnent directement les performances macroéconomiques globales et déterminent la trajectoire économique vers l'état stationnaire optimal.

La transposition de ce concept à l'étude des transitions alimentaires durables s'avère particulièrement pertinente, tant méthodologiquement que conceptuellement. En effet, de la même manière qu'en économie où les interactions complexes entre capital, travail et technologie conditionnent les trajectoires de croissance, les transitions alimentaires durables résultent de l'interaction dynamique entre les capacités individuelles (préférences et connaissances), les environnements alimentaires

(offre disponible, accessibilité), et les politiques publiques (incitations, régulations) (146). Ainsi, l'état stationnaire économique trouve son équivalent, dans le domaine alimentaire, sous la forme d'un régime alimentaire durable, stable, et culturellement acceptable qui maximise conjointement les bénéfices environnementaux, sanitaires et sociaux.

La démarche méthodologique employée dans notre étude s'appuie précisément sur cette analogie. Elle consiste tout d'abord à caractériser précisément l'état actuel des consommations alimentaires individuelles, puis à analyser leurs trajectoires d'évolution sur une période de huit ans, afin d'identifier ensuite les régimes alimentaires optimaux à atteindre pour se rapprocher d'un équilibre durable.

Ainsi, l'adaptation du concept macroéconomique de sentier de croissance aux systèmes alimentaires met en évidence l'importance des comportements individuels dans la construction d'un équilibre global optimal. Cette analogie conceptuelle conduit à privilégier une approche ascendante (« *bottom-up* »), reposant sur l'exploitation de données individuelles répétées et l'analyse fine des trajectoires alimentaires. Elle s'inscrit dans une démarche comparable à l'analyse microéconomique des comportements d'épargne et d'investissement, dont l'agrégation conditionne les dynamiques macroéconomiques observées (146). De manière analogue, les choix alimentaires quotidiens des individus, considérés dans leur évolution temporelle, contribuent collectivement à structurer les trajectoires globales des systèmes alimentaires. Une telle approche permet à la fois d'identifier des leviers d'action à l'échelle individuelle et d'appréhender la manière dont leur accumulation peut engendrer des transformations significatives à l'échelle des systèmes.

1.2. L'approche « *Bottom-up* » : des comportements individuels à l'impact collectif

Parmi les voies explorées pour initier des transitions vers des systèmes alimentaires plus durables, l'approche « *bottom-up* » occupe une place croissante. Elle désigne les dynamiques de changement émanant des individus, des ménages ou des communautés locales, en opposition aux approches « *top-down* » traditionnellement portées par les institutions publiques, les cadres réglementaires ou les acteurs industriels. Cette perspective repose sur l'idée que les comportements alimentaires individuels, lorsqu'ils sont partagés, adaptés et diffusés à l'échelle locale, peuvent jouer un rôle moteur dans l'évolution des systèmes alimentaires. Dans cette perspective, les consommateurs ne sont plus uniquement vus comme les derniers maillons d'un système de production, mais comme des agents actifs de transformation. L'approche « *bottom-up* » permet de penser la durabilité comme une construction collective ancrée dans les pratiques quotidiennes.

1.2.1. Fondements conceptuels de l'approche « *Bottom-up* »

a. Définition de l'approche

L'approche « *bottom-up* », ou ascendante, désigne une dynamique de transformation qui prend racine à la base des systèmes (chez les individus, les communautés locales ou les agents de terrain) plutôt qu'au sommet des hiérarchies décisionnelles. Elle s'oppose ainsi à l'approche « *top-down* », centrée sur une planification centralisée et descendante, souvent critiquée pour son incapacité à saisir la complexité des contextes locaux (147,148). Issue des sciences politiques et de l'administration publique, cette perspective a été formalisée notamment par Wetherley et Lipsky (149), qui ont mis en lumière le rôle central des « *street-level bureaucrats* », des fonctionnaires de première ligne dotés d'un pouvoir discrétionnaire dans l'interprétation et l'application concrète des politiques publiques.

L'approche « *bottom-up* » part du principe que la mise en œuvre des politiques ne saurait être efficace sans l'implication active des acteurs de terrain. Elle valorise l'interaction directe entre les bénéficiaires et les fournisseurs de services, permettant une adaptation fine des politiques aux réalités du terrain (150). En ce sens, elle favorise non seulement une meilleure acceptation locale, mais aussi une co-construction des décisions fondée sur la négociation, le compromis et l'appropriation collective. Ce modèle présente des avantages notables dans la mesure où il renforce l'engagement des parties prenantes, tient compte des dynamiques locales et s'inscrit dans une logique de participation démocratique et contextuelle. Elle repose ainsi sur un postulat qui prône que pour qu'une action soit durable, elle doit émerger des pratiques concrètes et des besoins exprimés par celles et ceux qui la vivent au quotidien.

b. Théories sous-jacentes de l'approche

Théorie de la Diffusion de l'Innovation : comprendre la propagation des pratiques durables

Parmi les fondements théoriques qui éclairent l'efficacité des dynamiques « *bottom-up* », la théorie de la diffusion des innovations développée par Everett Rogers (151) occupe une place centrale. Initialement conçue pour analyser la manière dont les innovations technologiques ou sociales se propagent dans une population, cette théorie a depuis été mobilisée dans de nombreux champs, de l'agriculture à la santé publique, en passant par l'éducation et le travail social (152). Elle fournit un cadre robuste pour comprendre les mécanismes par lesquels de nouvelles pratiques alimentaires, plus durables, s'implantent progressivement dans les habitudes collectives.

Selon Rogers, la diffusion d'une innovation repose sur cinq éléments structurants qui sont l'innovation elle-même, les catégories « d'adopteurs », les canaux de communication, le facteur temps et le système social (151,152). Chaque innovation est ainsi soumise à des critères perçus par les individus qui influencent leur décision d'adoption, à savoir son avantage relatif, sa compatibilité avec les

pratiques existantes, sa simplicité d'usage (faible complexité), sa testabilité (possibilité d'essai) et l'observabilité de ses résultats. Lorsque ces attributs sont réunis, l'adoption d'une innovation est facilitée. Cette dynamique suit généralement une courbe en S, décrivant les phases successives de l'adoption: des innovateurs et « adopteurs précoces » (souvent minoritaires mais influents) ouvrent la voie à la majorité précoce, avant que la majorité tardive et les retardataires ne complètent le cycle (151). Par ailleurs, la propagation d'une innovation ne relève pas d'un processus spontané, mais nécessite une planification stratégique en passant par des démonstrations sur le terrain, la mobilisation de leaders d'opinion, le ciblage de réseaux professionnels homogènes, et l'adaptation continue des interventions aux contextes locaux (152). L'exemple des programmes agricoles japonais confirme cette nécessité. Un dispositif incitatif local, combiné à une forte visibilité des résultats (labels, récompenses), a permis de faire basculer une majorité d'agriculteurs vers des pratiques respectueuses de l'environnement (153).

L'un des apports majeurs de cette théorie dans le champ de la durabilité est donc de montrer que les comportements individuels, lorsqu'ils sont soutenus par des conditions favorables, qu'elles soient sociales, institutionnelles ou économiques, peuvent atteindre un point de bascule (152) et engendrer une adoption massive à l'échelle du système. En s'appuyant sur une masse critique « d'adopteurs précoces », elle amorce un mouvement collectif capable de restructurer durablement les pratiques alimentaires.

Théorie de l'Auto-organisation

Complémentaire de la théorie de la diffusion des innovations, la théorie de l'auto-organisation propose une lecture systémique des dynamiques locales de transformation. Elle postule que, face à des pressions internes ou externes, des acteurs collectifs peuvent développer de manière autonome des réponses adaptatives sans direction centralisée. Cette capacité d'auto-organisation est particulièrement manifeste dans les « *Localized Agri-Food Systems* », où la proximité entre production, consommation et gouvernance favorise une réactivité rapide en temps de crise (154).

Cette dynamique, fondamentalement « *bottom-up* », se manifeste souvent là où les institutions publiques sont absentes ou défaillantes. Trois conditions clés rendent ces initiatives possibles : l'agence (la capacité d'agir), la demande (souvent issue d'une crise), et les ressources (infrastructures, capital social, compétences). Leur interaction est essentielle pour enclencher un processus d'auto-organisation efficace. L'étude d'Erwin et al. (155), menée dans les colonies agricoles informelles de Majes au Pérou, illustre cette théorie. En l'absence de soutien institutionnel, les habitants ont structuré leur résilience via des comités élus, des infrastructures financées par cotisation, et des formes concrètes de mutualisation (gestion de l'eau, cantines collectives). Ces actions répondaient à des

enjeux de précarité foncière, de sécurité alimentaire et d'accès aux services de base, dans un contexte marqué par des tensions socio-écologiques.

La théorie de l'auto-organisation montre ainsi que les transformations alimentaires durables peuvent émerger en dehors des cadres formels, à condition de créer les conditions favorables à l'action collective. Elle renforce la pertinence des approches « *bottom-up* », en soulignant que les changements systémiques peuvent naître de l'initiative locale, soutenue par la nécessité, la coopération et l'ingéniosité collective.

Théorie du changement : du consommateur à la transformation systémique

La théorie du changement propose un cadre structurant pour comprendre comment une transition s'opère dans un système donné, en identifiant les conditions nécessaires pour passer d'un état initial à un état souhaité. Appliquée aux systèmes alimentaires, elle permet d'analyser comment la modification des habitudes de consommation peut devenir un levier de transformation de l'offre alimentaire. Cette perspective s'inscrit dans une logique « *bottom-up* », où le changement émerge de la base (des consommateurs) pour influencer progressivement les structures de production, de distribution et de gouvernance. Dans ce cadre, les préférences alimentaires pour des produits locaux, plus durables ou végétaux, ne relèvent pas de choix isolés, mais s'inscrivent dans des dynamiques collectives capables de réorienter l'offre.

L'exemple des Projets Alimentaires Territoriaux (PAT) en France en témoignent (156). D'abord portés par des initiatives citoyennes (AMAP, Slow Food), ils ont structuré une demande alternative qui a peu à peu transformé l'action publique locale et fait émerger une gouvernance alimentaire hybride. Ces initiatives exercent une pression ascendante sur les régimes sociotechniques dominants. La FAO illustre cette même logique en modélisant les liens entre pratiques individuelles, normes sociales et structures institutionnelles, et montre comment des interventions bien ciblées peuvent générer des effets systémiques durables (157). Ce type de théorie rend visibles les leviers de changement, mais aussi les blocages possibles à chaque étape du processus.

1.2.2. Justification méthodologique de l'approche : pertinence dans le contexte des transitions alimentaires

L'approche « *bottom-up* » s'impose comme une voie méthodologiquement pertinente pour étudier les transitions alimentaires durables. Elle permet de reconnaître le rôle moteur des consommateurs dans la reconfiguration progressive de l'offre alimentaire, en tenant compte de la diversité des trajectoires individuelles et collectives. Plutôt que de considérer la demande comme une variable d'ajustement, cette approche la positionne comme un levier actif du changement systémique.

Les fondements théoriques de la diffusion des innovations (151) et de l'auto-organisation (154,155) permettent d'expliquer comment les comportements individuels peuvent s'agrèger en dynamiques collectives structurantes, capables d'induire des réorientations profondes de l'offre. Cette posture méthodologique s'avère particulièrement adaptée dans un contexte où la majorité des démarches analysant les transitions alimentaires repose sur une logique descendante, centrée sur les politiques publiques ou les recommandations institutionnelles. Le rôle du consommateur reste peu exploré dans la littérature, bien qu'il soit central dans la reconfiguration des régimes alimentaires.

Notre approche s'inscrit dans un champ de recherche en développement, en contribuant à mieux documenter et comprendre la complexité et la diversité des habitudes de consommations alimentaires, et les changements potentiels vers davantage de durabilité, avec la perspective d'amener des transformations acceptables par les consommateurs. Cette perspective a d'autant plus de pertinence qu'elle s'appuie sur des données empiriques solides. Une revue systématique récente (158) portant sur 40 études de cas dans 24 pays révèle que la majorité des transformations alimentaires étudiées sont amorcées par des dynamiques « *bottom-up* », souvent en réponse à l'inaction institutionnelle. Elle identifie les interactions entre dynamiques descendantes et ascendantes, et souligne l'efficacité des alliances hybrides où acteurs publics et initiatives locales coopèrent dès le départ. À l'échelle opérationnelle, des outils analytiques comme la segmentation par clusters permettent d'identifier des profils de consommateurs différenciés et de concevoir des stratégies d'intervention adaptées à chaque groupe. Cette approche renforce la capacité à construire des politiques ancrées, réalistes et potentiellement plus efficaces en matière d'adhésion et d'impact.

L'intérêt de cette méthodologie est également validé par les recherches en gouvernance des innovations durables (159), qui montrent que les rôles des acteurs dans les transitions ne sont ni fixes ni hiérarchiques, mais dynamiques, évolutifs et relationnels. Les consommateurs peuvent être tour à tour initiateurs, amplificateurs ou stabilisateurs du changement, en fonction du contexte, des alliances construites et des capacités institutionnelles en place. Dans cette perspective, une thèse récente mobilisant le modèle transthéorique pour analyser la réduction de la consommation de viande met en évidence cinq stades distincts de changement (160) : précontemplation (absence d'intention de modifier ses habitudes et faible conscience des enjeux), contemplation (prise de conscience accompagnée d'une ambivalence face aux obstacles), préparation (intention claire de changement et premiers ajustements), action (mise en œuvre effective de nouvelles pratiques) et maintien (installation durable de la réduction et prévention des rechutes). Ce cadre illustre comment les interventions peuvent être adaptées en fonction du stade, par exemple en privilégiant la sensibilisation auprès des précontemplateurs ou en renforçant le soutien social pour les individus déjà engagés dans l'action.

Enfin, sur le plan des impacts visés, les travaux récents (161) confirment l'importance d'une action conjointe sur l'offre et la demande. Si les régimes alimentaires durables, comme le régime EAT-Lancet, offrent des bénéfices considérables à long terme en matière de santé, d'environnement et d'abordabilité, leur adoption reste conditionnée par la capacité des populations à s'y engager.

Ainsi, notre approche « *bottom-up* », enrichie par les apports théoriques et validée empiriquement, se distingue par sa capacité à replacer la consommation au cœur de l'analyse des transitions. Elle contribue à une meilleure compréhension des mécanismes de changement en intégrant les logiques individuelles, sociales et institutionnelles, et ouvre des perspectives d'intervention à la fois ciblées et systémiques.

À la lumière de ce cadre méthodologique solidement établi, il apparaît désormais essentiel de préciser les motivations qui ont guidé cette thèse, ainsi que les objectifs généraux que nous poursuivons à travers la mobilisation de cette démarche innovante.

2. Motivation de l'étude et objectifs généraux de la thèse

L'urgence des enjeux environnementaux, sanitaires et socio-économiques actuels impose une réflexion approfondie sur les systèmes alimentaires, responsables d'une part significative des pressions écologiques et des inégalités de santé publique. En France, comme ailleurs, les trajectoires actuelles de consommation restent souvent éloignées des régimes alimentaires reconnus comme optimaux en termes de durabilité et de santé publique. Pourtant, les politiques publiques traditionnelles, majoritairement descendantes, peinent à induire les transformations nécessaires à grande échelle. Face à ce constat, notre recherche est motivée par la nécessité d'une compréhension plus fine des dynamiques individuelles et collectives à l'origine des changements alimentaires durables.

Dans ce contexte, la présente thèse vise à répondre à une double ambition. Premièrement, il s'agit de caractériser précisément les trajectoires de consommation alimentaire observées en France au cours des dernières années, en analysant leurs déterminants et leurs impacts en termes de durabilité nutritionnelle et environnementale. Deuxièmement, nous visons à identifier les régimes alimentaires optimaux, c'est-à-dire ceux qui, à l'instar d'un sentier de croissance économique équilibrée, permettraient d'atteindre un état stable, soutenable et désirable pour la société française. Pour ce faire, notre démarche méthodologique s'appuie sur l'analyse ascendante « *bottom-up* » afin de proposer des recommandations ciblées, réalistes et efficaces pour accompagner et accélérer les transitions alimentaires vers cet état optimal de durabilité.

L'objectif général de cette thèse est donc d'analyser les transitions alimentaires des adultes français entre 2014 et 2022, afin d'évaluer leur alignement avec un sentier optimal de durabilité. Cette

démarche vise à éclairer les leviers d'action pour une transformation durable des systèmes alimentaires.

Pour ce faire, la thèse s'organise autour de quatre objectifs spécifiques :

1. Caractériser les transitions alimentaires observées en France (2014–2022) :
 - 1.1. Décrire les régimes alimentaires initiaux selon la nature de l'apport protéique, en tant que marqueur discriminant de la durabilité.
 - 1.2. Analyser les trajectoires de consommation des groupes d'aliments sur huit ans, afin de qualifier les grandes tendances de transition.
 - 1.3. Identifier des profils de trajectoires de consommation alimentaire, révélateurs de dynamiques différenciées dans la population.
2. Identifier et analyser le rôle des déterminants individuels dans ces transitions :
Évaluer l'influence du genre et du statut socio-économique (revenu, niveau d'éducation, catégorie socioprofessionnelle) sur les trajectoires alimentaires.
3. Évaluer les impacts des transitions alimentaires sur la durabilité :
 - 3.1. À la période de référence (2014) : évaluer les impacts environnementaux, nutritionnels, sanitaires et économiques selon la nature de l'apport protéique.
 - 3.2. En dynamique (2014–2022) : estimer les effets associés aux différents profils de trajectoires alimentaires
4. Proposer un réajustement des trajectoires observées vers un optimum de durabilité :
Comparer les profils observés à des régimes optimaux et Identifier des leviers d'action pour orienter les trajectoires vers les objectifs de durabilité.

3. Structure de la thèse

Afin de structurer la démarche de la thèse et de faciliter le lien avec les chapitres de résultats, le **Tableau 2** ci-dessous présente les objectifs spécifiques, les méthodes mobilisées, les périodes d'analyse et les articles scientifiques associés.

Tableau 2 : Structure de la thèse

Objectif	Sous-objectifs	Période	Méthodes mobilisées	Article associé
1. Caractériser les transitions alimentaires observées en France (2014–2022)	1.1. Décrire les régimes alimentaires initiaux selon la nature de l’apport protéique, en tant que marqueur discriminant de la durabilité.	2014	Analyse en Composantes Principales (ACP) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) selon la nature de l'apport protéique dans le régime alimentaire individuel global.	Article 1 (Annexe 24)
	1.2. Analyser les trajectoires de consommation des groupes d’aliments sur huit ans, afin de qualifier les grandes tendances de transition.	2014–2022	Analyse longitudinale (2014-2022) des consommations des groupes d'aliments (modèles mixtes).	Article 2 (Annexe 25)
	1.3. Identifier des profils de trajectoires de consommation alimentaire, révélateurs de dynamiques différenciées dans la population.	2014–2022	ACP, Scoring et Modélisation de trajectoires (2014-2022) multiples basée sur les groupes (GBMTM).	Article 3 (Annexe 26)
2. Identifier les déterminants des trajectoires alimentaires	Évaluer l’influence du genre et du statut socio-économique (revenu, niveau d’éducation, catégorie socioprofessionnelle) sur les trajectoires alimentaires.	2014–2022	Analyse longitudinale (2014 -2022) des associations entre les consommations et le statut socio-économique (modèles mixtes).	Article 2 (Annexe 25)
3. Evaluer les impacts des transitions alimentaires sur la durabilité	3.1. Evaluer les impacts environnementaux, nutritionnels, sanitaires et économiques selon la nature de l’apport protéique.	2014	Évaluation multicritère (nutrition, santé, environnement, coût).	Article 1 (Annexe 24)
	3.2. Estimer les effets associés aux différents profils de trajectoires alimentaires.	2014–2022	Évaluation multicritère (nutrition, santé, environnement) Approche CRA « <i>Competitive Risk Assessment</i> » ou modèle d’impact sanitaire (estimation des DALYs évités).	Article 3 (Annexe 26)
4. Proposer un réajustement des trajectoires observées vers un optimum de durabilité	Comparaison des profils observés à des régimes optimaux et Identification des leviers d’action pour orienter les trajectoires vers les objectifs de durabilité.	2022	Optimisation non linéaire multi-objectifs sous contraintes.	Article 4 (En cours de rédaction)

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

1. Population étudiée : Cohorte NutriNet-Santé

La présente étude repose sur des données observationnelles longitudinales recueillies entre 2014 et 2022, issues d'un sous-échantillon de l'étude NutriNet-Santé.

Lancée en mai 2009, l'étude NutriNet-Santé est une cohorte prospective française basée sur internet, dont l'objectif est d'analyser les déterminants des comportements alimentaires, de l'état nutritionnel, de l'activité physique, ainsi que leurs liens avec la santé (162). Elle inclut des adultes résidant en France et disposant d'un accès à internet, recrutés sur la base du volontariat. Les participants sont invités à remplir, de manière annuelle ou biannuelle, des questionnaires portant sur les caractéristiques sociodémographiques, les modes de vie, les données anthropométriques, les habitudes alimentaires et l'activité physique (163). Des questionnaires complémentaires sont également administrés de manière périodique. Le sexe, le statut professionnel, le niveau de revenu, le lieu de résidence, l'activité physique et le tabagisme sont auto-déclarés à l'aide de questionnaires validés (163).

L'étude NutriNet-Santé respecte les principes énoncés dans la Déclaration d'Helsinki (164) et a reçu l'avis favorable du Comité d'Évaluation Éthique de l'INSERM (CEEI, n° 0000388 FWA00005831) ainsi que de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL, n° 908450 et 909216). Elle est également enregistrée sur la plateforme ClinicalTrials.gov (identifiant : NCT03335644).

Le projet BioNutriNet (131), lancé en 2014, est adossé à la cohorte NutriNet-Santé. Il visait à explorer les relations entre la consommation de produits issus de l'agriculture biologique, la santé humaine, les impacts environnementaux, les pratiques alimentaires, les motivations des consommateurs, ainsi que les aspects économiques liés à ce mode de consommation. Ce programme de recherche a bénéficié d'un financement de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), sous la référence ANR-13-ALID-0001.

Trois objectifs spécifiques ont été déclinés en lien avec cette problématique générale. Le premier consistait à décrire les niveaux de consommation d'aliments biologiques, à identifier les facteurs motivationnels associés, et à estimer les coûts économiques induits. Le second visait à comparer les impacts environnementaux des systèmes de production biologique et conventionnel. Enfin, le troisième objectif portait sur l'évaluation conjointe du statut nutritionnel, du degré d'exposition aux contaminants, et du niveau de consommation de produits biologiques. Pour répondre à ces différentes dimensions, des questionnaires ciblés ont été soumis aux participants volontaires.

2. Recueil des données

Lors de leur inscription à la cohorte, les participants sont invités à compléter un ensemble initial de cinq questionnaires portant respectivement sur leurs habitudes alimentaires (dont consommations), leur état de santé, leur niveau d'activité physique, leurs caractéristiques anthropométriques ainsi que leurs conditions socio-économiques et modes de vie. Par la suite, dans le cadre du suivi longitudinal, les participants sont sollicités annuellement ou semestriellement pour mettre à jour ces volets d'information. Par ailleurs, des questionnaires complémentaires portant sur des thématiques spécifiques à certaines recherches transversales leur sont régulièrement proposés.

L'ensemble des questionnaires est administré en ligne via une plateforme sécurisée dédiée. La validité de ces outils a été rigoureusement évaluée par comparaison à des méthodes classiques de recueil de données (163). Le détail des questionnaires utilisés, ainsi que des informations additionnelles sur le protocole de l'étude NutriNet-Santé, sont disponibles sur le site officiel : <https://info.etude-nutrinet-sante.fr/siteinfo/>.

2.1. Données sociodémographiques

Le questionnaire socio-démographique vise à recueillir des informations auto-déclarées relatives aux caractéristiques personnelles et aux modes de vie des participants. Il permet notamment de documenter le sexe biologique, la date de naissance, le niveau d'études atteint, la catégorie socioprofessionnelle, les revenus du ménage, le statut matrimonial et la composition du foyer. Ce questionnaire comprend également des variables comportementales telles que la consommation d'alcool et le tabagisme.

Dans le cadre de la présente étude, les caractéristiques individuelles ont été extraites pour l'année de référence 2014 (questionnaire le plus proche du questionnaire alimentaire, voir ci-dessous). Ces données incluent le sexe, l'âge, le niveau d'éducation (regroupé en trois catégories : primaire, secondaire, supérieur), la situation professionnelle (classée comme suit : sans emploi, cadre, employé ou ouvrier, travailleur indépendant ou agriculteur, profession intermédiaire, étudiant, retraité) ainsi que le revenu mensuel du ménage.

2.2. Mesures anthropométriques

Un questionnaire anthropométrique est adressé semestriellement aux participants afin de recueillir des données auto-déclarées relatives à leur morphologie et à leur histoire pondérale. Ce questionnaire permet notamment de renseigner le poids et la taille actuels, les variations de poids au cours du temps, l'éventuel recours à des régimes alimentaires (en précisant leur nature et les motivations sous-

jaçentes), ainsi que la perception subjective de l'image corporelle. La fiabilité de ces données auto-déclarées a été validée par comparaison avec des mesures cliniques de référence (165), ainsi qu'avec des données issues de questionnaires papier et de mesures effectuées par du personnel formé (166).

2.3. Activité physique et sédentarité

L'évaluation du niveau d'activité physique et de sédentarité des participants repose sur l'utilisation de la version française validée de l'International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) (167). Ce questionnaire permet de recueillir des informations détaillées sur l'intensité des activités pratiquées (marche ou activité de faible intensité, intensité modérée, intensité élevée), leur durée moyenne quotidienne (exprimée en minutes par jour), ainsi que leur fréquence hebdomadaire (nombre de jours par semaine). Ces éléments sont ensuite utilisés pour estimer la dépense énergétique hebdomadaire, exprimée en minutes d'équivalent métabolique (Metabolic Equivalent of Task, MET-min/semaine). Sur la base de ces calculs, trois catégories d'activité physique ont été définies :

- Niveau faible : moins de 600 MET-minutes par semaine
- Niveau modéré : entre 600 et 1 500 MET-minutes par semaine
- Niveau élevé : plus de 1 500 MET-minutes par semaine.

2.4. Données de consommations alimentaires

2.4.1. Questionnaires de Fréquence Alimentaire (FFQ)

Dans le cadre du projet BioNutriNet, un questionnaire spécifique aux aliments biologiques (Org-FFQ) a été élaboré à partir d'un FFQ validé (168), enrichi par une échelle à cinq modalités permettant de distinguer la fréquence de consommation d'aliments selon leur mode de production (conventionnel ou biologique). Ce questionnaire a été administré à trois reprises entre les mois de juin et décembre, respectivement en 2014, 2018 et 2022. Il permet de recueillir des données détaillées sur les consommations alimentaires individuelles, en distinguant les produits issus de l'agriculture conventionnelle de ceux provenant de l'agriculture biologique, pour un total de 264 items alimentaires et boissons (169).

Les participants doivent indiquer, pour chacun des aliments, la fréquence de consommation (exprimée à l'année, au mois, à la semaine ou à la journée), ainsi que la quantité habituellement consommée. Cette dernière est estimée à l'aide de photographies illustrant sept tailles de portions, ou par des repères usuels tels qu'un verre, une cuillère, ou une unité (ex. un yaourt). Le questionnaire couvre l'ensemble des prises alimentaires au cours des douze derniers mois, qu'elles aient eu lieu à domicile, à l'extérieur ou en dehors des repas.

Pour les items dits « génériques », correspondant à un regroupement de plusieurs aliments, une composition nutritionnelle moyenne spécifique a été calculée. Cette moyenne a été pondérée selon les parts de consommation observées chez les hommes et les femmes dans les enregistrements alimentaires de 24 heures, réalisés sur un large échantillon représentatif de plus de 3 500 aliments consommés en France. Les valeurs nutritionnelles utilisées proviennent de la table de composition développée et régulièrement mise à jour par l'équipe de diététicien-ne-s du projet (170). En revanche, les compositions nutritionnelles ne tiennent pas compte du mode de production, de la saison de consommation ni du lieu d'achat, en raison de l'indisponibilité de données précises sur ces aspects.

2.4.2. Evaluation de la consommation de Bio

Pour chaque aliment, à l'exception de ceux non disponibles sous label biologique (par exemple, l'eau ou les édulcorants), une échelle ordinale en cinq modalités allant de « jamais » à « toujours » permettait d'évaluer la part de la consommation issue de l'agriculture biologique. La question posée était : « À quelle fréquence ce produit était-il d'origine biologique ? ». Afin d'estimer la consommation en produits biologiques, des pondérations de 0, 0,25, 0,5, 0,75 et 1 ont été attribuées respectivement aux réponses « jamais », « rarement », « la moitié du temps », « souvent » et « toujours ».

Des analyses de sensibilité ont été menées pour évaluer l'impact de l'attribution de pourcentages arbitraires, notamment en remplaçant la pondération de 25 % pour la modalité « rarement » par 10 %. De plus, vingt simulations de type Monte Carlo (171) ont été réalisées en attribuant des intervalles aléatoires aux différentes modalités de réponse : « jamais » (0 % à 2,5 %), « rarement » (2,5 % à 35 %), « la moitié du temps » (35 % à 65 %), « souvent » (65 % à 90 %) et « toujours » (90 % à 100 %). Il a été supposé que les fréquences étaient uniformément réparties à l'intérieur de chaque intervalle. Dans chaque jeu de données simulé, une même valeur était attribuée à une modalité donnée. Ces analyses de sensibilité ont montré que le classement des participants selon la part d'aliments biologiques dans leur alimentation restait globalement stable.

Les consommations alimentaires des 264 items ont été répartis dans des groupes alimentaires construits en fonction des objectifs de chacun des travaux. En conséquence, le nombre et la composition des groupes alimentaires utilisés diffèrent selon les travaux.

2.4.3. Identification des sous-déclarants et des sur-déclarants

Conformément aux recommandations précédemment publiées (169), les participants identifiés comme sous-déclarants ou sur-déclarants de leurs apports énergétiques ont été exclus des analyses portant sur les consommations alimentaires, afin de limiter les biais liés à des données irréalistes. Seuls les individus présentant un apport énergétique jugé plausible ont été retenus. Pour les identifier nous

avons utilisé la méthode d'identification utilisée dans la cohorte Européenne EPIC. Le métabolisme de base (BMR, pour Basal Metabolic Rate) a été estimé à partir des équations de Schofield (172), en fonction du sexe, de l'âge, du poids et de la taille déclarés à l'inclusion. Les besoins énergétiques ont ensuite été calculés en multipliant le BMR par un coefficient reflétant le niveau d'activité physique, fixé par défaut à 1,55. Le ratio entre l'apport énergétique déclaré et les besoins énergétiques ainsi estimés a été calculé pour chaque participant. Les individus présentant un ratio inférieur à 0,35 ou supérieur à 1,93, correspondant au 1^{er} et 99^{ème} percentile de distribution du ratio, ont été considérés comme sous- ou sur-déclarants et exclus des analyses fondées sur les données issues du questionnaire de fréquence alimentaire.

2.5. Données économiques

Les données économiques utilisées comprenaient les revenus mensuels des participants ainsi que leurs dépenses alimentaires estimées, à la fois pour l'ensemble de leur régime alimentaire et pour chaque groupe d'aliments.

Les revenus ont été recueillis via le questionnaire sur le statut socio-économique, dans lequel chaque participant a indiqué la tranche correspondant à son revenu mensuel. Le revenu par unité de consommation (UC) a été estimé selon la composition du foyer et l'âge des membres, en appliquant la méthode de calcul de l'INSEE (173). Conformément à cette méthode, une unité de consommation est attribuée au premier adulte du foyer, 0,5 UC à tout autre membre âgé de 14 ans ou plus, et 0,3 UC à chaque enfant de moins de 14 ans.

Le revenu mensuel a été classé en cinq catégories : < 1200 €/mois ; 1200-1800 €/mois ; 1800-2700 €/mois ; > 2700 €/mois ; et refus de répondre.

Dans l'étude NutriNet-Santé, le coût monétaire du régime alimentaire (exprimé en €/jour) a été estimé pour chaque participant en multipliant les quantités consommées (g/j) pour chacun des aliments par les prix correspondants (€/g), en tenant compte des parties comestibles et des préparations culinaires. Les prix ont été différenciés selon le mode de production (biologique ou conventionnel) et le lieu d'achat (supermarchés, marchés, AMAP, magasins spécialisés en bio, artisans, etc.), ces derniers ayant été renseignés par un questionnaire complémentaire spécifique sur la plateforme NutriNet-Santé.

Les prix moyens par produit (pour les 264 aliments du questionnaire de fréquence) et par lieu d'achat ont été établis à partir des données de Kantar Worldpanel 2012 (174), une base de données fondée sur les achats déclarés à domicile par un panel de 20 000 foyers français. Les prix en circuits courts ont été collectés par l'association Bioconsom'acteurs selon un plan de collecte déployé sur les saisons et les régions métropolitaines (175).

Dans les modèles nécessitant l'utilisation de variables continues, la variable de revenu mensuel, initialement modélisée en classes, a été transformée en variable numérique continue. Pour ce faire, le centre de chaque classe de revenu journalier a été attribué à chaque individu, comme dans des travaux antérieurs (176), permettant ainsi une conversion du revenu en euros par jour.

3. Calcul des indicateurs de durabilité

3.1. Indicateurs de qualité nutritionnelle

3.1.1. PNNS-GS2

La qualité nutritionnelle des régimes alimentaires individuels a été évaluée à l'aide du score PNNS-GS2 (Programme National Nutrition Santé - Guideline Score 2), un indicateur mesurant l'adhésion aux recommandations nutritionnelles françaises actualisées par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) en 2017 et mises en œuvre en 2019 (177). Ce score repose sur l'évaluation de la consommation de 13 groupes d'aliments, répartis en deux grandes catégories : les aliments à privilégier et ceux à limiter. Les aliments considérés comme favorables à la santé incluent les fruits et légumes, les céréales complètes, les légumineuses, le lait et les produits laitiers, les fruits à coque, les poissons et fruits de mer, ainsi que les huiles végétales riches en acide α -linoléique. À l'inverse, les aliments à limiter englobent les produits sucrés, la viande rouge, les viandes transformées, les boissons sucrées, l'alcool et le sel.

Les valeurs de référence utilisées pour le calcul du score sont issues des repères alimentaires établis par le HCSP en 2017 (178), et les tailles de portions ont été définies selon les habitudes de consommation courantes en France (177). Le système de notation a été élaboré par un groupe d'experts, attribuant pour chaque groupe d'aliments un score allant de 0 à 2 points pour les aliments à favoriser (selon le degré de conformité aux recommandations) et de 0 à -2 points pour les aliments à limiter. Une consommation élevée d'un aliment bénéfique donne lieu à un score positif, tandis qu'une absence de consommation peut conduire à un score négatif. À l'inverse, une consommation importante d'aliments à limiter entraîne une pénalisation, alors que leur absence de consommation n'est pas sanctionnée.

Le score tient également compte de la part de consommation d'aliments issus de l'agriculture biologique pour certains groupes alimentaires végétaux, tels que le pain et les céréales, les fruits et légumes, et les légumineuses, en attribuant des points bonus ou malus. Par ailleurs, un système de pondération a été appliqué à chaque composante du score, en fonction du niveau de preuve scientifique établissant un lien entre l'aliment et la santé, tel que déterminé par un panel d'experts (177).

Enfin, une pénalité est appliquée au score (version dite "PNNS-GS pénalisé") lorsque l'apport énergétique total déclaré dépasse de plus de 5 % la dépense énergétique estimée. Dans ce cas, le score est réduit proportionnellement à l'excès d'énergie, sans seuil plancher, ce qui justifie la possibilité d'obtenir une valeur minimale théorique tendant vers $-\infty$. L'estimation de la dépense énergétique repose sur le niveau d'activité physique (évalué à l'aide du questionnaire IPAQ) et sur le métabolisme de base calculé selon les équations de Schofield (172), tel qu'expliqué en section 2.4.3 pour l'identification des sous- et sur-déclarants.

Le score final peut ainsi théoriquement varier entre $-\infty$ et 14,25. Les détails concernant les composantes du score, les portions de référence et le barème sont présentés dans le **Tableau 3** ci-après, basé sur une précédente publication (179).

Tableau 3 : Programme National Nutrition Santé - Score PNNS-GS2 : composantes et barème de notation

Composantes du régime	Recommandation	Seuils*	Score
Fruits et légumes (poids = 3)	Au moins 5 portions par jour, avec maximum 1 portion en jus et 1 portion en fruits séchés	[0 - 3,5[	0
		[3,5 - 5[	0,5
		[5 - 7,5[	1
		$\geq 7,5$	2
	Favoriser les fruits bios	La plupart du temps	0,5
		Occasionnellement	0,25
Jamais		0	
Favoriser les légumes bios	La plupart du temps	0,5	
	Occasionnellement	0,25	
	Jamais	0	
Fruits à coque (poids =1)	Une poignée par jour	0	0
		]0 - 0,5[	0,5
		[0,5- 1,5[	1
		$\geq 1,5$	0
Légumineuses (poids =1)	Au moins 2 portions / sem	0 /sem	0
		]0-2[/sem	0,5
		≥ 2 /sem	1
	Favoriser les légumineuses bios	La plupart du temps	0,5
		Occasionnellement	0,25
		Jamais	0
Aliments complets (poids =2)	Tous les jours	0	0
		]0 - 1[	0,5
		[1 - 2[	1
		≥ 2	1,5
	Favoriser le pain bio	La plupart du temps	0,5
		Occasionnellement	0,25
		Jamais	0
Favoriser les céréales bios	La plupart du temps	0,5	
	Occasionnellement	0,25	
	Jamais	0	
Produits laitiers (poids =1)	2 portions par jour	]0 - 0,5[	0
		[0,5 - 1,5[	0,5

		[1,5 - 2,5[≥2,5	1 0
Viande rouge (poids =2)	Limiter la consommation	[0 - 500[g/ sem [500 - 750[g/ sem ≥750 g/ sem	0 -1 -2
Charcuterie (poids =3)	Limiter la consommation	[0 - 150[g/ sem [150 - 300[g/ sem ≥300 g/ sem	0 -1 -2
	Préférer le jambon aux autres charcuteries ¹	Ratio <50% Ratio ≥50%	0 0,5
Poisson et fruits de mer (poids =2)	2 portions / sem	[0 - 1,5[portions/sem [1,5 - 2,5[portions/sem [2,5 - 3,5[portions/sem ≥3,5 portions/sem	0 1 0,5 0
	Une portion de poisson gras par semaine	[0 - 0,5[portions/sem [0,5 - 1,5[portions/sem ≥1,5 portions/sem	0 1 0
Matières grasses ajoutées (poids =2)	Eviter les consommations excessives	>16% de AESA ≤16% de AESA	0 1,5
	Préférer les huiles d'olive ou riches en ALA aux autres huiles	Ratio <50% Ratio ≥50%	0 1
	Préférer les matières grasses végétales aux matières grasses animales	Ratio >50% Ratio ≤50%	0 1
Produits sucrés (poids =3)	Limiter la consommation	<10 % de AESA [10-15[% de AESA ≥15% de AESA	0 -1 -2
Boissons sucrées² (poids =3)	Limiter la consommation	0 mL/j]0 - 250[mL/j [250 - 750[mL/j ≥ 750mL mL/j	0 -0,5 -1 -2
Boissons alcoolisées (poids =3)	Limiter la consommation	>200 g/j]150-200[g/j]100-150[g/j]0-100[g/j 0 g/j	-2 -1.5 -1 0 0.5
Sel (poids =3)	Limiter la consommation	≥12 g/j [10-12[g/j [8-10[g/j [6-8[g/j <6 g/j	-2 -1 -0.5 0 1

Abréviations : AESA : apport énergétique hors alcool ; ALA : acide α -linoléique ; sem : semaine.

*Portions par jour, sauf mention contraire.

¹ Conditionnel: si la consommation de charcuterie est > 150g, le bonus de 0,5 point est accordé si la consommation est à plus de 50% sous forme de jambon blanc.

² Les boissons sucrées incluent spécifiquement les boissons sucrées avec sucre ajouté, les boissons édulcorées artificiellement ainsi que les jus de fruits.

3.1.2. cDQI, aDQI et pDQI

L'indice global de qualité de l'alimentation, ou « Comprehensive Diet Quality Index » (cDQI), développé par Keaver et al. (180) et appliqué dans le cadre de l'étude NutriNet-Santé, permet d'évaluer la qualité globale du régime alimentaire en prenant en compte à la fois les composantes d'origine végétale et animale. Cet indice se compose de deux sous-scores : le « plant-based Diet Quality Index » (pDQI) et le « animal-based Diet Quality Index » (aDQI).

Le pDQI évalue la qualité de l'alimentation végétale à travers onze groupes d'aliments, répartis en aliments bénéfiques pour la santé (tels que les céréales complètes, les fruits hors jus, les légumes hors pommes de terre, les fruits à coque, les graines, les légumineuses, les huiles végétales, le café et le thé) et en aliments moins favorables (tels que les céréales raffinées, les jus de fruits, les boissons sucrées et les produits sucrés ou desserts). Chaque groupe végétal reçoit une note comprise entre 0 et 5, attribuée proportionnellement au niveau de consommation par rapport à une valeur de référence. Pour les aliments sains, une consommation plus élevée (jusqu'à la valeur recommandée) donne lieu à un score plus élevé, avec un maximum de 5 points. En revanche, pour les aliments défavorables, un apport plus élevé entraîne une baisse du score, avec un minimum de 0 lorsque le seuil recommandé est dépassé. Le score total du pDQI varie ainsi de 0 à 55.

De manière analogue, le aDQI évalue six groupes d'aliments d'origine animale, également classés en aliments sains (poissons et fruits de mer, produits laitiers, volailles) et en aliments à limiter (viande rouge, viandes transformées, œufs). La méthode de notation suit les mêmes principes que pour le pDQI : une consommation élevée d'aliments sains est valorisée jusqu'à un plafond, tandis qu'une consommation excessive d'aliments à limiter est pénalisée. Le score total du aDQI peut varier de 0 à 30.

Les valeurs de référence pour chaque groupe alimentaire sont issues des recommandations nutritionnelles internationales et reposent sur des données scientifiques (180). À titre d'exemple, les apports de référence incluent ≥ 90 g/jour pour les céréales complètes, ≥ 150 g/jour pour les fruits et légumes, ≥ 100 g/semaine pour les poissons et fruits de mer, et ≤ 50 g/semaine pour les viandes transformées. Les scores sont calculés selon les formules suivantes :

Pour les aliments sains (plafonné à 5 points):

$$Score = \left(\frac{\text{Consommation réelle}}{\text{Valeur de référence}} \right) \times 5$$

Pour les aliments à limiter (avec un minimum fixé à 0 lorsque le seuil est dépassé) :

$$Score = 5 - \left(\frac{\text{Consommation réelle}}{\text{Valeur de référence}} \right) \times 5$$

Par exemple, une consommation quotidienne de 90 g de céréales complètes permet d’obtenir le score maximal de 5, tandis que 45 g/jour donne un score de 2,5. À l’inverse, une consommation hebdomadaire de 0 g de viandes transformées donne lieu à 5 points, contre 0 point pour une consommation de 100 g/semaine.

Le score final du cDQI correspond à la somme du pDQI et du aDQI, avec une amplitude théorique de 0 à 85. Des scores plus élevés reflètent une meilleure qualité globale du régime alimentaire. Ce système de notation détaillé permet une évaluation complète et harmonisée de la qualité nutritionnelle des régimes, tant végétaux qu’animaux, dans une perspective internationale.

Les informations détaillées sur les composantes, les apports moyens, les standards de notation et les scores moyens sont présentées dans le **Tableau 4** ci-après, basé sur une précédente publication (180).

Tableau 4 : Composantes, apports moyens, standards de notation et score moyen de l’indice global, végétal et animal de qualité de l’alimentation (cDQI, pDQI, aDQI) chez les adultes américains de 20 ans et plus, NHANES 1999–2014

Composantes	Apport moyen (ET) ¹	Score Max.	Seuil pour le score maximal	Seuil pour le score minimal (0)	Score moyen (IC à 95 %)
Composantes d’origine végétale					
Favorables à la santé					
Céréales complètes ²	0,77 (0,55)	5	≥ 1,5 portions équiv. oz. /1000 kcal	Aucune consommation	1,27 (1,25; 1,28)
Légumes (hors pommes de terre blanches) ³	1,16 (0,43)	5	≥ 1,25 portion équiv. tasse/1000 kcal	Aucune consommation	2,30 (2,29; 2,32)
Fruits entiers ²	0,71 (0,55)	5	≥ 0,4 portion équiv. tasse /1000 kcal	Aucune consommation	3,20 (3,16;3,23)
Fruits à coque, graines, légumineuses ³	0,68 (0,43)	5	≥ 0,5 portions équiv. oz./1000 kcal	Aucune consommation	3,00 (2,97; 3,02)
Huiles végétales ⁴	17,9 (4,94)	5	5 ^e quintile	1 ^{er} quintile	2,59 (2,56; 2,63)
Café/thé ⁴	2,01 (1,74)	5	5 ^e quintile	1 ^{er} quintile	2,58 (2,53; 2,62)
Défavorables à la santé					
Jus de fruits ⁵	0,29 (0,26)	5	Aucune consommation	≥ 0,35 portion équiv. tasse /1000 kcal	3,18 (3,15; 3,20)
Céréales raffinées ²	5,63 (1,12)	5	≤ 1,8 portions équiv. oz./1000 kcal	≥ 4,3 portions équiv. oz. /1000 kcal	3,06 (3,04; 3,08)
Pommes de terre blanches ⁵	0,34 (0,11)	5	Aucune consommation	≥ 0,35 portion équiv. tasse /1000 kcal	2,57 (2,56; 2,59)

Boissons sucrées ³	1,43 (1,25)	5	Aucune consommation	≥ 1 portion équiv. tasse/j	1,34 (1,30; 1,37)
Produits sucrés et desserts ⁴	1,77 (9,75)	5	5 ^e quintile	1 ^{er} quintile	2,49 (2,45; 2,52)
Indice de qualité végétale (pDQI)		55	Plage: 0-55		27,6 (27,4; 27,7)
Composantes d'origine animale					
Favorables à la santé					
Poissons/fruits de mer ³	0,64 (0,32)	5	≥ 0,5 oz./1000 kcal	Aucune consommation	2,94 (2,92; 2,97)
Produits laitiers ²	1,41 (0,51)	5	≥ 1,3 portion équiv. Tasse /1000 kcal	Aucune consommation	2,76 (2,74; 2,78)
Volailles ⁴	1,48 (0,45)	5	5 ^e quintile	1 ^{er} quintile	2,48 (2,44; 2,53)
Défavorables à la santé					
Viandes transformées ⁵	0,85 (0,35)	5	Aucune consommation	≥ 1 portions équiv. oz. /1000 kcal	2,87 (2,85; 2,89)
Viandes rouges ⁵	1,66 (0,48)	5	Aucune consommation	≥ 1,6 portions équiv. oz. /1000 kcal	2,46 (2,44; 2,47)
Œufs ⁴	0,60 (0,28)	5	1 ^{er} quintile	5 ^e quintile	2,72 (2,69; 2,75)
Indice de qualité animale (aDQI)		30	Plage: 0-30		16,2 (16,2; 16,3)
Indice global de qualité (cDQI)		85	Plage: 0-85		43,8 (43,6; 44,0)

Abréviations : NHANES, National Health and Nutrition Examination Survey ; ET, écart-type ; IC, intervalle de confiance ; pDQI, Plant-based Diet Quality Index ; aDQI, Animal-based Diet Quality Index ; cDQI, Comprehensive Diet Quality Index ; portions équiv. oz., portions équivalentes en onces.

¹ Les unités sont exprimées en portions équivalentes en onces (portions équiv. oz.) pour les apports moyens en céréales complètes, fruits à coque/graines/légumineuses, céréales raffinées, poissons/fruits de mer, volailles, viandes transformées, viandes rouges non transformées et œufs ; en portions équivalentes en tasses (portion équiv. tasse) pour les apports moyens en fruits entiers, jus de fruits, légumes (hors pommes de terre blanches), pommes de terre blanches et produits laitiers ; en tasses de 8 onces liquides pour le café/thé et les boissons sucrées ; en portions pour les produits sucrés et desserts ; et en grammes pour les huiles végétales. Les facteurs de conversion entre les unités conventionnelles et les unités métriques varient selon les aliments et les groupes alimentaires. Les facteurs de conversion approximatifs sont les suivants : 1 portion équivalente tasse de fruits ou légumes = 100 g ; 1 portion équivalente tasse de légumineuses = 175 g ; 1 portion équivalente once de céréales complètes ou raffinées = 30 g ; 1 portion équivalente once de poisson/fruits de mer, volaille, viande transformée, viande rouge non transformée ou fruits à coque/graines = 28,35 g ; 1 tasse de 8 oz liquides de boisson sucrée, café ou thé = 226,8 g ; et 1 portion de produits sucrés ou desserts = 30 g.

² La notation repose sur les standards utilisés dans le Healthy Eating Index (HEI)-2015.

³ La notation repose sur les standards utilisés dans l'Alternative Healthy Eating Index (AHEI), ajustés pour 1 000 kcal.

⁴ Les cibles pour les scores minimal et maximal sont basées sur la distribution dans la population.

⁵ La notation repose sur les standards du score alimentaire de l'American Heart Association (AHA), basés sur les objectifs stratégiques 2020 de l'AHA pour l'alimentation, correspondant au 80^e percentile de la distribution des apports chez les adultes américains dans les données NHANES 1999–2014.

3.1.3. PANDiet

Le score PANDiet (Diet Quality Index based on the Probability of Adequate Nutrient Intake) est un indicateur de la qualité nutritionnelle globale d'un régime alimentaire (181,182). Il s'exprime sur une échelle allant de 0 à 100 et repose sur l'évaluation de 28 nutriments, à partir de la moyenne de deux sous-scores : le score d'adéquation (Adequacy Score, AS) et le score de modération (Moderation Score, MS).

Le score d'adéquation (AS) reflète la probabilité moyenne que les apports en nutriments atteignent les valeurs de référence recommandées. Il couvre les nutriments suivants : lipides totaux, fibres, protéines, vitamines A, B1, B2, B3, B5, B6, B9, B12, C, D et E, fer biodisponible, cuivre, iode, calcium, magnésium, manganèse, phosphore, potassium, zinc biodisponible, sélénium, acides gras n-3 et n-6, acide docosahexaénoïque (DHA) et acide eicosapentaénoïque (EPA).

Le score de modération (MS), quant à lui, représente la probabilité moyenne que les apports en certains nutriments ne dépassent pas les seuils définis comme limites supérieures tolérables, selon la nature de chaque nutriment. Il concerne les nutriments suivants : vitamines B3, B6, B9, D et E, rétinol, calcium, magnésium, cuivre, sélénium, iode et zinc.

3.1.4. Complémentarité des scores

Dans le cadre de certaines de nos analyses, nous avons choisi d'utiliser conjointement les deux scores de qualité nutritionnelle : le PNNS-GS2 et le cDQI. Cette approche permet de croiser des concepts complémentaires et d'obtenir une évaluation plus fine et multidimensionnelle de la qualité des régimes alimentaires.

Le PNNS-GS2 a été spécifiquement élaboré pour mesurer le degré d'adhésion aux recommandations nutritionnelles françaises publiées par le Haut Conseil de la Santé Publique en 2017. Il repose sur des groupes d'aliments conformes aux recommandations internationales, tout en intégrant des priorités nationales, telles que la valorisation des produits végétaux issus de l'agriculture biologique ou la pénalisation d'un apport énergétique excessif. De plus, ses composantes sont pondérées selon le niveau de preuve scientifique établissant leur lien avec la santé. Ce score est ainsi particulièrement adapté pour évaluer la conformité des habitudes alimentaires aux politiques publiques françaises en matière de nutrition.

À l'inverse, le cDQI est un indice validé à l'échelle internationale, qui permet d'apprécier la qualité globale de l'alimentation en distinguant les aliments d'origine végétale et animale selon leur caractère bénéfique ou délétère pour la santé. Il s'appuie sur les recommandations alimentaires les plus récentes et sur des données probantes issues de la littérature internationale. Le cDQI constitue ainsi une mesure

plus large et plus généralisable de la qualité des régimes alimentaires, indépendante du contexte national, et permet une comparaison directe avec d'autres études menées à l'échelle mondiale.

L'utilisation conjointe de ces deux scores permet de capturer à la fois les dimensions nationales (en lien avec les recommandations de santé publique françaises) et internationales (comparabilité inter-études et fondements scientifiques actualisés) de la qualité de l'alimentation. Cette double approche renforce la portée de nos analyses, en les rendant à la fois pertinentes pour les politiques nutritionnelles françaises et comparables au sein de la recherche internationale en nutrition. Ces scores rendent compte de l'impact de la qualité des régimes sur la santé à long terme.

Par ailleurs, le PANDiet rend compte des problématiques d'insuffisance nutritionnelle. Il est spécifiquement construit à partir des références nutritionnelles et porte donc davantage sur les besoins physiologiques.

3.2. Indicateurs de risque sanitaire

3.2.1. Score de Risque Santé (HRS)

Le risque sanitaire associé aux régimes alimentaires a été évalué à l'aide d'un score de risque santé (Health Risk Score, HRS), calculé sur la base de la distance entre les apports alimentaires observés et les niveaux d'exposition minimisant le risque théorique (Theoretical Minimum-Risk Exposure Level, TMREL), tels que définis par l'étude Global Burden of Disease (GBD) 2019 (183). Ce score reflète le risque global de mortalité lié à un schéma alimentaire individuel, résultant de consommations sous-optimales (trop faibles ou trop élevées) pour plusieurs groupes d'aliments.

L'étude Global Burden of Disease (GBD) vise à décrire, à l'échelle mondiale, les niveaux de morbidité et de mortalité liés aux principales maladies et facteurs de risque pour la santé (184). Réalisée par l'Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), cette étude constitue à ce jour l'analyse épidémiologique d'observation la plus complète au niveau mondial, permettant d'identifier les défis majeurs de santé publique du 21^e siècle. Dans ce cadre, le Theoretical Minimum-Risk Exposure Level (TMREL) représente le niveau d'exposition (ici, la quantité consommée d'un aliment ou nutriment) associé au risque pour la santé le plus faible, toutes causes confondues, liées à ce facteur de risque. Contrairement aux approches traditionnelles souvent fondées sur un consensus d'experts, cette estimation repose sur une approche objective issue d'une méta-analyse systématique de la littérature et de modèles complexes.

Sur cette base, le Health Risk Score (HRS) utilisé dans la présente étude est calculé à partir de la distance entre les consommations individuelles et les valeurs de TMREL, selon la formule suivante :

$$\text{HRS} = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\text{Cons}(i)}{\text{Max}(i)} \times \frac{\text{DALYs}(i)}{\text{DALYs}(\text{total})} \right) + \sum_{j=1}^6 \left(\max \left[\frac{\text{TMREL}(j) - \text{Cons}(j)}{\text{TMREL}(j)} ; 0 \right] \times \frac{\text{DALYs}(j)}{\text{DALYs}(\text{total})} \right)$$

Avec :

i : groupes d'aliments à limiter (viande rouge, viande transformée, boissons sucrées)

j : groupes d'aliments à favoriser (céréales complètes, fruits, légumes, légumineuses, fruits à coque et graines, lait)

Cons(i/j) : consommation individuelle moyenne du groupe i ou j (en g/j)

Max(i) : seuil maximal recommandé pour le groupe i (en g/j)

TMREL(j) : valeur de TMREL pour le groupe j (en g/j)

DALYs(i/j) : nombre d'années de vie ajustées sur l'incapacité (DALYs) associées à la sur-/sous-consommation du groupe i ou j

DALYs(total) : somme des DALYs associés à tous les groupes alimentaires considérés

Les valeurs de TMREL ainsi que les charges de morbidité correspondantes (DALYs) utilisées dans le modèle d'optimisation, différenciées selon le sexe, sont présentées dans le **Tableau 5** ci-après :

Tableau 5 : Niveaux d'exposition minimisant le risque théorique (TMREL) et années de vie ajustées sur l'incapacité (DALYs) utilisés dans le modèle d'optimisation chez les hommes et les femmes

		TMREL ¹ (g/j)		DALYs ² (années)	
		Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
Aliments à limiter	Viande rouge	0	0	28 562	20 824
	Viande transformée	0	0	14 346	6 288
	Boissons sucrées	0	0	4 105	1 791
Aliments à favoriser	Produits céréaliers complets	170	137	31 405	10 987
	Fruits	367	297	20 130	9 512
	Légumineuses	107	87	17 103	3 386
	Légumes	339	274	9 342	3 090
	Fruits à coque et graines	16	13	6 531	1 355
	Lait	486	393	3 521	2 727
Total				135 045	59 961

¹ Selon les estimations de l'étude Global Burden of Disease (GBD 2019), les valeurs de TMREL sont de 0 g/j pour la viande rouge, les viandes transformées et les boissons sucrées, et respectivement de 150, 325, 95, 300, 14,5 et 430 g/j pour les céréales complètes, les fruits, les légumineuses, les légumes, les fruits à coque et graines, et le lait. Ces valeurs correspondent à des estimations globales établies pour une consommation énergétique moyenne de 2 300 kcal/j (183). Dans notre étude, des valeurs ajustées ont été utilisées pour tenir compte des apports énergétiques moyens observés chez les hommes (environ 2 600 kcal/j) et les femmes (environ 2 100 kcal/j) dans la population française étudiée.

² Les valeurs de DALYs utilisées proviennent des estimations françaises de 2019, spécifiques au sexe, et associées aux consommations excessives ou insuffisantes d'aliments défavorables ou favorables à la santé. Ces données sont accessibles sur le site Global Health Data Exchange (<http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>).

Le calcul du Health Risk Score (HRS) s'effectue en trois étapes. Dans un premier temps, la distance à la valeur de référence TMREL est calculée pour chaque groupe d'aliments. Cette distance correspond à l'écart entre la quantité consommée et le niveau cible d'exposition minimisant le risque (TMREL), et reflète ainsi le degré d'adéquation de la consommation observée. Pour les groupes d'aliments considérés comme favorables à la santé, une consommation supérieure au TMREL est considérée comme optimale et donne lieu à un score nul. En revanche, une consommation inférieure au TMREL est pénalisée par un score strictement supérieur à 0 et inférieur ou égal à 1. Ainsi, plus le score est élevé, plus l'impact sanitaire est défavorable. Pour les aliments à limiter, une consommation inférieure au seuil de référence est associée à un score compris entre 0 et 1, tandis qu'une surconsommation conduit à un score strictement supérieur à 1. L'ensemble des valeurs obtenues est standardisé de façon à assurer une distribution entre 0 à 1. Un score égal à 0 traduit le niveau minimal de risque, tandis qu'un score égal à 1 correspond au niveau de risque maximal.

Dans un second temps, chaque distance calculée est pondérée par le ratio entre le nombre d'années de vie ajustées sur l'incapacité (DALYs) attribuables au groupe d'aliments concerné et le total des DALYs associés à l'ensemble des groupes alimentaires considérés. Cette pondération permet de tenir compte de l'importance relative du risque de mortalité associé à une consommation non optimale d'un aliment donné, en fonction de la charge de morbidité correspondante (somme des années vécues avec un handicap et des années de vie perdues prématurément). L'interprétation reste identique à celle de l'étape précédente, avec une différenciation entre les aliments à promouvoir et ceux à limiter.

Enfin, pour estimer la contribution relative (en pourcentage) de chaque groupe d'aliments au risque global de mortalité (pondéré par les DALYs), le ratio entre le risque relatif individuel (issu de la deuxième étape) et le risque relatif global associé au régime alimentaire total est calculé, exprimé en pourcentage.

3.2.2. Le modèle EpiDiet

Le modèle EpiDiet (Evaluate the Potential Impact of a Diet) est un outil de simulation conçu pour évaluer les risques nutritionnels et épidémiologiques associés à l'alimentation. À l'instar d'autres modèles de simulation des risques (185–187), il combine des approches de modélisation, des méthodes stochastiques et des techniques d'optimisation pour explorer les liens entre régime alimentaire, nutrition et risques de maladies non transmissibles. Son objectif principal est de quantifier les bénéfices et les risques pour la santé, induits par des modifications de l'alimentation à l'échelle populationnelle. EpiDiet repose sur le cadre méthodologique du Comparative Risk Assessment (CRA) (188), largement utilisé par des instances telles que la Commission EAT-Lancet (189), l'Organisation mondiale de la santé (188) et l'étude Global Burden of Disease (GBD) (190), pour estimer les mortalités

et incapacités attribuables à différents facteurs de risque (exposition environnementale, apport nutritionnel, etc.).

En tant qu'outil d'évaluation structurée des risques, EpiDiet intègre des sous-modèles mécanistiques et statistiques couvrant un large spectre de facteurs de risque : nutritionnels (consommation d'aliments, d'énergie et de nutriments, alcool), comportementaux (activité physique, sédentarité, tabagisme) et anthropométriques (âge, sexe, poids, taille). Il estime l'impact des modifications alimentaires sur les risques de morbidité et de mortalité liés aux maladies chroniques, à l'aide de la formule standard de fraction d'impact potentiel (Potential Impact Fraction) appliquée aux facteurs alimentaires. Le modèle est stratifié par âge et par sexe afin de prendre en compte les variations interindividuelles en termes d'alimentation, de risque pathologique et de risques relatifs.

Dans la présente étude, le modèle EpiDiet a été utilisé pour estimer les effets des trajectoires alimentaires sur les risques de morbidité et de mortalité entre 2014 et 2022. Le paramétrage du modèle a été réalisé à partir des données démographiques et de mortalité de la population française de 2014. Les données sur la structure par âge et par sexe ont été obtenues auprès de l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE) (191). La liste des maladies chroniques liées à l'alimentation a été extraite de l'étude GBD 2017 (192) et classifiée selon la 10e révision de la Classification Internationale des Maladies (CIM-10) (193).

Les données d'entrée du modèle comprenaient les consommations moyennes (et écart-types) des groupes suivants : fruits, légumes, céréales complètes, légumineuses, fruits à coque et graines, lait, viandes rouges, viandes transformées, boissons sucrées, ainsi que l'apport énergétique total. Le scénario de référence correspondait à la consommation moyenne par habitant pour chacun de ces groupes alimentaires dans l'échantillon total (n = 17 187) en 2014. Les scénarios contrefactuels ont été construits à partir des trajectoires alimentaires spécifiques aux différents profils étudiés.

La charge de morbidité a été estimée en DALYs (Disability-Adjusted Life Years), une mesure combinant les années de vie perdues par mortalité prématurée (YLLs) et les années vécues avec une incapacité (YLDs). Les YLLs ont été calculées en multipliant le nombre de décès prématurés par l'espérance de vie standard, selon les données de l'étude GBD (192). Les YLDs ont été estimées en multipliant les YLLs par un coefficient de conversion spécifique à l'âge, au sexe et à la pathologie, ce qui permet d'éviter le recours à des modèles dynamiques complexes ou à des hypothèses conservatrices sur la durée des maladies (194,195).

Le modèle a été paramétré à l'aide des valeurs de risques relatifs (RR) issues de l'étude GBD 2017 (192), associées à des expositions alimentaires spécifiques, afin de calculer les réductions potentielles de la charge de morbidité entre les profils de trajectoires.

3.3. Indicateurs d'impacts environnementaux

Les pressions environnementales associées à l'alimentation ont été évaluées à l'aide de l'outil DIALECTE (196), développé par Solagro. Cet outil diagnostique, spécifiquement conçu pour le contexte agricole français, permet d'évaluer les performances environnementales des exploitations agricoles selon une approche globale. Les indicateurs environnementaux considérés incluent les émissions de gaz à effet de serre (exprimées en kg CO₂eq), la demande cumulée en énergie (en mégajoules, MJ) et l'occupation des sols (en m²). L'évaluation repose sur la méthodologie d'Analyse du Cycle de Vie (ACV), appliquée à 60 produits agricoles bruts. Le périmètre de l'analyse est restreint à la phase de production agricole. Il inclut la production des intrants et l'approvisionnement énergétique, mais exclut les étapes de transformation, d'emballage, de transport, de stockage et de fin de vie. L'outil DIALECTE intègre des données issues de 2 086 exploitations agricoles françaises, représentant une diversité de systèmes de production, dont 46 % certifiées en agriculture biologique.

Dans le cadre de l'étude NutriNet-Santé (132,175), les indicateurs environnementaux individuels ont été calculés en multipliant les consommations alimentaires déclarées par produit par les valeurs spécifiques des indicateurs environnementaux associées, ajustées à l'aide de facteurs de conversion. Ces derniers permettent de convertir les produits agricoles bruts en aliments tels que consommés, afin de refléter de manière réaliste les impacts environnementaux des régimes alimentaires. Des allocations économiques par coproduit ont été appliquées, suivies de coefficients de transformation en masse, de cuisson et de comestibilité, pour tenir compte des pertes et des parties non consommables. En sommant l'ensemble des aliments consommés, en distinguant le mode de production (conventionnel ou biologique), il est ainsi possible d'estimer l'impact environnemental global du régime alimentaire individuel.

Par ailleurs, le score pReCiPe, un indicateur synthétique d'impact intégrant les trois indicateurs mentionnés ci-dessus, a été calculé (197). Afin d'équilibrer des indicateurs environnementaux parfois contradictoires, la méthode ReCiPe prend en compte à la fois des mesures de niveau intermédiaire (midpoint) et de niveau final (endpoint). Développée aux Pays-Bas, cette méthode d'analyse du cycle de vie (ACV) harmonise les indicateurs pour fournir une vision globale (197). Elle se fonde sur 18 indicateurs, dont trois sont orientés vers les impacts finaux : disponibilité des ressources, santé humaine et diversité des écosystèmes. En pratique, certains auteurs ont montré que l'impact environnemental des produits et régimes alimentaires peut être évalué à partir de trois dimensions : les émissions de gaz à effet de serre, la consommation d'énergie primaire et l'occupation des sols. Ces trois indicateurs représentent environ 90 % de la dimension environnementale totale du modèle ReCiPe. Pour estimer l'impact environnemental d'un produit ou d'un régime alimentaire, on peut ainsi

utiliser le score partiel ReCiPe (pReCiPe), fondé sur des facteurs de normalisation et de pondération (198).

Le score pReCiPe est calculé comme suit :

$$pReCiPe = 0.0459 \times GES + 0.0025 \times CED + 0.0439 \times LO$$

Avec :

GES : émissions de gaz à effet de serre (kg CO₂eq/jour),

CED : demande cumulée en énergie (MJ/ jour),

LO : occupation des sols (m²/ jour).

Plus le score pReCiPe est élevé, plus l'impact environnemental est important.

4. Analyses statistiques

4.1. Méthodes statistiques usuelles

4.1.1. Modèles ANOVA et ANCOVA

L'analyse de la variance (ANOVA) (199) a été mobilisée pour comparer les moyennes d'une variable continue entre plusieurs groupes définis a priori. Cette méthode permet de tester l'hypothèse selon laquelle les moyennes sont statistiquement identiques entre ces groupes, en examinant si la variabilité observée entre les groupes dépasse significativement la variabilité interne à chacun d'eux. Dans le cadre de ce travail, l'ANOVA a été utilisée pour identifier des différences significatives dans les caractéristiques sociodémographiques, nutritionnelles, économiques ou environnementales selon les profils alimentaires ou d'autres groupes catégoriels définis. Cette approche constitue une première étape essentielle pour repérer des contrastes marqués entre sous-populations.

L'analyse de covariance (ANCOVA) (200) a également été utilisée, notamment lorsque l'objectif était de comparer des moyennes entre groupes tout en tenant compte d'une ou plusieurs covariables susceptibles d'influencer les résultats. L'ANCOVA permet d'ajuster statistiquement ces comparaisons en neutralisant l'effet de variables quantitatives comme l'âge, l'apport énergétique ou le revenu. Cela permet d'obtenir des estimations plus précises et interprétables des différences entre groupes, indépendamment des facteurs de confusion. Ces méthodes ont été systématiquement employées pour tester la significativité des écarts observés, dans un objectif de rigueur statistique et de meilleure compréhension des mécanismes sous-jacents aux différences de comportements alimentaires.

4.1.2. Ajustement sur l'apport énergétique

La plupart des travaux de cette thèse sont conduits dans une approche de substitution, c'est-à-dire à apport énergétique constant. La méthode des résidus (201) est une approche couramment utilisée en épidémiologie nutritionnelle pour ajuster l'effet d'un nutriment sur un indicateur de santé tout en tenant compte de l'apport énergétique total. Cette méthode repose sur le constat que la plupart des nutriments, en particulier les macronutriments, sont fortement corrélés à l'énergie consommée, ce qui peut entraîner une confusion dans l'analyse. Pour isoler l'effet propre du nutriment, indépendamment de l'énergie, on procède en deux étapes.

Dans un premier temps, une régression linéaire de l'apport brut en nutriment (exprimé en g/jour) sur l'apport énergétique total (en kcal/jour) est réalisée. Les résidus issus de cette régression représentent la partie de la variabilité du nutriment qui n'est pas expliquée par l'énergie. Ces résidus, par construction non corrélés à l'apport énergétique, sont alors interprétés comme des apports ajustés pour l'énergie.

Dans un second temps, ces résidus sont utilisés comme variable principale dans un modèle d'association avec un indicateur de santé, dans lequel l'apport énergétique total est également inclus comme covariable. Le coefficient associé au résidu reflète alors un effet de substitution isocalorique, c'est-à-dire l'effet d'une augmentation de l'apport du nutriment d'intérêt au détriment des autres sources d'énergie, pour un apport énergétique constant. À l'inverse, le coefficient associé à l'énergie totale permet d'estimer un effet additif de l'apport énergétique, tenant compte de l'ensemble des nutriments.

Cette méthode permet de limiter les problèmes de colinéarité entre nutriments et énergie, et de faciliter l'interprétation des résultats dans une perspective de substitution alimentaire ou nutritionnelle. Toutefois, elle ne permet pas de distinguer totalement l'effet biologique propre d'un nutriment, car les résidus restent une construction statistique dépendante de la structure des données. Malgré cette limite, la méthode des résidus demeure particulièrement pertinente pour les analyses comparatives entre nutriments, notamment dans le cadre de recommandations nutritionnelles fondées sur des substitutions iso-caloriques.

4.2. Redressement des données

Afin de mieux considérer les spécificités de la population de volontaire de l'étude NutriNet-Santé, et ainsi améliorer la représentativité des adultes Français, les données ont été redressées par calage sur marges (202), selon la procédure d'ajustement itératif des poids (Iterative Proportional Fitting). Cette méthode s'appuie sur les données du recensement national de 2009 (203) pour aligner la structure de

l'échantillon sur celle de la population française en termes d'âge, catégorie socioprofessionnelle, niveau d'études, région de résidence, présence d'enfants de moins de 18 ans au sein du foyer, et statut marital.

Le calage sur marges est une technique couramment utilisée en statistique des enquêtes pour réduire les biais de représentativité, en exploitant des informations auxiliaires fiables au niveau populationnel. Elle s'avère particulièrement utile lorsque l'échantillon observé ne peut être parfaitement stratifié lors de la phase de recrutement, comme c'est souvent le cas dans les études de cohortes basées sur le volontariat. Concrètement, la méthode consiste à ajuster les poids des individus dans l'échantillon afin que les distributions marginales observées pour certains critères clés correspondent à celles de la population de référence. Pour cela, des facteurs de pondération individuels ont été calculés, reflétant la probabilité d'inclusion de chaque participant dans un échantillon représentatif de la population française (202).

Sur le plan mathématique, le problème se ramène à une optimisation sous contraintes, où l'on cherche des coefficients de redressement, satisfaisant deux conditions : les marges populationnelles connues doivent être respectées et les poids ajustés doivent rester aussi proches que possible des poids initiaux, afin de limiter les distorsions. L'écart entre les poids d'origine et les poids ajustés est mesuré à l'aide d'une fonction de distance. Le processus a été mis en œuvre à l'aide de la macro CALMAR, développée sous SAS, qui permet d'automatiser l'optimisation.

Cette procédure a permis d'obtenir des échantillons pondérés reflétant de manière plus fidèle la structure sociodémographique de la population française, renforçant ainsi la robustesse de nos analyses statistiques.

4.3. Construction des typologies

4.3.1. Analyse en Composantes Principales

Des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées afin d'explorer la structure des données multivariées comportant uniquement des variables quantitatives. Cette méthode permet de réduire la dimensionnalité des données tout en conservant l'essentiel de l'information initiale, en projetant les observations d'un espace de dimension k (correspondant au nombre de variables initiales) vers un sous-espace de dimension p ($p < k$), dans lequel la variance totale expliquée est maximisée (204).

L'ACP repose sur le principe de projection des données sur de nouveaux axes (appelés composantes principales, CP), ordonnés de manière décroissante selon leur contribution à la variance totale. Cela permet de synthétiser l'information contenue dans les données d'origine tout en limitant le nombre

de dimensions analysées, en se focalisant sur celles qui expliquent une proportion suffisante de la variabilité totale du nuage des points. Le critère de Kaiser a été utilisé pour déterminer le nombre de dimensions à retenir. Conformément à ce critère, seules les composantes présentant une valeur propre supérieure à 1 ont été conservées pour les étapes suivantes des analyses.

4.3.2. Méthode de notation en analyse en composantes principales

La méthode de notation en analyse en composantes principales (ACP) consiste à attribuer à chaque individu une valeur numérique, appelée score, sur chacune des composantes principales (CP) (205). Ces scores correspondent aux coordonnées des individus dans le nouvel espace factoriel, défini par les axes orthogonaux issus de l'ACP, et permettent ainsi de repositionner les observations dans un espace de dimension réduite, tout en maximisant la variance conservée.

Les composantes principales sont des combinaisons linéaires des variables initiales, déterminées à partir des vecteurs propres de la matrice de covariance. Une fois ces vecteurs propres calculés, le score d'un individu sur une composante donnée est obtenu comme le produit scalaire entre le vecteur de ses variables centrées et le vecteur propre associé. Chaque observation peut ainsi être projetée dans l'espace des nouvelles dimensions (CP). Pour une observation i et une CP k , le score $S_{i,k}$ s'écrit :

$$S_{i,k} = \sum_j X_{i,j} * P_{k,j}$$

Où $X_{i,j}$ est la valeur de la variable j pour l'observation i ; et $P_{k,j}$ le coefficient du vecteur propre k associé à la variable j .

En résumé, la notation permet d'allouer à chaque individu un score sur les nouveaux axes factoriels définis par l'ACP, facilitant ainsi les démarches de visualisation, de classification ou de détection de structures latentes dans les données.

4.3.3. Méthodes de regroupement

a. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

Une classification ascendante hiérarchique (CAH) (206) a été réalisée dans le but de regrouper les individus selon leurs principales sources de protéines, à partir des composantes principales issues de l'ACP. Cette approche a combiné un prétraitement par l'algorithme des k -means et une classification hiérarchique, ce qui permet d'améliorer la stabilité de la solution, en particulier dans le cadre de bases de données de grande taille.

Dans un premier temps, un algorithme de k-means a été appliqué sur les composantes principales. Cet algorithme de segmentation itératif initialise aléatoirement k centres de classes, puis attribue chaque individu au centre le plus proche selon la distance euclidienne. À chaque itération, les centres sont recalculés jusqu'à convergence, c'est-à-dire jusqu'à stabilisation des regroupements. L'algorithme a été répété 100 fois pour garantir la robustesse des résultats. La CAH a ensuite été réalisée sur les centres des classes issues du k-means. Le processus débute par le calcul des distances entre les classes (et non entre les individus), selon le critère de dissimilarité euclidienne. Deux classes minimisant ce critère sont fusionnées en un premier cluster. Puis, la distance entre ce nouveau cluster et les autres classes restantes est recalculée, et le processus de rapprochement est répété, jusqu'à obtention d'un regroupement unique.

b. Modélisation Multi-Trajectoire basée sur les Groupes

La modélisation multi-trajectoires basée sur les groupes (Group-Based Multi-Trajectory Modeling, GBMTM) a été utilisée pour identifier des groupes d'individus suivant des trajectoires similaires sur plusieurs variables mesurées au cours du temps (207,208). Contrairement à la modélisation classique des trajectoires groupées (Group-Based Trajectory Modeling, GBTM), qui s'applique à un seul indicateur, la GBMTM permet d'analyser conjointement plusieurs trajectoires corrélées au sein d'un même cadre statistique. Cette approche est utile pour étudier l'évolution parallèle de comportements liés, comme l'ajustement simultané de différentes composantes de l'alimentation. Par exemple, elle permet d'identifier un groupe d'individus augmentant leur consommation de légumes tout en diminuant leur consommation de viande. En modélisant ces tendances de manière conjointe, la GBMTM offre une lecture plus complète des changements alimentaires, en intégrant les interactions potentielles entre les dimensions considérées.

Les paramètres du modèle ont été estimés par vraisemblance maximale. En appliquant la règle d'assignation à probabilité maximale (maximum probability group assignment rule), chaque individu se voit attribuer une probabilité a posteriori d'appartenir à chaque classe latente, et est affecté à celle dont la probabilité est la plus élevée. Ces probabilités, notées P_{ig} , sont calculées selon la formule suivante :

$$P_{ig} = \frac{\pi_g \times f(y_i|\theta_g)}{\sum_{h=1}^G \pi_h \times f(y_i|\theta_h)}$$

Où π_g représente la proportion de la population estimée dans le groupe g , et $f(y_i|\theta_g)$ la vraisemblance des données observées de l'individu i sous les paramètres du groupe g . L'individu est alors assigné au groupe g^* tel que $g^* = \arg \max_g P_{ig}$.

Les données manquantes ont été prises en compte dans le cadre de l'estimation par vraisemblance, en supposant qu'elles sont manquantes de façon aléatoire (MAR). Les participants ont été conservés dans l'analyse dès lors qu'ils présentaient au moins deux mesures valide sur la période d'observation.

Le nombre optimal de classes latentes a été déterminé à l'aide de plusieurs critères statistiques : le Bayesian Information Criterion (BIC), l'Akaike Information Criterion (AIC) et l'entropie. Les participants ont ensuite été affectés aux classes selon les probabilités postérieures, qui traduisent la probabilité que leur profil corresponde à un motif particulier de trajectoires.

4.4. Modèles mixtes

Les modèles mixtes à effets fixes et aléatoires (209) constituent une approche statistique adaptée à l'analyse de données longitudinales, dans lesquelles plusieurs mesures sont collectées auprès des mêmes individus au cours du temps. Contrairement aux modèles classiques tels que la régression linéaire ou l'ANOVA à mesures répétées, ces modèles prennent en compte la corrélation intra individuelle entre les mesures répétées, c'est-à-dire le fait que les observations provenant d'un même sujet ne sont pas indépendantes. La particularité des modèles mixtes réside dans la combinaison d'effets fixes, qui traduisent les tendances moyennes observées dans l'ensemble de la population (par exemple, l'effet du temps), et d'effets aléatoires, qui modélisent les variations spécifiques à chaque individu (comme le niveau initial ou la pente individuelle d'évolution). Cette double modélisation permet de rendre compte à la fois de l'effet moyen d'un facteur d'intérêt, et des trajectoires individuelles hétérogènes.

Les modèles mixtes présentent également l'avantage de gérer de manière efficace les données manquantes, fréquentes dans les suivis longitudinaux. Sous l'hypothèse que ces données sont manquantes de façon aléatoire (MAR), les modèles utilisent toutes les observations disponibles, sans exclure les participants incomplets, contrairement à d'autres approches.

Les modèles utilisés dans le présent travail peuvent s'écrire comme suit :

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 T_{ij} + \beta_2 S_i + \beta_3 A_i + \beta_4 E_{ij} + \beta_5 (T_{ij} \times S_i) + \beta_6 T_{ij}^2 + \mu_i + \varepsilon_{ij}$$

Où :

Y_{ij}: désigne la consommation du groupe d'aliments pour l'individu *i* au temps *j*.

T_{ij}: représente la variable temporelle (effet fixe) pour l'individu *i* au temps *j*.

S_i: correspond au sexe (effet fixe) de l'individu *i*.

A_i: est l'âge à l'inclusion (effet fixe) de l'individu *i*.

E_{ij}: indique l'apport énergétique total (mesure répétée) de l'individu *i* au temps *j*.

μ_i : regroupe les effets aléatoires de l'individu i , incluant au minimum l'interception et la pente

$\varepsilon_{i,j}$: est le terme d'erreur résiduelle pour l'individu i au temps j .

Le temps a été modélisé à la fois comme un effet fixe, afin de capter l'évolution moyenne au sein de l'ensemble de la population, et comme un effet aléatoire, pour tenir compte de la variabilité interindividuelle dans les trajectoires temporelles. Une interaction entre le temps et le sexe a été intégrée au modèle afin d'estimer d'éventuelles différences d'évolution entre les hommes et les femmes. Le terme polynomial en temps² a été introduit pour capter une éventuelle non-linéarité dans les trajectoires. En raison de l'hétérogénéité des intervalles entre les différentes vagues de collecte, la structure de corrélation des mesures répétées a été modélisée à l'aide de la loi de puissance spatiale SP(POW)(temps) de la procédure MIXED de SAS. Différentes structures de matrice variance-covariance des effets aléatoires ont été testées, et la structure optimale (non structurée) a été retenue.

En résumé, les modèles mixtes offrent une méthode rigoureuse et souple pour l'analyse de données longitudinales, en tenant compte à la fois des variations entre les individus et des changements au cours du temps. Ils sont aujourd'hui largement utilisés dans les essais cliniques, les études épidémiologiques et les recherches sur les trajectoires de comportements ou d'expositions.

4.5. Modèles d'optimisation

L'optimisation non linéaire multi-multicritères sous contraintes consiste à identifier des solutions optimales en tenant compte simultanément de plusieurs objectifs potentiellement divergents, tout en respectant des contraintes prédéfinies. Le front de Pareto est exploré en attribuant un poids entre 0 et 1 à un objectif et le complémentaire à l'autre. La procédure d'optimisation débute par la définition précise des fonctions objectifs et des contraintes associées. Deux objectifs principaux sont considérés : la minimisation des écarts quadratiques entre les consommations alimentaires optimisées et les consommations observées initiales (objectif DD²), et la minimisation des émissions totales de gaz à effet de serre (GES).

L'objectif de déviation diététique (DD²) est défini mathématiquement par :

$$\text{Min } DD^2 = \sum_j \left(\frac{x_{j,p}^{opt} - x_{j,p}^{obs}}{sd_{j,p}^{obs}} \right)^2$$

Où :

$x_{j,p}^{opt}$: quantité optimale consommée du groupe d'aliment j pour le profil p (profil de trajectoires de consommations alimentaires ; Chapitre 4, Section 4)

$x_{j,p}^{obs}$: quantité observée consommée du groupe d'aliment j pour le profil p

$sd_{j,p}^{obs}$: écart-type de consommation observée du groupe d'aliment j pour le profil p

Cette formule permet de privilégier de faibles modifications réparties sur un grand nombre de groupes alimentaires.

L'objectif de minimisation des émissions de GES est quant à lui exprimé par :

$$\text{Min GES} = \sum_j (x_{j,p}^{opt} * b * GES_{bioj} + (1 - b) * GES_{convj})$$

Où :

b : part optimale de consommation bio du groupe d'aliment j

GES_{bioj} : facteur d'émissions de GES du groupe d'aliment j issu de l'agriculture biologique (en Kg CO₂eq/jour)

GES_{convj} : facteur d'émissions de GES du groupe d'aliment j issu de l'agriculture conventionnelle (en Kg CO₂eq/jour)

Les contraintes intégrées dans cette optimisation incluent des contraintes nutritionnelles et d'acceptabilité des changements. Les contraintes nutritionnelles garantissent la non dégradation de la qualité nutritionnelle des régimes optimisés par rapport aux régimes observés. Ainsi, pour chaque nutriment (k), le seuil minimal considéré correspond au minimum entre l'apport observé et la borne inférieure de la référence nutritionnelle ; et le seuil maximal correspond au maximum entre l'apport observé et la borne supérieure de la référence nutritionnelle (**Annexe 17**).

Certaines contraintes spécifiques concernent la biodisponibilité du fer et du zinc, dont le calcul est détaillé en **Annexe 17**. Des seuils nutritionnels légèrement relâchés ont été considérés pour le zinc biodisponibles (1,45 mg), le fer biodisponible (1,1 mg) et les fibres (25 g) ne remettant pas en cause la santé à long terme (210).

La contrainte d'acceptabilité limite les modifications des consommations alimentaires à un maximum défini par le 99ème percentile (P99) observé dans chaque groupe alimentaire j :

$$x_{j,p}^{opt} \leq P99_{j,p}$$

La deuxième étape de la procédure consiste en des optimisations monocritères préalables. Deux scénarios extrêmes sont identifiés : l'un optimisant assurant la minimisation de déviation (DD) sous contraintes nutritionnelles et d'acceptabilité permettant d'identifier l'impact environnemental « maximal », et l'autre optimisant la réduction maximale des GES au prix d'une forte déviation alimentaire sous contraintes nutritionnelles et d'acceptabilité.

La dernière étape implique une optimisation multi-critères par compromis. Les objectifs DD^2 et GES sont d'abord normalisés pour être comparables, puis intégrés dans une fonction objectif combinée :

$$\mathbf{Min\ multi - objectif} = \lambda * dGES + (1 - \lambda) * dDD$$

Le paramètre λ varie progressivement entre 0 et 1 pour construire un front de Pareto, permettant une visualisation claire des compromis réalisables entre la minimisation des émissions de GES et celle des écarts alimentaires. Le problème d'optimisation est résolu à l'aide du solveur « nloptr » sous R, avec l'algorithme « NLOPT_LN_COBYLA », adapté aux problèmes non linéaires sous contraintes.

4.6. Méthodes économétriques

4.6.1. Approche par les coefficients budgétaires

L'approche par les coefficients budgétaires consiste à rapporter les dépenses alimentaires à une dépense de référence, généralement le budget alimentaire global ou le budget total du ménage. Elle permet d'analyser la structure des consommations, en s'affranchissant des montants absolus souvent corrélés au revenu ou à la taille du ménage. En se focalisant sur les parts budgétaires plutôt que sur les niveaux de dépenses, cette méthode met en lumière les arbitrages opérés par les ménages entre différentes catégories de produits alimentaires (211). Historiquement fondée sur les analyses d'Engel (204) et de Halbwachs (205), cette méthode s'inscrit dans une tradition de recherche sur la stratification sociale des pratiques de consommation. L'approche par les coefficients budgétaires constitue un outil méthodologique robuste. Elle offre un éclairage précieux sur les inégalités sociales dans les pratiques alimentaires, en révélant des différences structurelles que ne reflètent pas nécessairement les seules quantités consommées ou les apports nutritionnels.

Cette approche a été utilisée dans le cadre de notre étude pour identifier les écarts dans les modes de consommation entre clusters alimentaires et entre groupes sociaux (Chapitre 4, Sections 1.1 et 3.1). Plusieurs niveaux de référence ont été mobilisés pour le calcul des coefficients afin d'appréhender plus finement les logiques de priorisation et les comportements de substitution, en fonction des contraintes économiques ou des préférences alimentaires propres à chaque groupe.

D'abord, une analyse descriptive de la structure budgétaire des dépenses alimentaires, à travers les parts relatives du budget allouées à l'alimentation globale a été menée. Pour ce faire, des coefficients budgétaires ont été calculés pour chaque participant, à la fois pour le régime global et pour chaque groupe d'aliments, selon les formules suivantes :

$$\mathbf{Coefficient\ budgétaire\ du\ régime\ global}_i = \frac{\mathbf{Dépense\ du\ régime\ global}_i}{\mathbf{Revenu}_i} \times 100$$

$$\text{Coefficient budgétaire du groupe d'aliments}_{i,j} = \frac{\text{Dépense du groupe d'aliments}_{i,j}}{\text{Dépense du régime global}_i} \times 100$$

où i représente les individus et j les groupes d'aliments.

Partant du principe que le mode de production (biologique ou conventionnel) influence les dépenses alimentaires, l'analyse a été détaillée en distinguant les dépenses allouées aux produits biologiques de celles allouées aux produits conventionnels. Ainsi, les coefficients budgétaires des produits biologiques et conventionnels ont été calculés séparément pour l'alimentation globale et pour chaque groupe d'aliments, pour chaque individu. Pour l'alimentation globale, les coefficients budgétaires par mode de production ont été calculés par rapport au budget alimentaire total. Pour chaque groupe d'aliments, les coefficients budgétaires par mode de production ont été exprimés en proportion du budget alimentaire alloué aux produits issus du mode de production correspondant.

Par ailleurs, dans le cadre de l'analyse de la structure budgétaire des dépenses alimentaires allouées aux apports protéiques, la dépense en apport protéique a été définie comme la part de la dépense alimentaire d'un groupe d'aliments allouée à la couverture de l'apport protéique quotidien. Elle a été estimée, pour chaque groupe d'aliments et pour chaque individu, à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Dépense en apport protéique}_{i,j} (\text{€}) = \frac{\text{Dépense du groupe d'aliments}_{i,j} (\text{€}) \times \text{Apport protéique}_{i,j} (\text{g})}{\text{Quantité consommée}_{i,j} (\text{g})}$$

où i représente les individus et j les groupes d'aliments.

La dépense protéique totale a ensuite été calculée pour chaque individu comme la somme des dépenses protéiques sur l'ensemble des groupes d'aliments.

Ensuite, les coefficients budgétaires associés aux apports protéiques ont été obtenus selon les formules suivantes :

*Coefficient budgétaire de l'apport protéique par groupe d'aliments*_{i,j}

$$= \frac{\text{Dépense en apport protéique du groupe d'aliments}_{i,j}}{\text{Dépense du régime global}_i} \times 100$$

$$\text{Coefficient budgétaire de l'apport protéique total}_i = \frac{\text{Dépense en apport protéique totale}_i}{\text{Dépense du régime global}_i} \times 100$$

où i représente les individus et j les groupes d'aliments.

4.6.2. Modèles de régression à effets fixes

Dans le cadre de cette étude, des modèles de régression à effets fixes (212) ont été mobilisés afin d'analyser l'impact de l'adoption d'un régime alimentaire particulier sur la dépense totale et la

dépense en protéines. L'objectif était d'estimer les écarts de dépenses associés à chaque cluster alimentaire, tout en tenant compte des caractéristiques socioéconomiques et nutritionnelles des individus.

L'impact de l'adoption d'un régime alimentaire (Chapitre 4 Sections 1.1 et 3.1) sur la dépense du régime global, tenant compte du revenu et du niveau d'éducation a été estimé selon le modèle suivant :

$$\text{Dépense du régime global}_i = \alpha_i + \beta_1 \text{Revenu}_i + \beta_2 \text{Educ}_i + \beta_3 \text{AET}_i + \text{EF}_{\text{régime}}$$

Où :

i : désigne les individus ;

Revenu_i : le revenu moyen journalier de l'individu i ;

Educ_i : le niveau d'éducation de l'individu i, correspondant au nombre d'années d'études ;

AET_i : apport énergétique total de l'individu i ;

EF_{régime} : effet fixe du régime alimentaire, correspondant à l'effet de l'adoption du régime alimentaire (qui est celui adopté par l'individu i) sur la dépense du régime global.

L'ajustement sur l'AET est ajouté au modèle afin de tenir compte des disparités entre les individus provenant d'un apport calorique différent.

Les clusters alimentaires ont été introduits dans le modèle sous forme de variable catégorielle à effets fixes, ce qui permet de comparer directement les niveaux moyens de dépenses selon les différents clusters identifiés. Cette approche repose sur l'inclusion de variables indicatrices pour chaque régime, sans considérer de modalité de référence, ce qui permet d'estimer un coefficient propre à chaque régime. En d'autres termes, chaque régime est traité comme une modalité distincte, avec son propre effet spécifique sur la variable dépendante. Le modèle a également été ajusté pour plusieurs variables explicatives, notamment le revenu par unité de consommation, le niveau d'éducation et l'apport énergétique moyen. Ces ajustements visent à isoler le rôle du régime alimentaire dans la variation des dépenses, indépendamment de ces facteurs susceptibles d'influencer les comportements de consommation.

Ensuite, afin d'estimer l'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense en apport protéique totale individuel, en tenant compte du revenu et du niveau d'éducation, nous avons construit le modèle suivant :

$$\begin{aligned} \text{Dépense protéique totale}_i \\ = \alpha_i + \beta_1 \text{Revenu}_i + \beta_2 \text{Educ}_i + \beta_3 \text{Revenu}_i^2 + \beta_4 \text{Educ}_i^2 + \beta_5 \text{AET}_i + \beta_6 \text{APT}_i + \text{EF}_{\text{régime}} \end{aligned}$$

Où :

i : désigne les individus ;

Revenu_i : le revenu moyen journalier de l'individu i ;

Educ_i : le niveau d'éducation de l'individu i , correspondant au nombre d'années d'études ;

AET_i : apport énergétique total de l'individu i ;

APT_i : apport protéique total de l'individu i .

EF_{régime} : effet fixe du régime alimentaire, correspondant à l'effet de l'adoption du régime alimentaire (qui est celui adopté par l'individu i) sur la dépense protéique totale.

Nous avons ajouté des termes polynomiaux au modèle afin de capter les effets non linéaires éventuels entre le revenu, le niveau d'éducation et la dépense protéique individuel.

Enfin, l'intérêt des modèles de régression à effets fixes réside dans leur capacité à estimer des différences moyennes entre groupes, sans faire d'hypothèse sur la distribution des effets. Cette méthode est particulièrement pertinente dans un contexte où l'on cherche à comprendre les liens entre structure alimentaire et accessibilité économique, en tenant compte de l'hétérogénéité observée au sein de la population.

Chapitre 4 : Résultats

1. Dynamiques alimentaires en France entre 2014 et 2022 : typologies et trajectoires

1.1. Typologie des régimes initiaux selon la nature des apports protéiques : un marqueur de durabilité

1.1.1. Cadre d'analyse

Dans le cadre de la démarche « *bottom-up* » adoptée tout au long de ce travail, consistant à partir des pratiques effectives des consommateurs pour éclairer les dynamiques de transition, cette section s'attache à caractériser la diversité des régimes alimentaires observés, en considérant la nature des apports protéiques comme axe de différenciation. Ce positionnement méthodologique s'inscrit plus largement dans une logique de sentier de durabilité (Chapitre 2, Section 1.1), dont la première étape consiste à établir un diagnostic précis de l'existant.

Si les besoins en protéines sont aujourd'hui largement couverts dans les pays occidentaux (213), la question de leur origine (animale ou végétale) demeure centrale dans les débats scientifiques, économiques et sociétaux. Ce glissement, historiquement motivé par les problématiques de carence protéique (214,215), a évolué vers des préoccupations liées aux impacts environnementaux et sanitaires de la production et de la consommation de protéines animales, dans un contexte fortement structuré par les intérêts de l'industrie agroalimentaire (216). Cette dynamique a récemment conduit à un élargissement de l'offre en substituts végétaux, accompagnée d'un discours nutritionnel axé sur la "transition protéique"(217).

Or, plusieurs travaux ont montré que la nature des protéines consommées est fréquemment représentative du mode alimentaire global : les régimes riches en produits animaux tendent à être moins favorables à la santé, tandis que ceux majoritairement végétaux sont souvent associés à une alimentation plus diversifiée et de meilleure qualité nutritionnelle (218–220). Dans cette perspective, cette étude vise à identifier, au sein de la population adulte de la cohorte NutriNet-Santé, des groupes de consommateurs différenciés selon leurs sources protéiques, et à décrire leurs caractéristiques alimentaires initiales. L'hypothèse sous-jacente est que ces sources peuvent constituer un marqueur discriminant de la durabilité des régimes (77), ouvrant la voie à une évaluation multicritère ultérieure.

1.1.2. Méthodologie spécifique

a. Sélection de l'échantillon

Parmi les participants de la cohorte NutriNet-Santé, 29 210 individus ont été retenus pour cette étude. La sélection a été effectuée sur la base de la disponibilité des données issues du questionnaire de fréquence alimentaires spécifique aux aliments biologiques (Org-FFQ), de l'absence de données manquantes concernant les caractéristiques sociodémographiques (à l'exception du revenu mensuel, renseigné sur une base facultative), ainsi que de la disponibilité des informations relatives aux lieux d'achat. Les individus identifiés comme sous- ou sur-déclarants en matière d'apports énergétiques ont été exclus, comme expliqué précédemment (Chapitre 3, Section 2.4.3). Un diagramme de flux détaillant les étapes de sélection de l'échantillon est présenté en **Figure 24** ci-dessous.

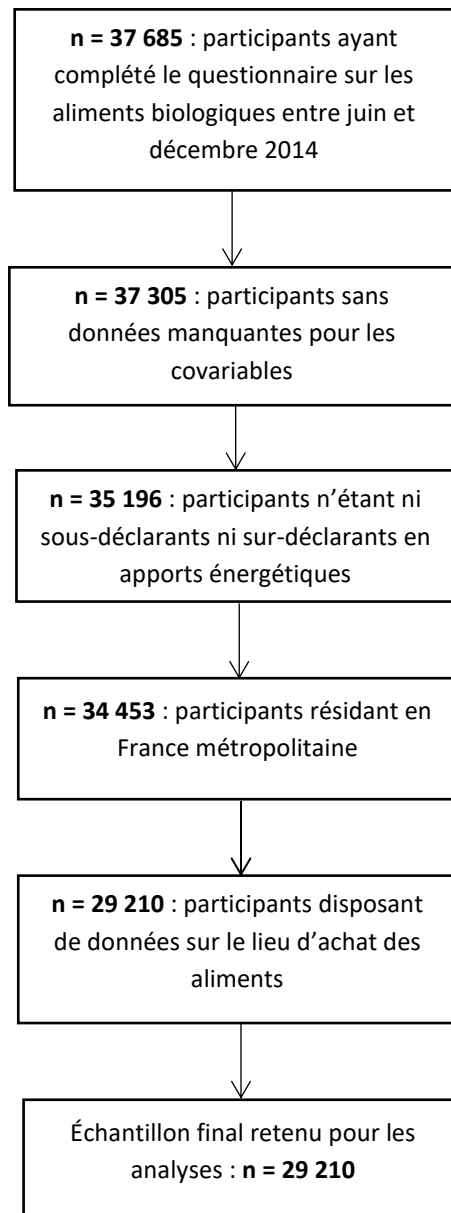


Figure 24 : Diagramme de flux de l'échantillon d'étude

b. Construction de la typologie des sources protéiques et description des clusters

La contribution (en %) de 23 groupes d'aliments à l'apport protéique total a été calculée individuellement, afin de se concentrer sur les sources d'apport indépendamment des quantités totales consommées. Les teneurs protéiques des aliments ont été jumelées aux consommations afin de construire une table des protéines apportées par chaque groupe alimentaire considéré afin d'estimer les contributions à l'apport protéique total.

Les 23 groupes d'aliments ont été définis en fonction de la nature des produits consommés, afin de distinguer les sources de protéines de manière pertinente. Le **Tableau 6** ci-dessous précise la composition de chacun de ces groupes.

Tableau 6 : Composition des 23 groupes d'aliments considérés dans l'étude

Groupe d'aliments	Composition
Boissons alcoolisées	Vins (rouge, blanc, rosé), bières, spiritueux (vodka, whisky, rhum), apéritifs alcoolisés
Boissons non alcoolisées	Nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre), boissons végétales (sauf soja), café et thé (y compris consommés avec du lait).
Céréales raffinées	Céréales de petit-déjeuner peu sucrées, pain, semoule, riz et pâtes
« Fast food »	Sandwichs, plats préparés tels que pizzas, hamburgers, raviolis, paninis, crêpes salées, etc.
Fruits	Fruits frais, fruits au sirop et compotes, fruits secs et graines
Huiles	Huiles d'origine végétale
Jus de fruits	Jus de fruits 100 % pur jus, sans sucres ajoutés, hors nectars
Lait	Lait consommé seul (entier, demi-écrémé, écrémé, en dehors du thé/café), boissons lactées non aromatisées
Légumineuses	Lentilles, pois chiches, haricots rouges, haricots blancs, fèves (hors préparations transformées ou mélangées à base de soja)
Légumes	Tous les légumes et les soupes
Matières grasses animales	Beurre, saindoux, crème fraîche, sauces grasses
Œufs	Œufs entiers, omelettes, œufs durs, œufs brouillés (hors plats cuisinés)
Oléagineux	Amandes, noix, noisettes, noix de cajou, pistaches, pignons (non salés et non transformés), graines
PGS (Produits gras et sucrés)	Croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel, confiture, gâteaux, chips, graines oléagineuses salées, biscuits salés
Pommes de terre	Pommes de terre et autres tubercules
Produits à base de soja	Aliments à base de soja : tofu, substituts de viande à base de soja, galettes végétales, yaourts au soja, lait de soja
Produits céréaliers complets	Pain complet, riz complet, pâtes complètes, flocons d'avoine nature, céréales complètes sans sucre ajouté
Poissons	Produits de la mer
Produits laitiers	Yaourts, fromages frais, fromages

Sauces	Sauces pour salade prêtes à l'emploi, mayonnaise, sauces à base de crème, crème fraîche, beurre et toutes les sauces grasses
Viande rouge	Viande de bœuf, d'agneau, de veau (hors viandes transformées et charcuteries), porc, abats
Viande transformée	Jambon, saucisses, lardons, charcuterie, viande en conserve, viande panée industrielle
Volaille	Poulet, dinde, canard, pintade (hors panures industrielles, fast-food et charcuterie de volaille)

La typologie visant à identifier des clusters d'individus présentant des consommations similaires de sources protéiques a été élaborée en deux étapes. Dans un premier temps, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été appliquée aux contributions des 23 groupes alimentaires aux apports protéiques. Cette méthode d'analyse multivariée a permis de réduire la dimensionnalité des données en maximisant la variance expliquée. Neuf composantes ont été retenues selon le critère de Kaiser (valeurs propres > 1). Dans un second temps, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été réalisée sur les dimensions retenues, après un prétraitement des données par l'algorithme des k-means, réitéré 100 fois. L'utilisation conjointe des méthodes k-means et CAH, dans le contexte d'une base de données de grande taille, a permis de stabiliser la solution obtenue. Les aspects méthodologiques ont été développés dans la section précédente (Chapitre 3, Sections 4.3.1 et 4.3.3.a).

c. Description et comparaison des clusters

Les clusters identifiés ont été nommés en fonction des groupes d'aliments les plus contributeurs à l'apport protéique du cluster, par comparaison à l'échantillon global. Dans un premier temps, les moyennes (Ecart-Type, ET) de la contribution protéique de chaque groupe d'aliments (%/jour) ont été calculées pour l'ensemble de l'échantillon. Ensuite, afin de tenir compte des éventuelles différences d'apport énergétique entre les groupes et l'échantillon total, des moyennes ajustées sur l'apport énergétique total ont été estimées pour chacun des 23 groupes d'aliments, pour chaque cluster à l'aide de modèles ANCOVA (Chapitre 3, Section 4.1.1). Les erreurs standards de la moyenne (SEM) étant également rapportées.

Les clusters ont été décrits selon leurs caractéristiques sociodémographiques, avec présentation des moyennes (ET) pour les variables continues et des pourcentages pour les variables catégorielles. Les comparaisons intergroupes ont été réalisées à l'aide du test du Chi² de Pearson pour les variables catégorielles, et par ANOVA (Chapitre 3, Section 4.1.1) pour les variables continues. Concernant la consommation des groupes d'aliments (g/jour), les moyennes (ET) ont été rapportées pour l'échantillon global, et, pour chaque cluster, les apports moyens ajustés sur l'apport énergétique total ainsi que les SEM ont été calculés à l'aide de modèles ANCOVA.

Pour les macronutriments, les pourcentages de l'apport énergétique total ont été estimés. Pour les vitamines, les minéraux et les fibres, les apports ajustés sur l'apport énergétique total ont été calculés selon la méthode des résidus (Chapitre 3, Section 4.1.2). La prévalence des apports protéiques adéquats a été estimée conformément à la définition intégrée dans le score PANDiet (Chapitre 3, Section 3.1.3).

Afin de permettre la comparaison entre clusters, des valeurs relatives en pourcentage ont été calculées, en utilisant des moyennes standardisées par rapport à l'apport énergétique total (AET) de la population totale, et qui correspondent à la moyenne qu'aurait le cluster si son apport énergétique était celui de la population totale. Pour ce faire, nous avons calculé l'apport énergétique total moyen par cluster, que nous avons rapporté à la moyenne de l'AET de la population. Le coefficient obtenu pour chacun des clusters a été multiplié par la moyenne de la population pour chaque groupe d'aliments, pour ainsi obtenir une moyenne par groupe alimentaire et par cluster, qui est une moyenne standardisée du cluster par rapport à l'échantillon total.

La valeur relative pour chaque groupe d'aliments est ensuite calculée avec la formule :

$$\text{Valeur relative (\%)} = \frac{\text{Moyenne ajustée sur AET}_i - \text{Moyenne standardisée}_i}{\text{Moyenne standardisée}_i} \times 100$$

Où i désigne les clusters.

Enfin, nous avons testé la significativité de la variance inter-cluster par rapport à la variance intra-cluster par le test ANOVA de type 3.

1.1.3. Résultats principaux

a. Construction de la typologie de consommation protéique et caractérisation des clusters alimentaires

La distribution de l'inertie totale (**Figure 25**) dans le cadre de l'Analyse en Composantes Principales a montré que les deux premières dimensions n'expliquaient que 20,49% de la variabilité totale des observations. Insuffisantes pour conserver le maximum d'informations nécessaires pour l'analyse, nous avons utilisé le critère de Kaiser (valeur propre >1) pour déterminer le nombre de dimensions à retenir. Ainsi, neuf dimensions ont été retenues pour la Classification Ascendante Hiérarchique expliquant 57,35% de la variabilité totale du jeu de données.

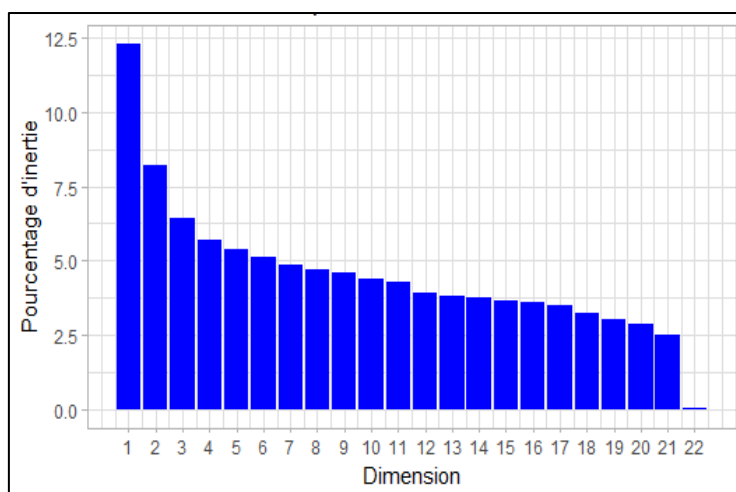


Figure 25 : Distribution de l'inertie totale (ACP)

Des classifications en 3 et 5 clusters ont été testées, et la classification en 5 clusters (Figure 26) a été choisie en raison de la pertinence de l'interprétabilité des résultats obtenus.

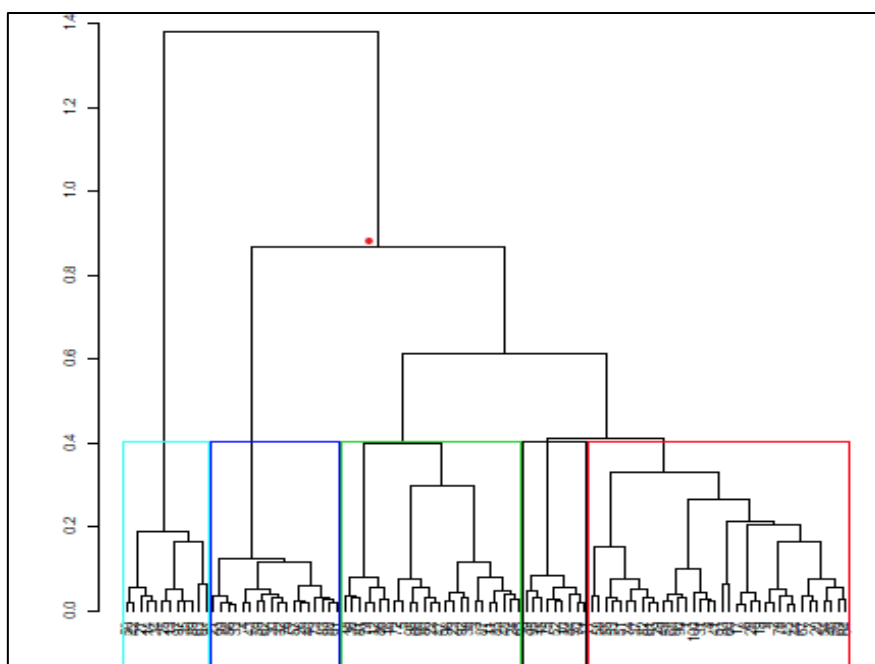


Figure 26 : Dendrogramme de la partition à 5 clusters

Afin d'interpréter les profils identifiés par la classification ascendante hiérarchique (CAH), une analyse des liens entre les variables initiales et la partition obtenue a été réalisée (Tableau 7). Cette étape permet d'évaluer dans quelle mesure les variables utilisées dans l'analyse en composantes principales (ACP) discriminent les groupes issus de la classification. Pour chaque variable, la part de variance expliquée par la partition a été quantifiée à l'aide de l'indicateur η^2 . Une valeur élevée de cet indicateur, proche de 1, témoigne d'un fort pouvoir discriminant de la variable considérée. Le test ANOVA pour les variables quantitatives (p-values dans le Tableau 7) permettent par ailleurs de vérifier

la significativité des différences observées entre les groupes. Cette approche contribue ainsi à caractériser les profils selon les variables les plus fortement associées à la structure de la partition.

Ainsi, l'analyse des liens des variables avec la partition (**Tableau 7**) montre que les variables qui séparent au mieux les classes sont les contributions en protéines de lait, de produits à base de soja, des boissons non alcoolisées, des légumineuses et de la viande rouge, suivies par des sources de protéines végétales (oléagineux, produits céréaliers complets, légumes et céréales raffinées), puis des autres sources de protéines animales (poissons, viande transformée, volaille, et « fast food »).

Tableau 7 : Liens des variables avec la partition à 5 clusters

Variables	Eta ²	P-value
Lait	0,46	0,0001
Produits à base de soja	0,34	0,0001
Boissons non alcoolisées	0,33	0,0001
Légumineuses	0,30	0,0001
Viande rouge	0,26	0,0001
Oléagineux	0,19	0,0001
Produits céréaliers complets	0,18	0,0001
Légumes	0,16	0,0001
Céréales raffinées	0,13	0,0001
Poissons	0,12	0,0001
Viande transformée	0,11	0,0001
Volaille	0,09	0,0001
« Fast food »	0,09	0,0001
Produits gras et sucrés	0,08	0,0001
Produits laitiers	0,08	0,0001
Jus de fruits	0,07	0,0001
Matières grasses animales	0,07	0,0001
Sauces	0,07	0,0001
Fruits	0,06	0,0001
Pommes de terre	0,04	0,0001
Œufs	0,03	0,0001
Huiles	0,01	0,0001
Boissons alcoolisées	0,01	0,0001

Pour affiner l'interprétation des profils issus de la classification, les valeurs test (v-test) ont été analysées pour chaque cluster (**Annexe 1**). Ces statistiques permettent d'identifier les variables significativement sur- ou sous-représentées au sein d'un groupe donné, en les comparant à l'ensemble de la population étudiée. Une valeur de v-test positive indique que la variable considérée prend, en moyenne, une valeur significativement plus élevée dans le cluster par rapport à la moyenne globale, tandis qu'une valeur négative reflète une sous-représentation. Plus la valeur absolue du v-test est élevée, plus la différence observée est statistiquement significative. Ainsi, ces résultats contribuent à la caractérisation fine de chaque cluster, en mettant en évidence les variables les plus discriminantes au sein de la typologie.

L'analyse des résultats des v-tests (**Annexe 1**) montre que le 1^{er} cluster (17% de l'effectif total) est caractérisé par des contributions de lait et boissons non alcoolisées significativement supérieures à celle des autres individus de la population, soit des différences de 337% pour le lait et 162% pour les boissons non alcoolisées (**Tableau 8**). Pour ces mêmes individus, la contribution de toutes les autres sources est significativement inférieure à celle des autres individus. Nous l'avons ainsi nommé cluster « **Lacté** ».

Les individus appartenant au 2^{ème} cluster (26%) ont une contribution de protéines de viande rouge, de volaille et de viande transformée significativement supérieure à celle des autres individus, soit des différences de 54, 42 et 29% respectivement. Alors que leur consommation en protéines végétales reste largement inférieure à la moyenne. Nous l'avons ainsi nommé cluster « **Carné** ».

Le 3^{ème} cluster (29%) affiche des consommations des protéines issues de « fast-food », céréales raffinées, produits gras et sucrés, matières grasses animales, jus de fruits, sauces et viande transformée significativement supérieures à la moyenne, soit des différences de 37, 23, 31, 47, 32 et 7 % respectivement. Les individus de ce cluster ont une contribution protéique faibles de produits céréaliers complets, lait, viande rouge, boissons non alcoolisées et oléagineux, comparées à la moyenne de la population. Nous l'avons ainsi nommé cluster « **Fast-food** ».

Les groupes d'aliments caractéristiques du 4^{ème} cluster (25%) sont les produits céréaliers complets, poissons, oléagineux, produits laitiers, légumes, œufs, fruits et produits à base de soja. Leurs contributions au régime des individus du cluster sont significativement supérieures à la moyenne, soit des différences 78, 49 et 86% pour les trois premiers groupes d'aliments et 61% de plus pour les produits à base de soja. Les contributions des individus de ce cluster pour céréales raffinées, lait, boissons non alcoolisées et viande rouge sont significativement inférieures à la moyenne. Nous l'avons ainsi nommé cluster « **Sain-Poisson** ».

Le 5^{ème} cluster (3%) affiche des contributions protéiques de produits à base de soja, légumineuses, oléagineux, légumes, fruits et produits céréaliers complets significativement supérieures à la moyenne. Les différences de contributions sont de l'ordre de 909, 501, 360, 122,99 et 78% respectivement. Aussi les contributions de la viande rouge, des produits laitiers, poissons, viande transformée, volaille, œufs et lait, soit la quasi-totalité des sources animales, sont largement inférieures à la moyenne de la population. Nous l'avons ainsi nommé cluster « **Sain-Végétalisé** ».

Les valeurs des contributions protéiques (%/jour) dans l'échantillon global et dans les clusters sont détaillées dans la **Figure 27** et le **Tableau 8** ci-dessous.

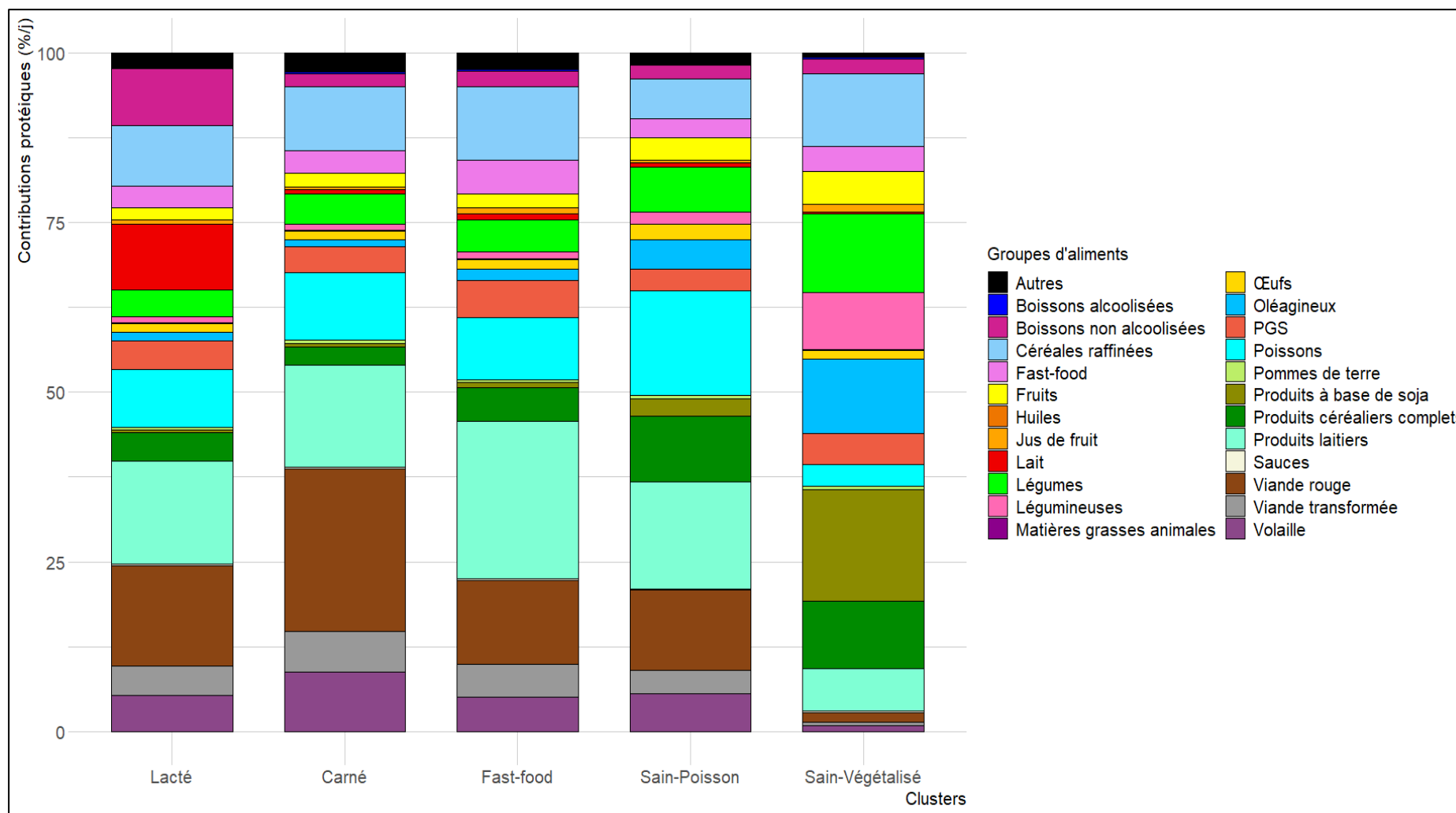


Figure 27 : Contributions protéiques par groupe d'aliments selon les clusters¹

Abréviations : PGS, Produits Gras et Sucrés.

¹ Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées sur l'énergie des contributions protéiques des groupes d'aliments (%/jour), estimées à l'aide d'un modèle ANCOVA.

Les groupes d'aliments sont définis comme suit : les légumes incluent tous les légumes ainsi que les soupes ; les fruits comprennent les fruits frais, les fruits au sirop et en compote, les fruits secs et les graines ; les boissons non alcoolisées incluent les nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre), les boissons végétales (hors soja), café et

thé (y compris consommés avec du lait), hors jus de fruits 100% ; les poissons comprennent tous les produits de la mer ; les produits laitiers comprennent les yaourts, fromages frais et fromages affinés ; les pommes de terre incluent les autres tubercules ; les céréales raffinées regroupent les céréales de petit-déjeuner peu sucrées, le pain, la semoule, le riz et les pâtes ; les produits gras et sucrés (PGS) comprennent les croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel et confiture, gâteaux, chips, oléagineux salés, biscuits salés ; les fast-food incluent les sandwichs et les plats préparés tels que pizzas, hamburgers, raviolis, paninis, crêpes salées, etc. ; les produits à base de soja regroupent tofu, substituts de viande à base de soja, galettes végétales, yaourts et boissons à base de soja ; les matières grasses animales incluent le beurre et le saindoux ; les sauces comprennent la crème aigre ainsi que toutes les sauces grasses et assaisonnements prêts à l'emploi (mayonnaise, sauces à base de crème) ; les huiles correspondent aux huiles d'origine végétale ; la viande rouge inclut le bœuf et le porc.

Tableau 8 : Contributions protéiques (%/jour) des groupes d'aliments selon les clusters^{1,2,3}

Groupes d'aliments	Échantillon global	Lacté	Carné	Fast-food	Sain-poisson	Sain-végétalisé	p
	n = 29 210	n = 4 966 (17%)	n = 7 569 (26%)	n = 8 469 (29%)	n = 7 189 (25%)	n = 1 017 (3%)	
Boissons alcoolisées	0,22 (0,53)	0,16 (0,01)	0,29 (0,01)	0,22 (0,01)	0,21 (0,01)	0,20 (0,01)	< 0,0001
Boissons non alcoolisées	3,19 (4,24)	8,46 (0,05)	1,99 (0,04)	2,38 (0,04)	1,95 (0,04)	2,13 (0,11)	< 0,0001
Céréales raffinées	8,9 (6,38)	8,83 (0,09)	9,39 (0,07)	10,84 (0,07)	5,91 (0,07)	10,68 (0,19)	< 0,0001
« Fast-food »	3,64 (3,24)	3,22 (0,04)	3,31 (0,04)	4,94 (0,03)	2,73 (0,04)	3,81 (0,10)	< 0,0001
Fruits	2,41 (2,69)	1,83 (0,04)	1,98 (0,03)	2,07 (0,03)	3,35 (0,03)	4,81 (0,08)	< 0,0001
Huiles	0 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	< 0,0001
Jus de fruits	0,61 (0,91)	0,59 (0,01)	0,44 (0,01)	0,89 (0,01)	0,42 (0,01)	1,07 (0,03)	< 0,0001
Lait	2,19 (5,06)	9,68 (0,05)	0,57 (0,04)	0,87 (0,04)	0,57 (0,04)	0,31 (0,12)	< 0,0001
Légumes	5,21 (3,63)	4,00 (0,05)	4,45 (0,04)	4,61 (0,04)	6,69 (0,04)	11,55 (0,10)	< 0,0001
Légumineuses	1,41 (2,49)	0,86 (0,03)	0,95 (0,02)	1,06 (0,02)	1,71 (0,02)	8,49 (0,07)	< 0,0001
Matières grasses animales	0,08 (0,13)	0,07 (0,00)	0,07 (0,00)	0,12 (0,00)	0,08 (0,00)	0,12 (0,00)	< 0,0001
Œufs	1,6 (1,66)	1,34 (0,02)	1,36 (0,02)	1,47 (0,02)	2,25 (0,02)	1,23 (0,05)	< 0,0001
Oléagineux	2,39 (4,37)	1,23 (0,05)	1,00 (0,04)	1,60 (0,04)	4,37 (0,04)	11,00 (0,12)	< 0,0001
PGS	4,24 (3,42)	4,20 (0,05)	3,81 (0,04)	5,52 (0,04)	3,21 (0,04)	4,53 (0,10)	< 0,0001
Poissons	10,55 (7,84)	8,51 (0,10)	9,90 (0,08)	9,09 (0,08)	15,42 (0,08)	3,14 (0,23)	< 0,0001
Pommes de terre	0,46 (0,49)	0,39 (0,01)	0,59 (0,01)	0,42 (0,01)	0,41 (0,01)	0,60 (0,01)	< 0,0001
Produits à base de soja	1,62 (4,72)	0,43 (0,05)	0,42 (0,04)	0,83 (0,04)	2,56 (0,04)	16,33 (0,12)	< 0,0001
Produits céréaliers complets	5,59 (7,06)	4,26 (0,09)	2,74 (0,07)	4,91 (0,07)	9,73 (0,08)	9,93 (0,20)	< 0,0001
Produits laitiers	17,28 (10,06)	15,14 (0,13)	15,05 (0,11)	23,16 (0,10)	15,73 (0,11)	6,29 (0,29)	< 0,0001
Sauces	0,23 (0,28)	0,18 (0,00)	0,21 (0,00)	0,31 (0,00)	0,21 (0,00)	0,31 (0,01)	< 0,0001
Viande rouge	15,26 (10,16)	14,86 (0,12)	23,94 (0,10)	12,36 (0,10)	11,8 (0,10)	1,35 (0,26)	< 0,0001
Viande transformée	4,55 (3,88)	4,22 (0,05)	5,99 (0,04)	4,84 (0,04)	3,50 (0,04)	0,55 (0,12)	< 0,0001
Volaille	6,03 (5,14)	5,38 (0,07)	8,76 (0,05)	5,03 (0,05)	5,52 (0,06)	0,83 (0,15)	< 0,0001

Abréviations : PGS, Produits Gras et Sucrés.

¹ Les valeurs sont des moyennes (écart type) pour l'échantillon global, et des moyennes ajustées sur l'apport énergétique pour les contributions protéiques (erreur standard moyenne) selon les clusters (modèle ANCOVA).

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide de l'ANCOVA.

³ Les autres groupes d'aliments ayant une contribution mineure à l'apport en protéines ne sont pas représentés.

b. Caractéristiques sociodémographiques des participants selon les clusters :

- **Cluster « Lacté » :** Ce cluster (17%) compte davantage d'étudiants et d'ouvriers que la moyenne de la population, et moins de cadres, de travailleurs indépendants, d'agriculteurs et de retraités. Il compte moins d'individus à revenu élevé (<2700 e/u.c), et plus d'individus à revenu faible à moyen.
- **Cluster « Carné » :** Ce cluster (26%) compte 25% plus d'hommes que la moyenne de la population étudiée, 18 et 4 % plus que la moyenne de fumeurs réguliers et occasionnels respectivement. Ces mêmes individus ont pour 13% de plus que la moyenne une activité physique faible. S'agissant de l'IMC, ce cluster compte 38% plus de personnes en obésité et 24% plus en surpoids.
- **Cluster « Fast-food » :** Ce cluster (29%) compte plus d'étudiants, d'ouvriers et de cadres, et moins de travailleurs indépendants, d'agriculteurs et de retraités. Le pourcentage des participants de ce cluster est plus élevé dans les communautés urbaines à grande densité (>200 000 habitants). S'agissant de la consommation de tabac, ce cluster compte 11% plus de fumeurs réguliers. Ces mêmes individus ont pour 8 et 4% de plus que la moyenne une activité physique faible à modérée, contre 10.32% de moins qui pratiquent une activité élevée. S'agissant de l'IMC, ce cluster compte 13 et 9% moins de personnes en obésité et en surpoids, contre 5 et 10% plus de personnes en poids normal, et en insuffisance pondérale respectivement.
- **Cluster « Sain-poisson » :** Ce cluster (25%) compte le pourcentage le moins élevé des hommes et le plus élevé des femmes par rapport à la population totale. L'âge moyen des individus y appartenant est supérieur à la moyenne (+8 %). Ce régime est plus prisé par les individus à revenu moyen à élevé. S'agissant de l'IMC, ce cluster compte 13 et 9% moins de personnes en obésité et en surpoids, contre 5 et 10% plus de personnes en poids normal, et en insuffisance pondérale respectivement.
- **Cluster « Sain-végétalisé » :** Les individus de ce cluster (3%) ont l'âge moyen le plus bas parmi les autres clusters (-17%). Il compte les pourcentages les plus élevés des étudiants (+266%), d'agriculteurs et travailleurs indépendants (+ 136%), de chômeurs (+73%), d'ouvriers (+28%) et de cadres (18%), et le pourcentage le plus bas des retraités. Ce régime est plus prisé par les individus à faible revenu, présentant l'effectif le plus élevé (+116%), et compte le moins d'individus à revenu élevé. Il est plus répandu dans communautés urbaines à forte densité. S'agissant de l'IMC, les adeptes de ce régime sont caractérisés par la population en insuffisance pondérale la plus élevée (+196%), et les plus petits effectifs en obésité et en surpoids, soit moins de 66 et 60% que la moyenne, respectivement.

Les résultats détaillés sont présentés dans le **Tableau 9**.

Tableau 9 : Caractéristiques des participants selon les clusters, n = 29 210, étude NutriNet-Santé^{1,2}

	Échantillon global	Lacté	Carné	Fast-food	Sain-poisson	Sain-végétalisé	P
	n = 29 210	n = 4 966 (17%)	n = 7 569 (26%)	n = 8 469 (29%)	n = 7 189 (25%)	n = 1 017 (3%)	
Sexe (%)							< 0,0001
Hommes	25,26	26,12	31,56	22,80	21,17	23,50	
Femmes	74,74	73,88	68,44	77,20	78,83	76,50	
Âge (années)	53,55 (13,97)	51,95 (15,14)	54,43 (13,29)	51,17 (14,18)	57,75 (11,99)	44,67 (14,51)	< 0,0001
Profession (%)							< 0,0001
Indépendant/agriculteur	1,75	1,19	1,89	1,66	1,74	4,13	
Cadre/profession intellectuelle	21,01	20,96	20,29	23,99	17,75	24,88	
Sans emploi	9,00	8,22	8,55	8,64	9,51	15,54	
Employé/ouvrier	14,31	16,03	15,44	14,94	10,63	18,29	
Étudiant	1,93	2,80	1,33	2,35	0,75	7,08	
Professions intermédiaires	14,70	15,83	13,37	17,19	12,42	14,36	
Retraité	37,30	34,98	39,12	31,22	47,20	15,73	
Revenu mensuel par unité de consommation (%)							< 0,0001
Refus de répondre	6,05	5,82	5,64	5,76	6,68	8,06	
< 1200€/U.C.	11,56	12,18	11,07	11,61	9,70	25,07	
1200 - 1800€/ U.C.	23,11	23,80	24,34	23,45	20,87	23,60	
1800 - 2700€/ U.C.	27,50	28,21	26,69	27,29	28,91	21,83	
>2700€/ U.C.	31,78	29,98	32,26	31,89	33,86	21,44	
Niveau d'éducation (%)							< 0,0001
Primaire	2,00	2,00	2,10	1,70	2,00	1,20	
Secondaire	34,00	32,80	37,70	30,40	36,1	28,50	
Supérieur	64,00	65,20	60,2	67,90	61,9	70,30	
Lieu de résidence (%)							< 0,0001
Commune rurale	22,59	22,88	24,01	21,44	22,52	20,65	
Unité urbaine (<20,000 habitants)	15,33	15,00	16,66	14,76	15,19	12,78	
Unité urbaine (20,000 to 200,000 habitants)	18,19	18,24	17,78	18,43	18,58	16,03	
Unité urbaine (>200,000 habitants)	43,90	43,88	41,55	45,37	43,71	50,54	
Habitudes tabagiques (%)							< 0,0001
Jamais fumeur	48,78	55,84	45,18	49,88	45,95	52,11	
Ancien fumeur	40,47	35,12	42,13	38,25	45,57	36,68	
Fumeur actuel	10,75	9,04	12,68	11,88	8,49	11,21	

Activité physique (%)							< 0,0001
Faible	19,20	20,48	21,80	20,72	14,30	15,63	
Modérée	36,38	35,90	34,81	37,93	35,97	40,41	
Elevée	33,64	32,46	32,32	30,17	39,42	37,27	
Données manquantes	10,78	11,16	11,07	11,18	10,31	6,69	
Corpulence (%)							< 0,0001
Insuffisance pondérale (<18.5 kg/m ²)	4,68	4,37	2,63	5,16	5,17	13,86	
Poids normal (18.5 - 24.9 kg/m ²)	59,86	59,67	52,01	62,95	62,80	72,57	
Surpoids (25 - 29.9 kg/m ²)	25,42	25,63	31,51	23,14	23,69	10,13	
Obésité (≥ 30 kg/m ²)	10,05	10,33	13,85	8,75	8,33	3,44	
IMC (kg/m²)	24,20 (4,63)	24,28 (4,51)	25,19 (4,74)	23,87 (4,64)	23,84 (4,47)	21,79 (3,53)	< 0,0001

Abréviations : IMC, Indice de Masse Corporelle ; U.C., Unité de Consommation.

¹ Les valeurs sont des moyennes (écart-type) ou des pourcentages selon le cas.

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide d'une ANOVA ou du test du Chi².

c. Consommations des groupes d'aliments dans les clusters

Dans le cadre de cette analyse, certaines catégories alimentaires ont été redéfinies afin de mieux refléter les spécificités des comportements de consommation observés. Ainsi, les « boissons sucrées » (incluant les nectars de fruits, sirops, sodas avec ou sans sucre) ont été isolées du groupe plus large des « boissons non alcoolisées ». Par ailleurs, le groupe « viande rouge » a été scindé en deux sous-groupes : d'une part, le « bœuf », regroupant les consommations de bœuf, d'agneau et d'abats ; d'autre part, le « porc », traité comme une entité distincte.

La comparaison des consommations globales des groupes d'aliments (**Annexes 2 et 3**), en grammes par jour, entre les 5 clusters identifiés montre que :

- **Cluster « Lacté »** : présente les consommations les plus élevées pour lait (+328%) et les boissons sucrées (+26%).
- **Cluster « Carné »** : est caractérisé par la consommation de viande la plus élevée, que ce soit la viande de bœuf (+63%), de porc (+61%), de volaille (+51%) ou de viande transformée (+38%), ainsi que la consommation la plus élevée de pommes de terre (+32%) et de boissons alcoolisées (+26%).
- **Cluster « Fast-food »** : présente des consommations supérieures que les autres régimes pour les jus de fruits (+36%), les « fast-food » (+29%), les matières grasses animales (+27%), les produits laitiers (+22%), les sauces (+20%), les produits gras et sucrés (+20%) et les céréales raffinées (+13%).
- **Cluster « Sain-poisson »** : montre des consommations plus importantes de produits céréaliers complets (+73%), de poissons (+47%) et de boissons non alcoolisées (+39%).
- **Cluster « Sain-végétalisé »** : présente des consommations les plus importantes pour les produits à base de soja (+675%), les légumineuses (+398), les oléagineux (+240%), les légumes (+51%), les fruits (+38%) et les huiles (+30%).

d. Apports en nutriments dans les clusters

La comparaison des apports en nutriments entre les 5 régimes identifiés (**Annexe 4**) montre que :

Les apports totaux en protéines varient de 67 g/j dans le cluster « **Sain-végétalisé** » à 99 g/j dans le cluster « **Carné** », tandis que les apports en protéines d'origine végétale s'échelonnent de 25 g/j dans le cluster « **Carné** » à 53 g/j dans le cluster « **Sain-végétalisé** ».

Le cluster « **Lacté** » est caractérisé par des apports inférieurs à la moyenne de la population pour la quasi-totalité des nutriments. Les apports les plus importants pour ce régime, comparés aux autres

clusters, sont ceux des glucides, acides gras saturés, VitB1, B2, B5, B12, calcium, phosphore, potassium et zinc.

Le cluster « **Carné** » présente l'apport énergétique total le plus élevé en moyenne. Les apports les plus importants pour ce cluster, comparés aux autres, sont ceux des acides gras polyinsaturés de la série n-6, de la vitamine B12 et du zinc. Cependant leurs apports sont largement inférieurs à la moyenne pour tous les autres nutriments.

Le cluster « **Fast-food** » est caractérisé par les apports en nutriments les plus élevés pour les acides gras saturés et le sodium. Cependant leurs apports sont largement inférieurs à la moyenne pour tous les autres nutriments.

Les consommateurs du cluster « **Sain-poisson** » ont l'apport énergétique total le plus faible en moyenne par rapport aux autres régimes. Aussi, leurs apports sont supérieurs à la moyenne pour la quasi-totalité des nutriments. Ils ont d'ailleurs les apports les plus élevés pour les lipides, les acides gras monoinsaturés, les acides gras polyinsaturés de la série n-3, les vitamines A6 et A12, les vitamines B3 et B5, la vitamine D et le sélénium.

S'agissant du cluster « **Sain-végétalisé** », les apports sont supérieurs à la moyenne pour la quasi-totalité des nutriments. Il affiche ainsi les apports les plus élevés pour les glucides, les acides gras polyinsaturés, les acides gras polyinsaturés de la série n-6, les fibres, les vitamines B1, B6 et B9, les vitamines C, E et K, le fer, l'iode, le magnésium, le potassium, le cuivre et le manganèse.

1.2. Évolutions des consommations alimentaires : tendances générales sur huit ans

1.2.1. Cadre d'analyse

Après avoir exploré la diversité des régimes alimentaires selon la nature des apports protéiques, il apparaît essentiel de replacer ces régimes dans une dynamique temporelle. Si la typologie proposée permet de saisir la structuration des comportements alimentaires à un instant donné, elle ne renseigne pas sur leur stabilité ni sur les directions dans lesquelles ces comportements évoluent. Or, dans une perspective de sentier de durabilité (Chapitre 2, Section 1.1), comprendre les transitions à l'œuvre dans la population constitue une étape indispensable pour orienter les leviers d'action vers les groupes d'aliments les plus impliqués dans les changements.

C'est dans ce cadre que s'inscrit l'analyse des trajectoires de consommation des principaux groupes d'aliments sur la période 2014-2022. En cohérence avec l'approche « *bottom-up* » adoptée dans ce travail (Chapitre 2, Section 1.2), il s'agit ici de partir des comportements effectifs pour qualifier les grandes tendances de transition alimentaire observées en France au cours de la dernière décennie. Plusieurs signaux, déjà décrits dans la littérature, témoignent d'un infléchissement progressif vers des régimes plus végétalisés, sans pour autant que cela ne traduise une rupture massive ou homogène dans les pratiques (221–223). Des études ont par exemple mis en évidence une baisse de la consommation de la viande rouge, une hausse relative de celle de la volaille, ainsi qu'un recours accru à certains produits végétaux chez des sous-groupes spécifiques de la population (223).

Cependant, ces évolutions restent encore mal documentées dans une approche longitudinale à large échelle, tenant compte de la diversité des parcours individuels. En analysant les trajectoires de consommation pour 23 groupes alimentaires au sein de la cohorte NutriNet-Santé, cette étude vise à combler ce manque, en identifiant les leviers alimentaires porteurs de changement, les éventuelles régressions ou stagnations, ainsi que les inflexions différenciées selon les déterminants socioéconomiques. Ce travail permet ainsi de mieux situer les régimes identifiés précédemment dans une dynamique globale temporelle, et de poser les bases d'une segmentation ultérieure selon des profils de trajectoires alimentaires.

1.2.2. Méthodologie spécifique

a. Sélection de l'échantillon

La présente étude repose sur des données observationnelles longitudinales recueillies entre 2014 et 2022 auprès d'un sous-échantillon de la cohorte NutriNet-Santé. Au total, 17 187 participants ayant renseigné un questionnaire de fréquence alimentaire spécifique à l'origine biologique des aliments (Org-FFQ) lors d'au moins deux campagnes de collecte (2014, 2018 et/ou 2022) ont été inclus. À partir

d'une population initiale de 29 195 individus ayant complété l'Org-FFQ en 2014, seuls ceux disposant d'un suivi en 2018 et/ou en 2022 ont été retenus, afin de garantir une analyse longitudinale des trajectoires. Cette stratégie permet de prendre en compte les données manquantes dans le cadre des modèles à effets mixtes (Chapitre 3, Section 4.4), en autorisant la modélisation des trajectoires de consommation dès lors qu'au moins deux points de suivi sont disponibles. Les participants ayant renseigné le questionnaire en 2018 et/ou 2022 sans participation préalable en 2014 ont été exclus de l'analyse.

Le diagramme de flux de sélection de l'échantillon est illustré dans la **Figure 28** ci-dessous.

Les participants retenus ne présentaient aucune donnée manquante concernant les variables sociodémographiques, à l'exception des données sur les revenus mensuels, dont la déclaration n'était pas obligatoire. Par ailleurs, les individus résidant hors du territoire métropolitain ont été exclus afin de permettre l'application de la procédure de pondération décrite ci-après. Les participants identifiés comme sous-déclarants ou sur-déclarants en termes d'apport énergétique ont également été exclus de l'analyse comme expliqué précédemment (Chapitre 3, Section 2.4.3).

Afin d'améliorer la représentativité de l'échantillon de volontaires de la cohorte NutriNet-Santé, un redressement a été effectué par pondération selon la méthode d'ajustement itératif des marges, décrite plus haut (Chapitre 3, Section 4.2).

La population d'étude a été décrite à l'aide de la moyenne et de l'écart-type pour les variables continues, et des effectifs et pourcentages pour les variables catégorielles. Le test du Chi² de Pearson a été utilisé pour comparer les variables catégorielles, tandis qu'une analyse de variance (ANOVA) a été appliquée pour les variables continues (Chapitre 3, Section 4.1.1).

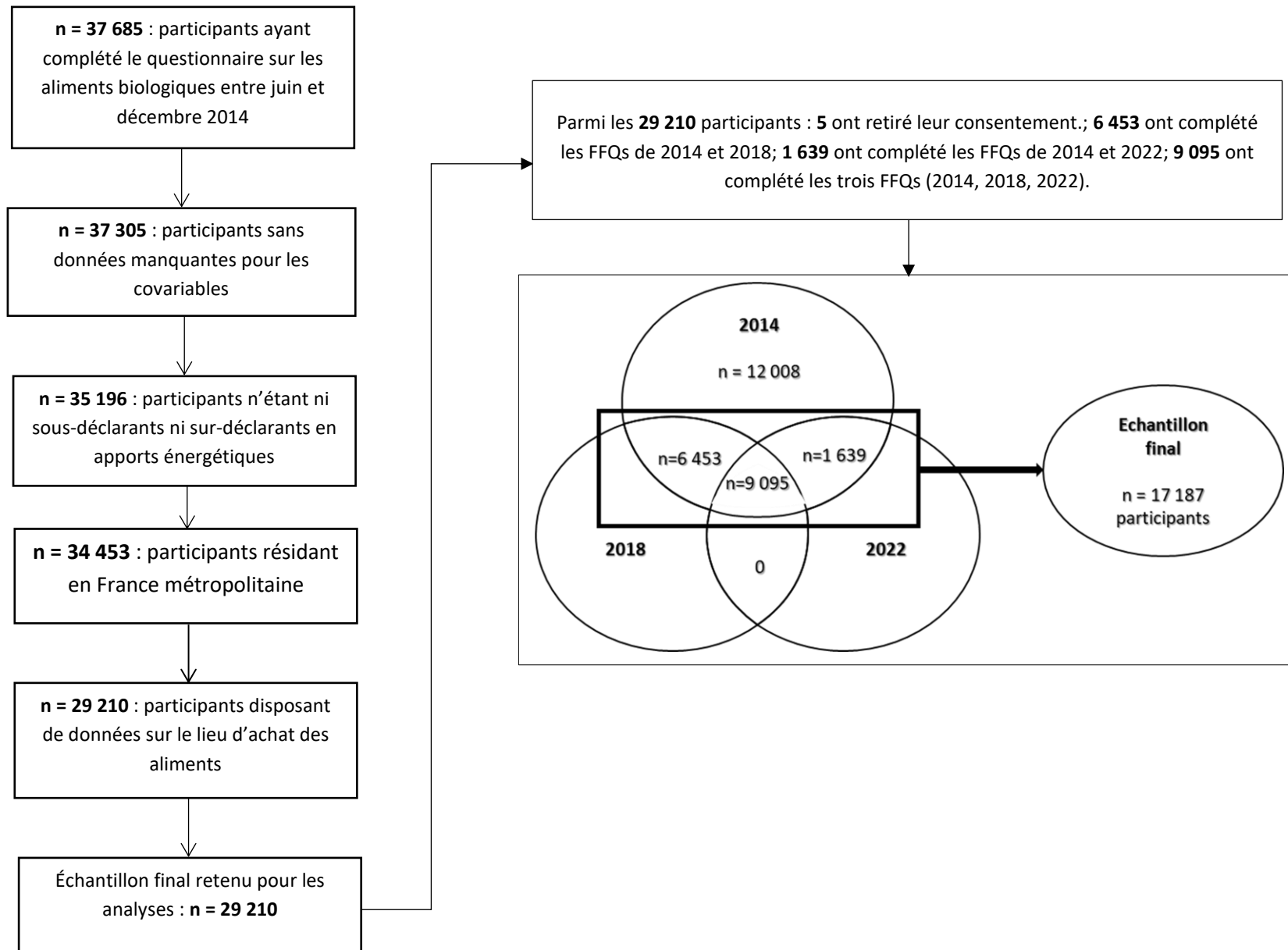


Figure 28 : Sélection de l'échantillon de l'étude

b. Description des trajectoires d'évolution des consommations alimentaires

L'évolution de la consommation de 23 groupes d'aliments, dont la composition est différente de l'étude précédente et détaillée dans le **Tableau 10** ci-après, a été analysée à l'aide de modèles mixtes (Chapitre 3, Section 4.4) pour mesures répétées. Ces modèles ont été ajustés pour le sexe, l'âge et l'apport énergétique total.

Le modèle général spécifié pour chaque groupe d'aliments s'écrit comme suit :

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 T_{ij} + \beta_2 S_i + \beta_3 A_i + \beta_4 E_{ij} + \beta_5 (T_{ij} \times S_i) + \beta_6 T_{ij}^2 + \mu_i + \varepsilon_{ij}$$

Où :

Y_{ij} : désigne la consommation du groupe d'aliments pour l'individu i au temps j .

T_{ij} : représente la variable temporelle (effet fixe) pour l'individu i au temps j .

S_i : correspond au sexe (effet fixe) de l'individu i .

A_i : est l'âge à l'inclusion (effet fixe) de l'individu i .

E_{ij} : indique l'apport énergétique total (mesure répétée) de l'individu i au temps j .

μ_i : regroupe les effets aléatoires de l'individu i , incluant au minimum l'interception et la pente

ε_{ij} : est le terme d'erreur résiduelle pour l'individu i au temps j .

Le temps a été modélisé à la fois comme un effet fixe, afin de capter l'évolution moyenne au sein de l'ensemble de la population, et comme un effet aléatoire, pour tenir compte de la variabilité interindividuelle dans les trajectoires temporelles. Une interaction entre le temps et le sexe a été intégrée au modèle afin d'estimer d'éventuelles différences d'évolution entre les hommes et les femmes. Le terme polynomial en temps² a été introduit pour capter une éventuelle non-linéarité dans les trajectoires. En raison de l'hétérogénéité des intervalles entre les différentes vagues de collecte, la structure de corrélation des mesures répétées a été modélisée à l'aide de la loi de puissance spatiale SP(POW)(temps) de la procédure MIXED de SAS. Différentes structures de matrice variance-covariance des effets aléatoires ont été testées, et la structure optimale (non structurée) a été retenue.

Afin d'évaluer l'évolution globale de la qualité des profils alimentaires au fil du temps, nous avons également calculé l'indicateur cDQI (Comprehensive Diet Quality Index), ainsi que ses deux composantes animale et végétale : l'aDQI (Animal-based DQI) et le pDQI (Plant-based DQI), reflétant respectivement la qualité nutritionnelle des aliments d'origine animale et végétale. Cette approche permet une classification pertinente des aliments en catégories « favorables » et « défavorables » à la santé (Chapitre 3, Section 3.1.2).

Des modèles à effets mixtes (Chapitre 3, section 4.4) ont été utilisés pour modéliser les trajectoires de ces indicateurs, et ont été spécifiés comme suit :

$$cDQI_{i,j} = \beta_0 + \beta_1 T_{i,j} + \beta_2 S_i + \beta_3 E_{i,j} + \beta_4 (T_{i,j} \times S_i) + \mu_i + \varepsilon_{i,j}$$

Ce même modèle a été reproduit pour cDQI et aDQI.

Tableau 10 : Composition des 23 groupes d'aliments¹ considérés dans l'étude

Groupe d'aliments	Composition
Beurre	Beurre (inclus dans les matières grasses et sauces grasses)
Boisson alcoolisées	Vins (rouge, blanc, rosé), bières, spiritueux (vodka, whisky, rhum), apéritifs alcoolisés
Boissons chaudes	Thé, infusions, lait consommé avec thé ou café
Boissons sucrées	Nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre), boissons végétales
Céréales raffinées	Céréales de petit déjeuner pauvres en sucre, pain, semoule, riz, pâtes
Fruits	Fruits frais, fruits en sirop et compotes, fruits secs, graines
Fruits à coque	Amandes, noix, noisettes, noix de cajou, pistaches, pignons (non salés et non transformés)
Jus de fruits	Jus de fruits 100 % pur jus, sans sucres ajoutés, hors nectars
Lait	Lait consommé seul (entier, demi-écrémé, écrémé), boissons lactées non aromatisées
Légumes	Tous les légumes et soupes
Légumineuses	Lentilles, pois chiches, haricots rouges, haricots blancs, fèves (hors préparations transformées ou mélangées au soja)
Matières grasses végétales	Huiles végétales, vinaigrettes prêtes à l'emploi, mayonnaise, sauces à base de crème, crème aigre, toutes sauces à base de matières grasses
Œufs	Œufs entiers, omelettes, œufs durs, œufs brouillés (hors plats cuisinés)
PGSS (Produits Gras, Salés ou Sucrés)	Croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel et confiture, gâteaux, chips, oléagineux salés, biscuits salés
Poissons	Poissons gras et maigres, mollusques, crustacés
Pommes de terre	Pommes de terre et autres tubercules
PPC (Plats Préparés et/ou Composés)	Sandwichs, plats préparés comme pizza, hamburger, raviolis, panini, crêpes salées, etc.
Produits céréaliers complets	Pain complet, riz complet, pâtes complètes, flocons d'avoine nature, céréales complètes sans sucre ajouté
Produits laitiers	Yaourts, fromages frais, fromages
Substituts végétaux	Tofu, substituts de viande à base de soja, galettes végétales, yaourts à base de soja, lait à base de soja
Viande transformée	Jambon, saucisses, lardons, charcuterie, viande en conserve, viande panée industrielle
Viandes rouges	Bœuf, porc, abats, agneau
Volaille	Poulet, dinde, canard, pintade (hors panures industrielles, fast-food et charcuterie de volaille)

¹ Il est à noter que ces 23 groupes sont différents de ceux modélisés dans la typologie précédente

1.2.3. Résultats principaux

a. Caractéristiques de l'échantillon

Après pondération, la répartition selon le sexe était équilibrée entre les hommes (48 %) et les femmes (52 %), avec un âge moyen de 48 ans (écart-type = 16) (**Tableau 11**). Une comparaison détaillée entre les répondants et les non-répondants est présentée dans le tableau en **Annexe 5**.

Tableau 11 : Caractéristiques des participants (n = 17 187), étude NutriNet-Santé^{1,2}

	Échantillon total	Femmes	Hommes	P
Effectif non-pondéré	n = 17 187	n = 12 479 (72,61%)	n = 4 708 (27,39%)	
Effectif pondéré	n = 17 187	n = 8 999 (52,36%)	n = 8 188 (47,64%)	
Âge (années)	48,38 (15,97)	48,81 (13,68)	47,90 (20,83)	< 0,0001
Niveau d'éducation				< 0,0001
Primaire	59,92	58,59	61,39	
Secondaire	15,19	15,88	14,43	
Supérieur	24,89	25,53	24,19	
Profession (%)				< 0,0001
Indépendant/agriculteur	4,45	2,42	6,67	
Cadres / professions intellectuelles	9,10	6,74	11,69	
Chômeur	8,85	12,63	4,69	
Employé / ouvrier	31,19	30,53	31,90	
Étudiant	4,49	4,60	4,40	
Professions intermédiaires	14,50	14,47	14,53	
Retraité	27,42	28,61	26,12	
Revenu mensuel par unité de consommation (%)				< 0,0001
Refus de répondre	6,58	8,49	4,48	
< 1200€/U.C.	24,42	27,64	20,89	
1200 - 1800€/ U.C.	30,91	28,53	33,52	
1800 - 2700€/ U.C.	23,39	22,11	24,80	
>2700€/ U.C.	14,70	13,23	16,31	
Lieu de résidence (%)				< 0,0001
Commune rurale	23,99	25,62	22,19	
Unité urbaine (<20,000 habitants)	18,63	16,50	20,95	
Unité urbaine (20,000 to 200,000 habitants)	16,80	18,30	15,17	
Unité urbaine (>200,000 habitants)	40,58	39,57	41,70	
Habitudes tabagiques (%)				< 0,0001
Jamais fumeur	50,16	55,60	44,17	
Ancien fumeur	39,02	33,71	44,85	
Fumeur actuel	10,83	10,69	10,98	
Activité physique (%)				< 0,0001
Faible	20,30	20,26	20,35	
Modérée	31,16	31,68	30,59	
Élevée	32,89	33,53	32,18	
Données manquantes	15,65	14,53	16,88	
Corpulence (%)				< 0,0001
Insuffisance pondérale (<18.5 kg/m ²)	3,70	5,94	1,24	
Poids normal (18.5 - 24.9 kg/m ²)	55,75	58,55	52,67	
Surpoids (25 - 29.9 kg/m ²)	26,90	21,30	33,06	
Obésité (≥ 30 kg/m ²)	13,64	14,21	13,03	

IMC (kg/m²)	24,94 (4,99)	24,54 (4,44)	25,38 (6,17)	< 0,0001
-------------------------------	--------------	--------------	--------------	----------

Abréviations : IMC, Indice de Masse Corporelle ; U.C., Unité de Consommation.

¹ Les valeurs sont des moyennes (écart-type) ou des pourcentages selon le cas. Toutes les données sont pondérées.

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide d'une ANOVA ou du test du Chi².

b. Évolution globale de l'alimentation sur huit ans

Des modifications significatives des habitudes de consommation ont été observées au sein de l'ensemble de la population au cours des huit dernières années, pour la majorité des 23 groupes d'aliments étudiés (**Figure 29, Tableau 12 et Annexe 6**). Les diminutions les plus marquées ($p < 0,01$) concernaient les jus de fruits (-40 %), les viandes rouges (-19 %), les céréales raffinées (-18 %), les boissons sucrées (-15 %), la volaille (-12 %), le lait (-12 %), les boissons alcoolisées (-12 %) et le poisson (-6 %).

À l'inverse, les hausses les plus notables ($p < 0,01$) concernaient le beurre (+100 %), les fruits à coque (+59 %), les œufs (+39 %), la viande transformée (+35 %), les substituts végétaux (+22 %), les légumineuses (+22 %), les Plats Préparés et/ou Composés (PPC) (+16 %) ainsi que les produits céréaliers complets (+7 %). La consommation de légumes (+4 %), de fruits (+4 %) et de produits gras salés ou sucrés (PGSS) (+3 %) a légèrement augmenté ($p < 0,01$), tandis que celle des fruits (+2 %), des boissons chaudes (+2 %) et des pommes de terre (+1 %) est restée relativement stable ($p < 0,01$). En revanche, aucune variation significative n'a été observée pour les produits laitiers ($p \approx 0,85$) ni pour les matières grasses végétales ($p \approx 0,36$).

En cohérence avec l'augmentation de la consommation d'aliments favorables à la santé, une hausse progressive du score cDQI a été observée au fil du temps ($p < 0,01$). Il en allait de même pour les composantes animales (aDQI) et végétales (pDQI) du régime alimentaire. Il convient de souligner que ces scores étaient systématiquement plus élevés chez les femmes que chez les hommes (**Figure 29**).

c. Évolutions alimentaires différenciées selon le sexe

Les niveaux de consommation de référence en 2014 étaient différents selon le sexe (**Figure 29, Tableau 12 et Annexe 6**). Les femmes présentaient des niveaux de consommation plus élevés que les hommes pour plusieurs groupes d'aliments considérés comme favorables à la santé ($p < 0,01$), notamment les fruits à coque (+85 % par rapport aux hommes), les fruits (+40 %), les matières grasses végétales (+34 %), les légumes (+25 %) et les produits céréaliers complets (+10 %).

À l'inverse, les hommes consommaient davantage de viandes rouges (+23 % par rapport aux femmes ; $p < 0,01$), d'aliments à forte densité énergétique tels que les pommes de terre (+35 % ; $p < 0,01$) et les

céréales raffinées (+27 %; $p<0,01$), de plats préparés et/ou composés (+15 %; $p<0,01$), de produits gras salés ou sucrés (+7 %; $p<0,01$) ainsi que de boissons alcoolisées (+119 %; $p<0,01$).

Par ailleurs, l'évolution des consommations dans le temps était également différente selon le sexe (**Figure 29, Tableau 12 et Annexe 6**). Une divergence croissante a été observée pour la consommation de viandes transformées, avec une augmentation marquée chez les hommes (l'écart est passé de +7 % en 2014 à +30 % en 2022, au détriment des femmes ; $p<0,01$). De plus, la diminution de la consommation de boissons sucrées a été plus prononcée chez les femmes (l'écart est passé de +16 % en 2014 à +38 % en 2022, avec une consommation plus élevée chez les hommes ; $p\approx 0,01$).

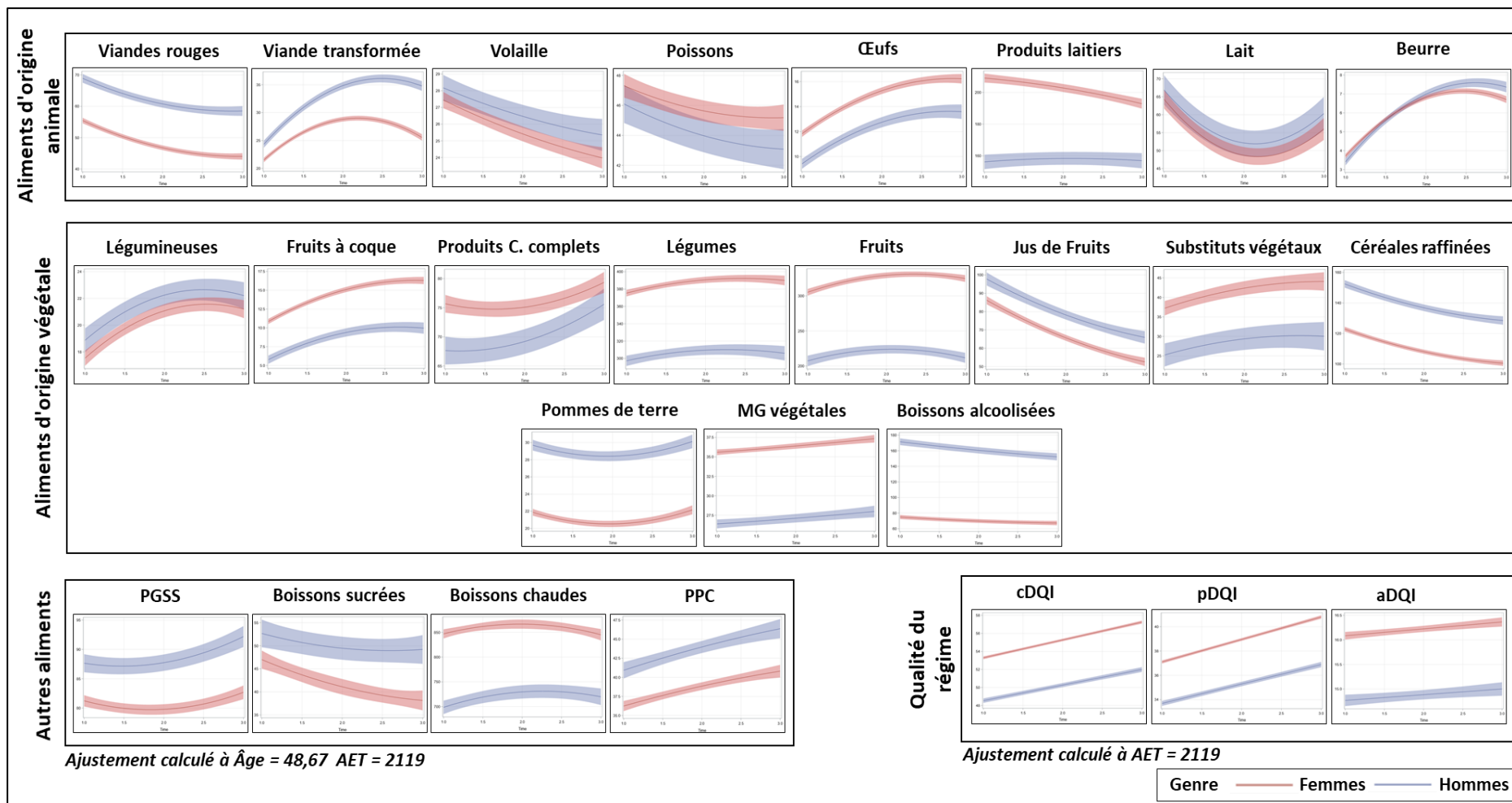


Figure 29 : Trajectoires d'évolution de la consommation des 23 groupes d'aliments et de la qualité de l'alimentation (2014 à 2022), n = 17 187, étude NutriNet-Santé^{1,2,3}

Les groupes d'aliments sont définis comme suit : La viande rouge comprend le bœuf, le porc, les abats et l'agneau ; Les produits laitiers incluent les yaourts, fromages frais et fromages affinés ; Les substituts animaux comprennent le tofu, les substituts de viande à base de soja et les galettes végétales, les yaourts et boissons à base de soja ; Les légumes incluent tous les légumes ainsi que les soupes ; Les fruits comprennent les fruits frais, les fruits au sirop et en compote, les fruits secs et les graines ; Les poissons

incluent les poissons gras et maigres, les mollusques et les crustacés ; Les pommes de terre incluent les autres tubercules ; Les céréales raffinées comprennent les céréales de petit-déjeuner peu sucrées, le pain, la semoule, le riz et les pâtes ; Les produits gras, sucrés, salés (PGSS) incluent les croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel et confiture, gâteaux, chips, oléagineux salés, biscuits salés ; Les plats préparés et/ou composés (PPC) incluent les sandwichs, les plats préparés tels que pizzas, hamburgers, raviolis, paninis, crêpes salées, etc. ; Les matières grasses végétales incluent les huiles végétales et les assaisonnements prêts à l'emploi comme les sauces à base de mayonnaise ou de crème, la crème aigre et toutes les sauces grasses ; Les boissons chaudes comprennent le thé, les infusions, le lait consommé avec le thé ou le café ; Les boissons sucrées incluent les nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre), et boissons végétales.

¹ Abréviations : AET, apport énergétique total ; Produits C. complets, Produits céréaliers complets ; MG végétales, matières grasses végétales ; PGSS, produits gras sucrés et/ou salés ; PPC, plats préparés ou composés ; cDQI, Comprehensive Diet Quality Index (indice global de qualité de l'alimentation) ; pDQI, indice de qualité d'alimentation végétale ; aDQI, indice de qualité d'alimentation animale.

² Pour les 23 groupes d'aliments, les courbes sont fournies pour le profil suivant : âge = 48,67 ans et AET = 2119 kcal/j ; pour les indices de qualité alimentaire, les courbes sont fournies pour un AET = 2119 kcal/j.

³ L'axe des abscisses représente le temps (1 = 2014 ; 2 = 2018 ; 3 = 2022), et l'axe des ordonnées représente la consommation g/j.

Tableau 12 : Consommation des groupes d'aliments au fil du temps (2014-2022), n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}

Groupes d'aliments	Echantillon total			Hommes			Femmes		
	2014	2018	2022	2014	2018	2022	2014	2018	2022
Beurre	3,47 (3,37;3,56)	7,15 (7,01;7,29)	6,923 (6,76;7,07)	3,25 (3,09;3,41)	7,47 (7,23;7,70)	7,12 (6,86;7,38)	3,68 (3,58;3,78)	6,84 (6,69;6,98)	6,72 (6,55;6,89)
Boissons alcoolisées	128,16 (126,08;130,24)	122,1 (119,92;124,28)	112,9 (110,64;115,17)	176,03 (172,44;179,62)	167,08 (163,33;170,84)	153,95 (150,08;157,82)	80,29 (78,097;82,485)	77,12 (74,839;79,405)	71,86 (69,417;74,313)
Boissons chaudes	767,17 (758,20;776,14)	796,5 (787,69;805,30)	781,7 (770,72;792,68)	711,84 (696,90;726,78)	736,32 (721,68;750,96)	736,9 (718,70;755,11)	822,49 (812,32;832,67)	856,67 (846,72;866,62)	826,5 (814,00;839,00)
Boissons sucrées	43,01 (41,35;44,67)	38,23 (36,30;40,17)	36,63 (35,04;38,22)	46,23 (43,37;49,09)	43,29 (39,97;46,61)	42,49 (39,77;45,21)	39,79 (38,04;41,54)	33,18 (31,15;35,20)	30,77 (29,05;32,49)
Céréales raffinées	125,85 (124,18;127,52)	110,54 (109,40;111,69)	102,77 (101,05;104,48)	140,7 (137,83;143,57)	125,51 (123,53;127,49)	117,25 (114,34;120,17)	110,99 (109,23;112,75)	95,58 (94,385;96,778)	88,28 (86,448;90,129)
Fruits	276,40 (272,32;280,49)	293,65 (289,32;297,98)	288,37 (284,34;292,41)	229,9 (222,87;236,94)	238,11 (230,68;245,54)	235,33 (228,46;242,21)	322,9 (318,59;327,21)	349,18 (344,65;353,71)	341,42 (337,05;345,78)
Fruits à coque	8,4 (8,122;8,685)	11,49 (11,14;11,84)	13,38 (12,94;13,81)	5,89 (5,412;6,384)	8,32 (7,715;8,929)	10,22 (9,489;10,95)	10,9 (10,61;11,20)	14,66 (14,29;15,03)	16,53 (16,06;17,00)
Jus de fruits	85,76 (83,86;87,66)	68,07 (66,35;69,79)	51,66 (50,10;53,22)	91,61 (88,35;94,88)	74,06 (71,11;77,01)	58,16 (55,50;60,82)	79,9 (77,90;81,91)	62,08 (60,28;63,88)	45,16 (43,47;46,84)
Lait	58,86 (56,62;61,09)	48,03 (45,67;50,40)	51,58 (47,40;55,77)	60,33 (56,47;64,18)	50 (45,93;54,08)	53,57 (46,47;60,67)	57,38 (55,02;59,75)	46,06 (43,58;48,55)	49,59 (45,11;54,07)
Légumes	351,79 (348,26;355,33)	358,51 (354,59;362,42)	365,73 (361,16;370,30)	312,92 (306,89;318,94)	315,04 (308,39;321,69)	324,38 (316,73;332,04)	390,66 (386,80;394,53)	401,98 (397,76;406,19)	407,07 (401,96;412,19)
Légumineuses	16,47 (15,97;16,97)	18,96 (18,47;19,46)	20,03 (19,53;20,53)	17,19 (16,33;18,05)	19,29 (18,43;20,15)	20,47 (19,62;21,33)	15,75 (15,22;16,27)	18,64 (18,12;19,16)	19,59 (19,05;20,13)
MG végétales	30,67 (30,38;30,97)	30,9 (30,54;31,25)	32,28 (31,88;32,68)	26,21 (25,70;26,72)	26,03 (25,42;26,64)	27,75 (27,07;28,42)	35,14 (34,82;35,45)	35,76 (35,39;36,14)	36,82 (36,39;37,25)
Œufs	11,18 (10,99;11,37)	14,23 (13,94;14,52)	15,52 (15,20;15,85)	10,13 (9,807;10,45)	12,93 (12,44;13,43)	14,44 (13,89;14,98)	12,23 (12,03;12,43)	15,53 (15,22;15,83)	16,61 (16,26;16,96)
PGSS	78,98 (78,13;79,83)	80,17 (79,17;81,18)	81,33 (80,55;82,11)	81,61 (80,15;83,07)	84,56 (82,84;86,28)	85,22 (83,90;86,55)	76,36 (75,44;77,27)	75,79 (74,71;76,86)	77,43 (76,56;78,30)
Poissons	47,88 (47,19;48,57)	47,82 (47,18;48,46)	45,22 (44,39;46,04)	47,17 (45,98;48,36)	47,27 (46,16;48,38)	44,13 (42,73;45,53)	48,59 (47,86;49,32)	48,37 (47,70;49,04)	46,3 (45,41;47,19)
Pommes de terre	24,98 (24,64;25,31)	24,66 (24,29;25,02)	25,18 (24,74;25,62)	28,71 (28,13;29,29)	28,83 (28,21;29,45)	29,08 (28,34;29,83)	21,25 (20,90;21,60)	20,48 (20,10;20,86)	21,28 (20,80;21,75)
PPC	33,32 (32,57;34,06)	37,03 (36,59;37,48)	38,5 (37,99;39,01)	35,62 (34,38;36,86)	40,01 (39,30;40,72)	40,93 (40,12;41,74)	31,01 (30,19;31,84)	34,06 (33,54;34,58)	36,07 (35,44;36,70)
Produits céréaliers complets	68,01 (66,77;69,26)	70,38 (69,02;71,75)	72,64 (71,12;74,16)	64,72 (62,56;66,87)	67,17 (64,81;69,52)	71,09 (68,51;73,68)	71,31 (69,99;72,63)	73,6 (72,17;75,04)	74,18 (72,54;75,82)

Dynamiques alimentaires en France entre 2014 et 2022 : typologies et trajectoires

Produits laitiers	182,58 (180,45;184,72)	177,39 (174,70;180,07)	175,85 (173,38;178,32)	156,66 (152,97;160,35)	155,84 (151,23;160,45)	157,64 (153,44;161,85)	208,51 (206,25;210,76)	198,93 (196,12;201,74)	194,06 (191,39;196,73)
Substituts végétaux	26,11 (24,39;27,82)	32,21 (30,31;34,11)	31,78 (29,41;34,15)	22,22 (19,39;25,06)	25,23 (22,08;28,39)	26,28 (22,37;30,19)	29,99 (28,02;31,96)	39,19 (37,05;41,34)	37,28 (34,57;39,99)
Viandes rouges	61,36 (60,6;62,12)	54,09 (53,33;54,86)	49,87 (49,11;50,63)	67,63 (66,33;68,93)	61,54 (60,24;62,85)	56,47 (55,17;57,77)	55,09 (54,28;55,89)	46,65 (45,84;47,45)	43,27 (42,44;44,10)
Viandes transformées	21,59 (21,27;21,92)	29,4 (28,99;29,81)	29,1 (28,63;29,58)	22,37 (21,81;22,93)	33,18 (32,48;33,89)	32,86 (32,05;33,66)	20,82 (20,47;21,16)	25,62 (25,18;26,05)	25,35 (24,84;25,87)
Volaille	25,56 (25,15;25,97)	23,24 (22,80;23,68)	22,52 (21,94;23,10)	25,86 (25,15;26,57)	23,8 (23,04;24,56)	23,15 (22,18;24,13)	25,26 (24,83;25,69)	22,69 (22,23;23,15)	21,89 (21,27;22,52)

¹ Abréviations : MG, Matières grasses ; PGSS, Produits Gras Salés et/ou Sucrés; PPC, Plats Préparés et/ou Composés.

² Les valeurs sont les moindres carrés moyens (et IC) des consommations ajustées (sur le sexe, l'âge et l'apport énergétique total).

1.3. Profils de trajectoires alimentaires : des dynamiques différenciées au sein de la population

1.3.1. Cadre d'analyse

L'analyse longitudinale menée dans la première partie de ce travail a permis de documenter, au niveau de la population française, les grandes tendances d'évolution de la consommation alimentaire au cours des huit dernières années. Si ces résultats permettent de mieux cerner la direction globale de la transition alimentaire, ils masquent cependant l'hétérogénéité des parcours individuels et la coexistence de dynamiques contrastées au sein de la population.

Dans la continuité de la démarche « *bottom-up* » adoptée tout au long de cette thèse (Chapitre 2, Section 1.2), il apparaît essentiel de dépasser les moyennes populationnelles pour identifier des profils de trajectoires différenciés. Cette approche, fondée sur les comportements observés au fil du temps, permet de mieux caractériser les sous-groupes d'individus engagés dans des trajectoires spécifiques, qu'elles soient favorables ou non du point de vue de la durabilité. Elle répond également à un besoin croissant de segmentation, afin de développer des stratégies ciblées adaptées à la diversité des situations sociales, économiques et culturelles.

Dans ce contexte, cette étude vise à modéliser des profils spécifiques de trajectoires alimentaires à partir des données longitudinales de la cohorte NutriNet-Santé (2014-2022). En identifiant des groupes d'individus partageant des dynamiques similaires d'évolution de leurs consommations alimentaires, cette analyse permet de mieux comprendre les formes contemporaines de la transition alimentaire en France. Elle s'inscrit dans une perspective exploratoire visant à documenter les parcours alimentaires réels, en intégrant la complexité des comportements de consommation sur le long terme.

1.3.2. Méthodologie spécifique

a. Classification des groupes d'aliments

Dans le cadre de la présente étude, une classification en 25 groupes d'aliments a été établie sur la base de leur valeur nutritionnelle, de leur composition, ainsi que des émissions de gaz à effet de serre associées à leur production, comme décrit dans le **Tableau 13** ci-dessous.

Tableau 13 : Composition des 25 groupes d'aliments considérés dans l'étude

Groupe d'aliments	Composition
Abats	Abats
Beurre	Beurre (inclus dans les matières grasses et sauces grasses)
Boissons alcoolisées	Vins (rouge, blanc, rosé), bières, spiritueux (vodka, whisky, rhum), apéritifs alcoolisés

Boissons chaudes	Thé, infusions, lait consommé avec le thé ou le café
Boissons sucrées	Nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre), boissons végétales (hors soja)
Céréales raffinées	Céréales de petit-déjeuner peu sucrées, pain, semoule, riz, pâtes
Fruits	Fruits frais, fruits au sirop et compotes, fruits secs, graines
Fruits à coque	Amandes, noix, noisettes, noix de cajou, pistaches, pignons (non salés et non transformés)
Huiles	Huiles d'origine végétale, vinaigrettes prêtes à l'emploi, mayonnaise, sauces à base de crème, crème aigre, toutes sauces grasses
Jus de fruits	Jus de fruits 100 % pur jus, sans sucres ajoutés, hors nectars
Lait	Lait consommé seul (entier, demi-écrémé, écrémé), boissons lactées non aromatisées
Légumes	Tous les légumes et soupes
Légumineuses	Lentilles, pois chiches, haricots rouges, haricots blancs, fèves (hors préparations transformées ou mélangées au soja)
Œufs	Œufs entiers, omelettes, œufs durs, œufs brouillés (hors plats cuisinés)
PGSS (Produits Gras Salés ou Sucrés)	Croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel et confitures, gâteaux, chips, oléagineux salés, biscuits salés
Poissons	Poissons gras et maigres, mollusques, crustacés
Pommes de terre	Pommes de terre et autres tubercules
Porc	Porc
PPC (Plats préparés/composés)	Sandwichs, plats préparés tels que pizzas, hamburgers, raviolis, paninis, crêpes salées, etc.
Produits céréaliers complets	Pain complet, riz complet, pâtes complètes, flocons d'avoine nature, céréales complètes sans sucre ajouté
Produits laitiers	Yaourts, fromages frais, fromages
Substituts végétaux	Tofu, substituts de viande à base de soja, galettes végétales, yaourts au soja, lait de soja
Viande de ruminants	Bœuf et agneau
Viande transformée	Jambon, saucisses, lardons, charcuterie, viande en conserve, viande panée industrielle
Volaille	Poulet, dinde, canard, pintade (hors panures industrielles, fast-food et charcuterie de volaille)

b. Modélisation de la typologie des trajectoires de transition alimentaire

Cette étude s'appuie sur des données observationnelles longitudinales recueillies entre 2014 et 2022 auprès d'un sous-échantillon de participants à la cohorte NutriNet-Santé. La construction des profils de trajectoires de consommation alimentaire s'est déroulée en trois étapes principales.

- La première étape a consisté à élaborer une base de données longitudinale synthétisant les informations individuelles de consommation pour les 25 groupes d'aliments. Une analyse en composantes principales (ACP) a d'abord été réalisée sur ces 25 groupes, en se fondant sur l'échantillon de référence de 2014 (n = 29 195). Les individus identifiés comme sous-déclarants ou sur-déclarants de leur apport énergétique ont été exclus, conformément aux critères expliqués

précédemment (Chapitre 3, Section 2.4.3). Cet échantillon a été retenu afin de saisir la diversité des profils alimentaires au sein de la population. L'ACP a permis d'identifier de nouveaux axes (composantes principales) résumant les grandes tendances alimentaires observées (Chapitre 3, Section 4.3.1).

Les données de consommation de 2014 ont été ajustées pour l'apport énergétique total (AET) selon la méthode des résidus (Chapitre 3, Section 4.1.2), puis pondérées à l'aide de la méthode d'ajustement itératif des marges, sur la base des données du recensement national de 2009, comme détaillé précédemment (Chapitre 3, Section 4.2). Un facteur de pondération a ainsi été attribué à chaque individu, reflétant sa probabilité d'inclusion dans un échantillon représentatif.

- La deuxième étape a consisté à projeter les données alimentaires de 2018 et 2022 dans l'espace factoriel défini par l'ACP de 2014, à partir de la matrice des vecteurs propres (poids des composantes) obtenue (Chapitre 3, Section 4.3.2). Cette procédure garantit la comparabilité des scores de profils alimentaires entre les différentes années. Concrètement, pour chaque individu et à chaque date de mesure, les apports en groupes d'aliments ajustés sur l'énergie ont été multipliés par les poids issus de l'ACP de 2014 afin de calculer les scores individuels. À cette étape, un sous-échantillon de $n = 17\ 187$ participants a été sélectionné parmi l'échantillon initial ($n = 29\ 195$), comprenant ceux ayant complété le questionnaire Org-FFQ en 2018 et/ou 2022. La **Figure 28** décrit plus en détail le diagramme de flux de sélection de l'échantillon.

- Enfin, la troisième étape a porté sur la modélisation des profils de trajectoires de consommation alimentaire. À partir des scores de l'ACP obtenus pour chaque individu et chaque temps (2014, 2018 et/ou 2022), une modélisation multi-trajectoire par classes latentes (Group-Based Multi-Trajectory Modeling, GBMTM) a été appliquée pour identifier les profils. Un modèle de premier degré, ajusté sur l'âge, le sexe et l'AET, a été retenu. Les détails méthodologiques complémentaires concernant la modélisation sont étayés dans le chapitre 3, section 4.3.3.b.

c. Description et comparaison des profils de trajectoires

Les profils identifiés ont été décrits selon les caractéristiques sociodémographiques des participants, en présentant la moyenne et l'écart-type pour les variables continues, et les pourcentages pour les variables catégorielles. Les comparaisons entre les profils ont été réalisées à l'aide du test du Chi² de Pearson pour les variables catégorielles et du test ANOVA pour les variables continues (Chapitre 3, Section 4.1.1).

Les évolutions de consommation des 25 groupes d'aliments dans les profils, ont été analysées à l'aide de modèles mixtes multivariés (Chapitre 3, Section 4.4). Pour chaque modèle, la variable

dépendante correspondait à la consommation d'un groupe d'aliments donné. Les variables indépendantes incluaient le profil de trajectoire, le temps, leur interaction, ainsi que le sexe, l'âge et l'apport énergétique total (AET). Des effets aléatoires ont été intégrés afin de tenir compte des mesures répétées au sein des individus.

Les moyennes ajustées des moindres carrés (LSmeans) des consommations alimentaires ajustées sur le sexe, l'âge et l'AET, ont été estimées pour chaque profil de trajectoire aux trois temps d'observation : 2014, 2018 et 2022. Pour permettre les comparaisons entre profils, les variations en pourcentage à l'inclusion pour chaque groupe d'aliments ont été calculées par rapport au profil de référence (**P0**), tel que défini dans les résultats ci-après. En parallèle, les variations dans le temps en pourcentage au sein de chaque profil ont été estimées afin d'évaluer les évolutions de consommation sur l'ensemble de la période d'étude (2014-2022).

1.3.3. Résultats principaux

Six profils de trajectoires de consommation alimentaire (**P**) ont été identifiés. Les caractéristiques des participants appartenant à ces six profils sont présentées dans le **Tableau 14**.

Le profil **P0** (35 % de la population, 56 % de femmes, âge moyen = 48 ans [ET = 15]) constitue le groupe majoritaire, avec des caractéristiques socioéconomiques similaires à celles de l'ensemble de l'échantillon (**Tableau 14**). Ce profil se caractérise par des niveaux de consommation initiale proches de la moyenne de la population pour la quasi-totalité des groupes d'aliments. En raison de cette similarité sociodémographique avec la population globale et de sa concordance avec les niveaux de consommation observés dans l'étude précédente portant sur la population totale (Chapitre 4, Section 1.2), **P0** a été retenu comme trajectoire de référence. Entre 2014 et 2022, les individus appartenant à ce profil ont présenté des augmentations statistiquement significatives de leur consommation de substituts végétaux (+85 %), de produits céréaliers complets (+67 %), de fruits (+9 %), de boissons chaudes (+6 %) et de légumes (+4 %). À l'inverse, des diminutions significatives ont été observées pour la viande de ruminants (-20 %), les jus de fruits (-53 %), le lait (-46 %), les céréales raffinées (-20 %) et les boissons sucrées (-19 %) (**Tableau 15** et **Figure 30**).

Tous les changements observés dans la consommation des groupes d'aliments entre la mesure initiale et 2022 étaient statistiquement significatifs au sein de chaque profil ($p < 0,05$), à l'exception des plats préparés et/ou composés (PPC), pour lesquels aucune évolution significative n'a été observée.

Tableau 14 : Caractéristiques des participants dans l'échantillon total et dans les profils de trajectoires alimentaires (2014), n = 17 187, étude NutriNet-Santé^{1,2}

	Échantillon total	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P
Effectif pondéré	n = 17 187	5 976	970	2 588	1 565	2 898	3 190	
Sexe (%)								
Hommes	47,64	44,15	86,75	45,06	40,01	17,45	75,56	
Femmes	52,36	55,85	13,25	54,94	59,99	82,55	24,44	
Âge (années)	48,38 (15,97)	48,22 (14,79)	60,52 (10,00)	40,61 (17,08)	40,93 (16,71)	60,93 (9,30)	43,55 (19,72)	< 0,0001
Profession (%)								< 0,0001
Indépendant/agriculteur	4,45	2,34	15,97	4,74	2,70	5,32	4,73	
Cadres / professions intellectuelles	9,10	11,93	5,42	8,27	10,01	4,75	9,11	
Chômeur	8,85	7,37	2,84	9,10	23,24	5,15	9,53	
Employé / ouvrier	31,19	28,56	13,15	42,66	25,91	16,83	47,87	
Étudiant	4,49	4,74	0	10,51	7,65	1,15	2,05	
Professions intermédiaires	14,50	19,02	7,14	15,09	13,34	9,48	12,89	
Retraité	27,42	26,03	55,48	9,63	17,15	57,32	13,83	
Revenu mensuel par unité de consommation (%)								< 0,0001
Refus de répondre	6,58	5,78	3,95	4,90	8,33	8,43	7,70	
< 1200€/U.C.	24,42	20,85	7,22	35,94	35,96	14,86	30,02	
1200 - 1800€/ U.C.	30,91	34,91	26,35	28,26	23,62	27,70	33,45	
1800 - 2700€/ U.C.	23,39	22,07	40,89	20,26	19,80	30,01	18,84	
>2700€/ U.C.	14,70	16,39	21,60	10,64	12,30	18,99	10,00	
Lieu de résidence (%)								< 0,0001
Commune rurale	23,99	23,27	29,06	22,81	15,03	25,02	28,19	
Unité urbaine (<20,000 habitants)	18,63	18,88	16,52	18,11	17,57	16,19	21,93	
Unité urbaine (20,000 à 200,000 habitants)	16,80	16,48	13,27	12,1	15,64	20,52	19,48	
Unité urbaine (>200,000 habitants)	40,58	41,37	41,16	46,97	51,74	38,26	30,38	
Habitudes tabagiques (%)								< 0,0001
Jamais fumeur	50,16	53,16	24,24	58,63	61,13	50,53	39,81	
Ancien fumeur	39,02	37,46	51,89	31,53	32,48	43,78	42,98	
Fumeur actuel	10,83	9,38	23,88	9,85	6,39	5,70	17,21	
Activité physique (%)								< 0,0001
Faible	20,30	22,43	29,16	21,55	9,27	11,62	25,91	
Modérée	31,16	30,96	24,35	41,36	33,74	29,79	25,32	
Elevée	32,89	31,56	36,23	23,87	46,68	44,67	24,19	

Données manquantes	15,65	15,05	10,25	13,22	10,30	13,92	24,58	
IMC (kg/m²)	24,94 (4,99)	24,66 (4,45)	26,37 (3,70)	24,49 (5,50)	21,73 (3,19)	24,68 (3,44)	27,21 (9,10)	0,068

Abréviations : IMC, Indice de Masse Corporelle ; U.C., Unité de Consommation.

¹ Les valeurs sont des moyennes (écart-type) ou des pourcentages selon le cas. Toutes les données sont pondérées.

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide d'une ANOVA ou du test du Chi².

Le profil **P1** (6 % de la population, 87 % d'hommes, âge moyen = 61 ans [ET = 10]) présente les niveaux de consommation initiale les plus élevés pour les boissons alcoolisées (+301 %), le beurre (+48 %) et les abats (+281 %), ainsi que des apports accrus en viande de porc (+32 %) et en viande de ruminants (+29 %) par rapport au profil **P0**. Au fil du temps (2014-2022), et comparativement aux évolutions observées dans les autres profils, ce groupe a montré la plus forte augmentation de la consommation de viande transformée (40 g/j en 2022 ; +74 % par rapport à 2014), de plats préparés et/ou composés (PPC) (40 g/j ; +31 %) et de produits gras salés ou sucrés (PGSS) (80 g/j ; +23 %), ainsi que la plus forte baisse de la consommation d'abats (1 g/j ; -95 %). Tous ces changements étaient statistiquement significatifs.

Le profil **P2** (15 % de la population, 55 % de femmes, âge moyen = 41 ans [ET = 17]) est caractérisé par la plus forte proportion d'individus à faibles revenus (68 % disposant d'un revenu mensuel inférieur à 1800 €/U.C) et une proportion notable d'étudiants (10%). Ce profil présente une consommation initiale significativement plus élevée en boissons sucrées (+251 %), lait (+187 %), jus de fruits (+58 %) et produits gras salés ou sucrés (PGSS) (+41 %) par rapport à **P0**. Entre 2014 et 2022, ce groupe a montré la plus forte augmentation de la consommation de substituts végétaux (39 g/j en 2022 ; +1737 %), de produits céréaliers complets (45 g/j ; +139 %) et de légumes (302 g/j ; +37 %), ainsi que des diminutions marquées de la consommation de boissons sucrées (64 g/j ; -51 %) et de fruits (194 g/j ; -21 %).

Le profil **P3** (9 % de la population, 60 % de femmes, âge moyen = 41 ans [ET = 17]) se distingue par une consommation initiale plus élevée de substituts végétaux (+1364 %), de fruits à coque (+680 %), de produits céréaliers complets (+273 %), de légumineuses (+205 %) et de légumes (+40 %) par rapport à **P0**. Entre 2014 et 2022, les individus appartenant à ce profil ont significativement augmenté leur consommation d'œufs (27 g/j en 2022 ; +166 %), de viande de ruminants (13 g/j ; +13 %) et de boissons alcoolisées (75 g/j ; +10 %), tout en affichant les baisses les plus marquées en produits céréaliers complets (109 g/j ; -37 %), poissons (37 g/j ; -20 %) et substituts végétaux (155 g/j ; -5 %).

Le profil **P4** (17 % de la population, 83 % de femmes, âge moyen = 61 ans [ET = 9]) regroupe des individus aux revenus plus élevés (19 % disposant d'un revenu mensuel supérieur à 2700 €/U.C) et ayant un niveau élevé d'activité physique (46 %). Il se caractérise par la consommation initiale la plus élevée de fruits (+74 %), de poissons (+39 %), de produits laitiers (+27 %), ainsi qu'une consommation élevée de fruits à coque (+212 %), de substituts végétaux (+131 %), de produits céréaliers complets (+107 %), de légumes (+38 %) et de légumineuses (+29 %) par rapport à **P0**. Au fil du temps, ce profil a montré une augmentation significative de la consommation de substituts végétaux (45 g/j en 2022 ; +73 %) et de légumes (456 g/j ; +3 %), ainsi que la diminution la plus marquée de la consommation de boissons alcoolisées (81 g/j ; -13 %).

Enfin, le profil **P5** (19 % de la population, 76 % d'hommes, âge moyen = 44 ans [ET = 19]) comprend la plus forte proportion d'individus vivant avec une obésité (26 %). Au départ, ce profil se caractérisait par les plus hauts niveaux de consommation de viande de porc (+143 %), volaille (+98 %), viande de ruminants (+90 %), viande transformée (+66 %) et pommes de terre (+39 %) par rapport à **P0**. Entre 2014 et 2022, ce groupe a enregistré les augmentations les plus marquées de la consommation de lait (69 g/j en 2022 ; +82 %) et de poisson (58 g/j ; +31 %), ainsi qu'une hausse de la consommation de légumineuses (20 g/j ; +72 %), de produits céréaliers complets (42 g/j ; +24 %) et de légumes (313 g/j ; +9 %). Une baisse notable a été observée pour les produits laitiers (148 g/j ; -21 %).

Les valeurs détaillées de consommation des groupes d'aliments selon les profils figurent dans le **Tableau 15** et la **Figure 30** ci-dessous.

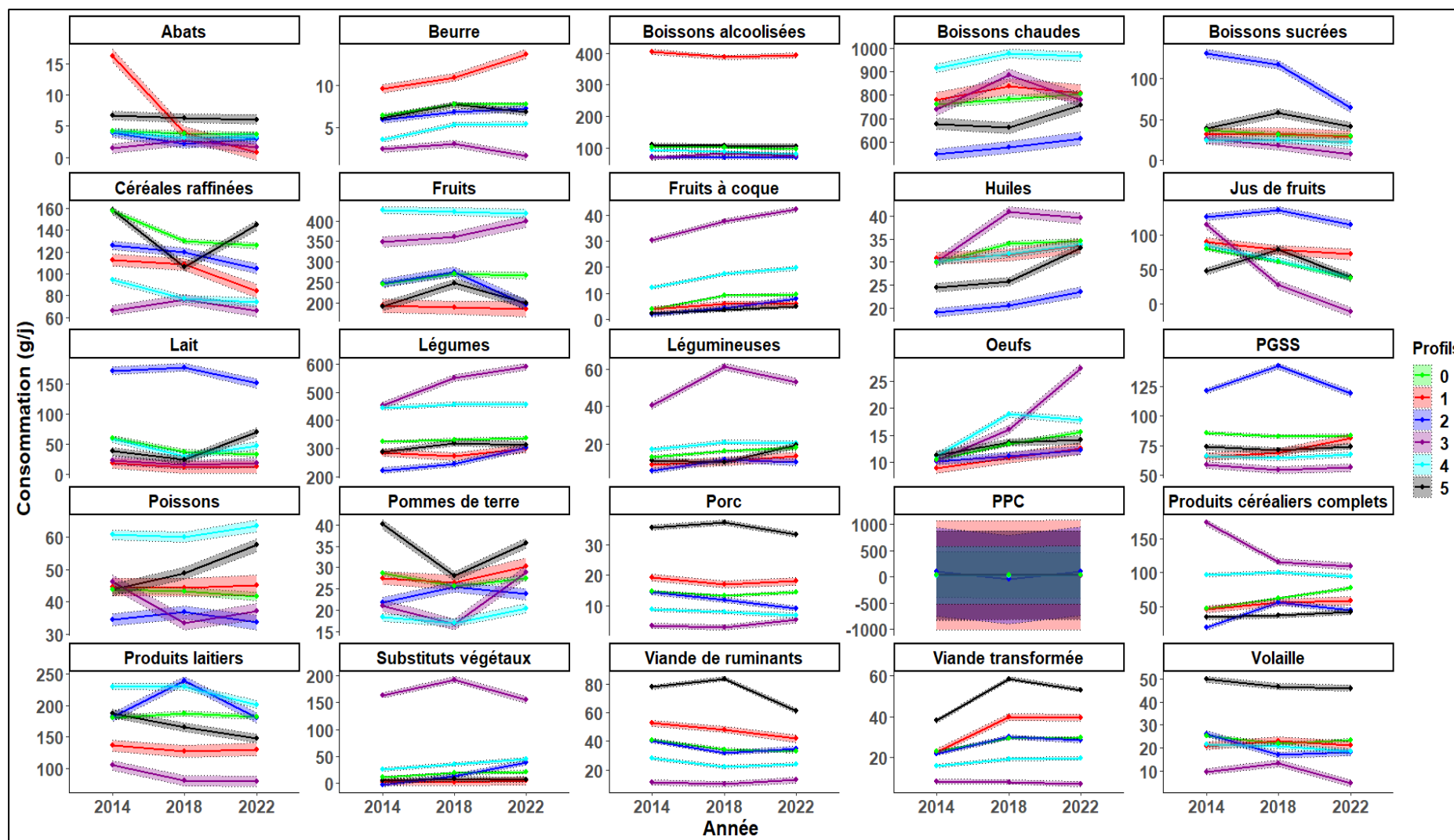


Figure 30 : Trajectoires d'évolution de la consommation des 25 groupes d'aliments (g/j) de 2014 à 2022 selon les profils, n = 17 187, étude NutriNet-Santé^{1,2,3}

Les groupes d'aliments sont définis comme suit : la viande de ruminants comprend le bœuf et l'agneau ; les produits laitiers incluent les yaourts, fromages frais et fromages affinés ; les substituts végétaux comprennent le tofu, les substituts de viande à base de soja et les galettes végétales, les yaourts et boissons à base de soja ; les légumes

incluent tous les légumes ainsi que les soupes ; les fruits comprennent les fruits frais, les fruits au sirop et en compote, les fruits secs et les graines ; les poissons incluent les poissons gras et maigres, les mollusques et les crustacés ; les pommes de terre incluent les autres tubercules ; les céréales raffinées comprennent les céréales de petit-déjeuner peu sucrées, le pain, la semoule, le riz et les pâtes ; les produits gras sucrés, salés et (PGSS) incluent les croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel et confiture, gâteaux, chips, oléagineux salés, biscuits salés ; les plats préparés/composés (PPC) incluent les sandwiches et les plats préparés tels que pizzas, hamburgers, raviolis, paninis, crêpes salées, etc. ; les huiles incluent les huiles d'origine végétale et les assaisonnements prêts à l'emploi comme les vinaigrettes, sauces à base de mayonnaise ou de crème, crème aigre et toutes les sauces grasses ; les boissons chaudes comprennent le thé, les infusions, le lait consommé avec le thé ou le café ; les boissons sucrées incluent les nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre), et boissons végétales.

Les profils de trajectoire alimentaire représentent respectivement 35 % (P0), 6 % (P1), 15 % (P2), 9 % (P3), 17 % (P4) et 19 % (P5) de l'effectif total analysé.

¹ Abréviations : PGSS, produits gras sucrés et/ou salés ; PPC, plats préparés ou composés.

² Pour chacun des 25 groupes d'aliments, les valeurs présentées correspondent aux moyennes des moindres carrés (avec intervalles de confiance à 95 %) des consommations en grammes par jour, ajustées sur le sexe, l'âge et l'apport énergétique total, telles qu'estimées à partir des modèles mixtes. L'axe des ordonnées représente ces consommations moyennes ajustées pour chaque profil de trajectoire et chaque année (2014, 2018, 2022).

³ L'axe des abscisses représente le temps (2014 ; 2018 ; 2022).

Tableau 15 : Consommation des 25 groupes d'aliments (g/jour) au fil du temps (2014-2022) selon le profil, n = 17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}

Groupe d'aliments	P0		P1		P2		P3		P4		P5	
	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022
Abats	4 (4;5)	4 (3;4)	16 (15;17)	1 (0;2)	4 (3;5)	3 (2;4)	1 (1;2)	2 (1;2)	4 (4;5)	3 (3;4)	7 (6;7)	6 (5;7)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	<0,0001	0,31	0,69	<0,0001	0,16	0,61	0,72	<0,0001	0,97
Beurre	6 (6;7)	8 (7;8)	10 (9;10)	14 (13;14)	6 (6;6)	7 (7;8)	2 (2;3)	2 (1;2)	4 (3;4)	5 (5;6)	6 (6;6)	7 (6;7)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	<0,0001	0,003	0,52	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0007	0,10	0,0009
Boissons alcoolisées	101 (97;104)	95 (91;98)	404 (396;412)	394 (385;402)	70 (64;76)	70 (64;76)	68 (62;74)	75 (68;82)	93 (89;97)	81 (76;86)	109 (104;115)	105 (99;112)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,26	<0,0001	0,05	<0,0001	0,0001	0,004	0,01	0,008	0,46
Boissons chaudes	761 (747;774)	805 (790;820)	779 (747;811)	808 (772;845)	548 (525;572)	616 (589;643)	738 (711;764)	780 (751;809)	916 (898;933)	964 (944;985)	678 (655;701)	758 (733;783)
P-valeur	ref	ref	0,31	0,37	<0,0001	0,06	0,12	0,86	<0,0001	0,72	<0,0001	0,001
Boissons sucrées	37 (34;40)	30 (27;33)	32 (25;39)	28 (20;37)	131 (126;136)	64 (58;70)	26 (21;32)	7 (1;14)	25 (21;29)	22 (17;27)	39 (35;44)	41 (36;47)
P-valeur	ref	ref	0,19	0,39	<0,0001	<0,0001	0,0006	0,0003	<0,0001	0,11	0,44	0,0004
Céréales raffinées	157 (155;160)	126 (123;128)	113 (107;118)	84 (78;90)	126 (122;130)	104 (100;109)	66 (62;71)	66 (61;71)	94 (91;97)	74 (70;78)	158 (154;162)	145 (140;149)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,36	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,77	<0,0001
Fruits	245 (239;252)	267 (259;274)	193 (177;209)	184 (166;203)	247 (236;259)	194 (181;208)	349 (336;362)	399 (385;414)	427 (418;436)	419 (408;430)	191 (180;202)	198 (186;210)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,001	0,72	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,02
Fruits à coque	4 (3;4)	10 (9;10)	4 (3;5)	6 (5;7)	2 (1;3)	8 (7;9)	30 (29;31)	42 (41;43)	12 (12;13)	20 (19;20)	2 (2;3)	5 (4;6)
P-valeur	ref	ref	0,97	<0,0001	<0,0001	0,33	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0001
Huiles	30 (29;30)	35 (34;35)	31 (29;32)	34 (32;35)	19 (18;20)	24 (22;25)	30 (29;31)	40 (38;41)	30 (29;31)	34 (33;35)	24 (24;25)	33 (32;34)
P-valeur	ref	ref	0,24	0,01	<0,0001	0,62	0,75	<0,0001	0,53	0,05	<0,0001	<0,0001
Jus de fruits	80 (77;83)	38 (34;41)	89 (82;96)	72 (64;80)	126 (121;131)	115 (109;121)	115 (109;120)	-12 (-18;-5)	85 (81;89)	38 (33;43)	47 (42;52)	38 (33;44)
P-valeur	ref	ref	0,02	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,04	0,12	<0,0001	<0,0001
Lait	60 (56;64)	33 (28;37)	18 (9;27)	12 (1;22)	172 (166;179)	151 (143;159)	23 (15;30)	19 (10;27)	58 (53;63)	48 (41;54)	38 (32;44)	69 (62;76)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,0002	<0,0001	0,12	<0,0001	<0,0001	0,54	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Légumes	323 (317;329)	336 (329;342)	286 (272;299)	300 (284;317)	221 (211;231)	302 (291;314)	453 (442;464)	590 (577;603)	445 (437;452)	456 (447;465)	288 (279;298)	313 (302;324)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,78	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,78	<0,0001	0,02
Légumineuses	13 (12;14)	18 (17;19)	9 (7;11)	14 (11;16)	6 (4;7)	10 (9;12)	41 (39;42)	53 (51;55)	17 (16;18)	20 (19;22)	11 (10;13)	20 (18;21)

Dynamiques alimentaires en France entre 2014 et 2022 : typologies et trajectoires

P-valeur	ref	ref	0,0002	0,91	<0,0001	0,79	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,09	0,02	0,0001
Œufs	10 (10;11)	16 (15;16)	9 (8;10)	12 (11;14)	10 (9;11)	12 (11;13)	10 (10;11)	27 (26;28)	11 (11;12)	18 (17;18)	11 (11;12)	14 (13;15)
P-valeur	ref	ref	0,003	0,02	0,38	<0,0001	0,66	<0,0001	0,04	0,0001	0,03	<0,0001
PGSS	86 (84;87)	83 (82;85)	66 (62;69)	81 (77;85)	121 (119;124)	119 (116;122)	59 (56;62)	56 (53;60)	66 (64;68)	68 (65;70)	74 (71;76)	74 (72;77)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,77	<0,0001	0,94	<0,0001	0,006	<0,0001	0,02
Poissons	44 (43;45)	42 (40;43)	45 (42;47)	45 (42;48)	35 (33;36)	34 (31;36)	46 (44;48)	37 (35;40)	61 (59;62)	64 (62;65)	44 (42;46)	58 (55;60)
P-valeur	ref	ref	0,59	0,13	<0,0001	0,38	0,05	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,98	<0,0001
Pommes de terre	29 (28;29)	28 (27;28)	28 (26;29)	30 (28;32)	22 (21;23)	24 (22;25)	21 (20;22)	29 (27;30)	18 (18;19)	21 (19;22)	40 (39;41)	36 (34;37)
P-valeur	ref	ref	0,19	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Porc	15 (14;15)	14 (14;15)	19 (18;20)	18 (17;19)	14 (14;15)	9 (8;10)	4 (3;4)	5 (4;6)	9 (8;9)	7 (6;8)	36 (35;36)	33 (32;34)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,09	0,56	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	<0,0001
PPC	43 (-396;482)	33 (-406;472)	31 (-1017;1078)	40 (-1007;1088)	100 (-747;948)	110 (-738;957)	23 (-827;873)	29 (-821;879)	29 (-528;586)	33 (-524;590)	33 (-815;881)	34 (-814;882)
P-valeur	ref	ref	0,98	<0,0001	0,90	<0,0001	0,97	<0,0001	0,97	<0,0001	0,98	<0,0001
Produits C. complets	46 (44;48)	78 (75;80)	45 (41;50)	58 (53;64)	19 (15;22)	45 (40;49)	173 (169;177)	109 (104;113)	96 (93;99)	94 (91;98)	34 (30;37)	42 (38;46)
P-valeur	ref	ref	0,73	<0,0001	<0,0001	0,02	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Produits laitiers	181 (177;185)	182 (177;186)	136 (127;145)	130 (119;141)	182 (175;188)	180 (173;188)	104 (97;112)	79 (70;87)	230 (225;235)	201 (195;207)	187 (180;193)	148 (141;155)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,22	0,80	0,59	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,12	<0,0001
Substituts végétaux	11 (9;14)	21 (18;24)	2 (-4;8)	5 (-3;12)	-2 (-7;2)	39 (33;44)	164 (158;169)	155 (149;161)	26 (22;29)	45 (40;49)	4 (0;9)	7 (2;12)
P-valeur	ref	ref	0,01	0,10	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0005	0,008	0,01
Viande de ruminants	41 (40;42)	33 (32;34)	53 (50;55)	42 (39;44)	40 (39;42)	35 (33;36)	12 (10;13)	13 (11;15)	28 (27;29)	24 (23;25)	78 (76;79)	61 (59;63)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,06	0,48	0,01	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Viande transformée	23 (22;24)	30 (29;30)	23 (21;24)	40 (38;41)	22 (21;23)	28 (27;30)	8 (7;10)	7 (6;8)	16 (15;17)	20 (19;21)	38 (37;39)	53 (52;54)
P-valeur	ref	ref	0,78	<0,0001	0,06	0,79	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Volaille	25 (24;26)	23 (23;24)	21 (19;23)	21 (19;23)	26 (25;27)	18 (17;20)	10 (8;11)	5 (3;6)	21 (20;22)	19 (17;20)	50 (49;51)	46 (45;47)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,08	0,18	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,11	<0,0001	0,02

Abréviations : PGSS, Produits Gras Salés et/ou Sucrés ; PPC, Plats préparés et/ou composés ; Produits C. complets, produits céréaliers complets.

Chapitre 4 : Résultats

¹ Les valeurs sont les moindres carrés moyens (IC) des consommations ajustées sur le sexe, l'âge et l'apport énergétique total.

² Les valeurs de p correspondent aux coefficients β des modèles à effets fixes. Les valeurs de p de 2014 indiquent la significativité de la différence du niveau de consommation de référence par rapport au profil P0. Les valeurs de p de 2022 indiquent la significativité de la différence de la variation de consommation dans le temps (2014-2022) par rapport à celle du profil de référence (P0).

1.4. Points essentiels : Dynamiques alimentaires en France (2014 - 2022)

Cette première partie a permis de décrire les régimes alimentaires initiaux, d'identifier les principales évolutions de consommation sur huit ans, et de modéliser des trajectoires différenciées dans la population adulte française.

Cinq clusters alimentaires initiaux, fondés sur la contribution des sources protéiques, ont été distingués :

- Cluster « **Lacté** » : forte contribution des produits laitiers et des boissons sucrées.
- Cluster « **Carné** » : apports protéiques dominés par la viande rouge, la volaille et la viande transformée.
- Cluster « **Fast-food** » : protéines majoritairement issues de « fast-food », des céréales raffinées et des produits gras et sucrés.
- Cluster « **Sain-poisson** » : consommation élevée de poissons, produits céréaliers complets, fruits et légumes.
- Cluster « **Sain-végétalisé** » : forte contribution des protéines végétales (produits à base de soja, légumineuses, oléagineux, fruits et légumes).

Tendances générales sur la période 2014-2022 :

- Augmentation des consommations de légumineuses (+22 %), fruits à coque (+59 %) et produits céréaliers complets (+7 %).
- Diminution des apports en viandes rouges (-19 %), céréales raffinées (-18 %) et boissons sucrées (-15 %).
- En parallèle, hausse de la consommation de plats préparés et/ou composés (+16 %) et de la viande transformée (+35 %).
- Les femmes avaient une alimentation plus végétalisée que les hommes.
- Amélioration globale de la qualité de l'alimentation (hausse du score cDQI), avec des niveaux de scores (cDQI, aDQI, pDQI) plus élevés chez les femmes.

Six profils de trajectoires alimentaires ont été identifiés, reflétant des dynamiques contrastées :

- **P0** (35%, Profil moyen) : Niveaux de consommation moyens au départ, avec une hausse des aliments végétaux et de la viande transformée.
- **P1** (6%, majoritairement masculin) : forte consommation initiale de viande de ruminants, abats et boissons alcoolisées ; plus forte hausse de viande transformée.
- **P2** (15%, revenus modestes) : consommation élevée de produits gras salés ou sucrés, mais transition nette vers plus d'aliments végétaux.

Chapitre 4 : Résultats

- **P3** : (9%) régime très végétal au départ, mais augmentation de la viande de ruminants au fil du temps.
- **P4** (17%, majoritairement féminin) : consommation stable et élevée de poissons et végétaux, forte baisse de boissons alcoolisées.
- **P5** (19%, majoritairement masculin) : consommation très élevée de produits animaux, avec hausse des poissons et végétaux.

Ces éléments offrent un cadre structurant pour analyser, dans les parties suivantes, les déterminants de ces évolutions et les implications de ces trajectoires en matière de durabilité environnementale, nutritionnelle, sanitaire et économique.

2. Inégalités sociales dans les transitions alimentaires : le rôle des déterminants individuels

2.1. Cadre d'analyse

L'analyse longitudinale des trajectoires de consommation alimentaire entre 2014 et 2022, menée sur l'ensemble de la population adulte française de la cohorte NutriNet-Santé, a permis de mettre en évidence des tendances contrastées selon les groupes d'aliments et selon le sexe. Si certaines évolutions vont dans le sens d'une transition vers des pratiques plus durables, notamment une baisse de la consommation de viandes rouges ou une hausse modérée de celle des végétaux, d'autres soulignent des stagnations ou des changements peu compatibles avec les objectifs de durabilité. Ces résultats montrent que la transition alimentaire est déjà en cours, mais de manière partielle, segmentée et inégale.

Afin de mieux comprendre les mécanismes à l'œuvre derrière cette diversité de trajectoires, cette partie propose d'approfondir l'analyse en examinant l'influence de facteurs socioéconomiques sur l'évolution des consommations de quatre groupes d'aliments particulièrement pertinents au regard des enjeux de durabilité : la viande rouge, la viande transformée, les légumineuses et les produits céréaliers complets. Ces groupes d'aliments sont fortement associés au risque de mortalité, de manière positive ou négative, selon les données du Global Burden of Disease (66), et sont reconnus comme des marqueurs importants de la transition vers des régimes alimentaires durables (224–227).

En cohérence avec la démarche « *bottom-up* » adoptée dans cette thèse (Chapitre 2, Section 1.2), qui accorde une place centrale à l'observation des comportements effectifs des consommateurs, l'objectif ici est d'identifier les caractéristiques sociales et économiques associées à une évolution favorable ou défavorable de la consommation de ces groupes clés. En s'inscrivant dans le prolongement des cadres conceptuels tels que le Social Determinants of Health (55) et le Nutrition Health Disparities Framework (48) (Chapitre 1, Section 1.2.3), cette approche vise à mieux comprendre comment les inégalités sociales façonnent la transition alimentaire, et à apporter des éléments pour orienter des actions publiques plus ciblées et plus justes.

2.2. Méthodologie spécifique

L'analyse des associations entre les facteurs socio-économiques (revenu, niveau d'éducation et profession) et les évolutions de consommation des 4 groupes alimentaires fortement liés au risque de mortalité décrits plus haut, a été réalisée sur un sous-échantillon de 16 239 participants, parmi les 17 187 inclus précédemment, pour lesquels les données de revenu étaient disponibles.

Nous avons utilisé des modèles à effets mixtes (Chapitre 3, Section 4.4) similaires à ceux employés précédemment, en y intégrant les covariables pertinentes et les termes d'interaction comme suit :

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 T_{ij} + \beta_2 S_i + \beta_3 A_i + \beta_4 E_{ij} + \beta_5 Ed_i + \beta_6 P + \beta_7 R_i + \beta_8 (T_{ij} \times S_i) + \beta_9 (T_{ij} \times Ed_i) + \beta_{10} (T_{ij} \times R_i) + \beta_{11} (T_{ij} \times P_i) + \beta_{12} T_{ij}^2 + \mu_i + \varepsilon_{ij}$$

Où :

Y_{ij} : désigne la consommation du groupe d'aliments pour l'individu i au temps j .

T_{ij} : représente la variable temporelle (effet fixe) pour l'individu i au temps j .

S_i : correspond au sexe (effet fixe) de l'individu i .

A_i : est l'âge à l'inclusion (effet fixe) de l'individu i .

E_{ij} : indique l'apport énergétique total (mesure répétée) de l'individu i au temps j .

Ed_i : niveau d'éducation à l'inclusion (effet fixe)

P_i : profession à l'inclusion (effet fixe)

R_i : revenu à l'inclusion (effet fixe)

μ_i : regroupe les effets aléatoires de l'individu i , incluant au minimum l'interception et la pente

$\varepsilon_{i,j}$: est le terme d'erreur résiduelle pour l'individu i au temps j .

Par ailleurs, nous avons calculé les variations de chaque groupe d'aliments, en pourcentage, afin d'examiner les évolutions de consommation au cours du temps, en fonction des facteurs socioéconomiques, à partir des moyennes ajustées des moindres carrés (LSmeans) issues de ces modèles mixtes.

2.3. Résultats principaux

Les facteurs socioéconomiques, à savoir le revenu, le niveau d'éducation et la profession, étaient associés, à des degrés divers, à la consommation des groupes d'aliments étudiés (**Figure 31, Tableau 16 et Annexe 7**). Les résultats ont été estimés par rapport aux catégories de référence suivantes : « revenu élevé (>2700 €/U.C./mois) » pour le revenu, « retraité » pour la profession, et « supérieur » pour le niveau d'éducation.

Le revenu et le niveau d'éducation apparaissaient comme les principaux déterminants des niveaux de consommation initiaux, tandis que la profession jouait un rôle plus marqué dans les évolutions observées au fil du temps. Les participants ayant un niveau d'éducation élevé et des revenus faibles avaient tendance à consommer davantage d'aliments d'origine végétale dès le départ, une tendance qui s'est accentuée au cours du temps, en particulier chez les étudiants et les individus appartenant aux catégories professionnelles supérieures. Ainsi, la consommation de légumineuses était, en 2014, supérieure de 22 % chez les personnes aux revenus les plus modestes ($p < 0,01$), tandis que la

consommation de produits céréaliers complets était 6 % plus élevée chez les personnes disposant de revenus intermédiaires ($p=0,02$). À l'inverse, les individus ayant le niveau d'éducation le plus faible présentaient la plus faible consommation initiale de produits céréaliers complets, inférieure de 13 % ($p<0,01$) par rapport au niveau de référence (niveau d'éducation supérieur). Entre 2014 et 2022, l'augmentation de la consommation de légumineuses s'est avérée particulièrement marquée parmi les personnes exerçant une profession intermédiaire, avec une hausse de 36 % ($p<0,01$). Concernant les produits céréaliers complets, les augmentations les plus importantes ont été observées chez les étudiants (+29 %; $p<0,01$), les professions intermédiaires (+23 %; $p<0,01$), les cadres et professions intellectuelles supérieures (+14 %; $p<0,01$), ainsi que les employés et ouvriers (+20 %; $p<0,01$).

À l'opposé, les participants ayant un faible niveau d'éducation consommaient davantage d'aliments d'origine animale. Plus précisément, la consommation de viandes rouges était, à l'inclusion, supérieure de 14 % chez les individus les moins diplômés ($p<0,01$), et la consommation de viande transformée y atteignait également son maximum, supérieure de 8 % ($p<0,01$) par rapport au niveau de référence (niveau d'éducation supérieur). À l'inverse, les individus aux revenus les plus faibles consommaient 11 % de viandes rouges en moins ($p<0,01$), tandis que la consommation de viande transformée était 6 % plus élevée chez les personnes aux revenus intermédiaires ($p<0,01$). Sur la période d'étude, la diminution de la consommation de viandes rouges entre 2014 et 2022 était plus marquée parmi les professions intermédiaires (-20 %; $p=0,03$), les cadres et professions intellectuelles supérieures (-21 %; $p<0,01$), ainsi que chez les personnes aux revenus les plus élevés (-20 %). L'écart de consommation de viandes rouges entre les groupes aux revenus les plus faibles et les plus élevés s'est ainsi réduit, passant de 11 % en 2014 à 8 % en 2022 ($p=0,04$). Concernant la viande transformée, l'augmentation de la consommation au cours du temps était plus importante chez les professions intermédiaires (+32 %; $p=0,01$), les cadres et professions intellectuelles supérieures (+34 %; $p<0,01$), ainsi que chez les étudiants (+20 %; $p=0,01$).

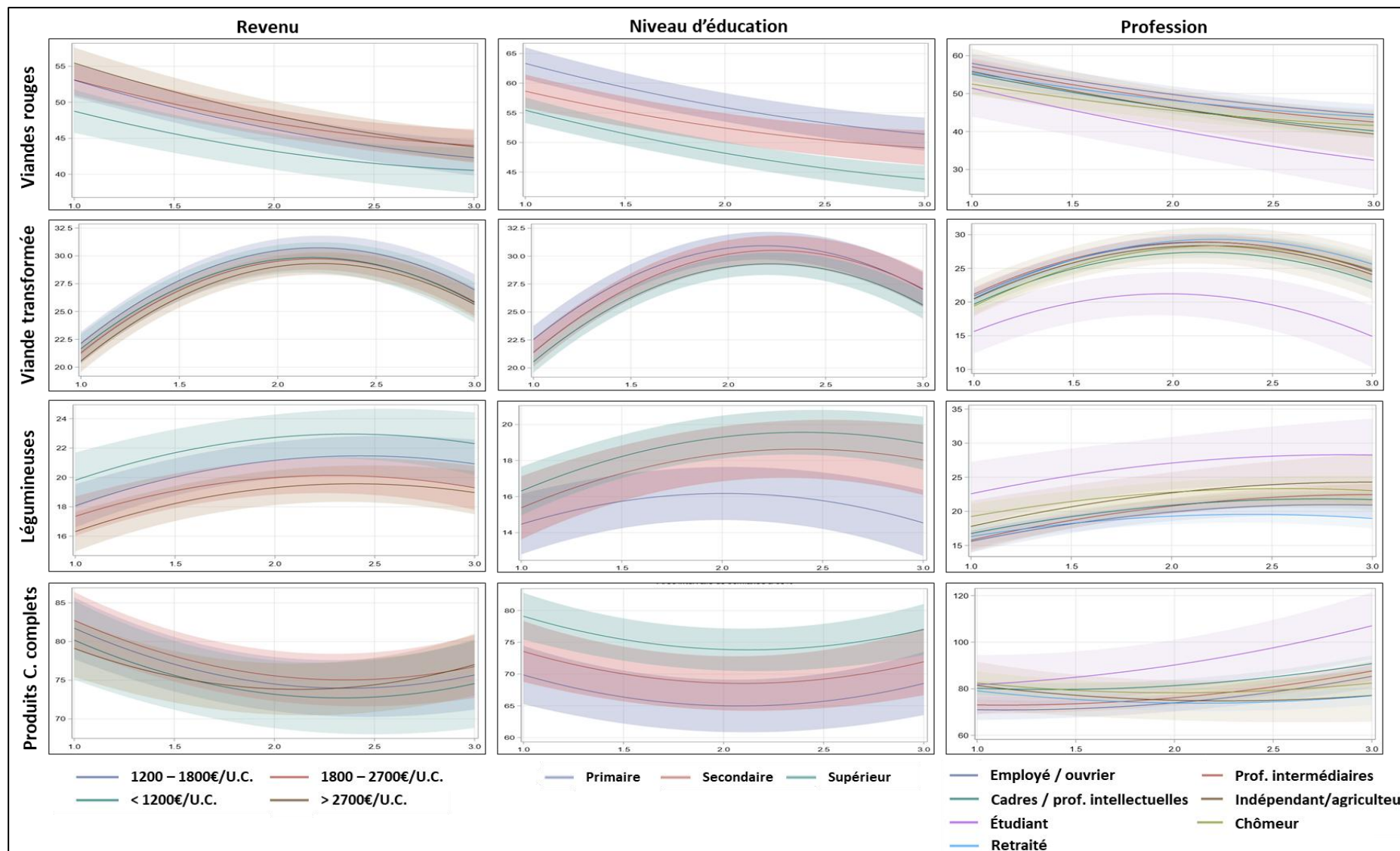


Figure 31 : Déterminants socioéconomiques de l'évolution de la consommation pour les 4 groupes d'aliments fortement associés au risque de mortalité (viandes rouges, viande transformée, légumineuses et produits céréaliers complets) entre 2014 et 2022, n = 17 187, étude NutriNet-Santé^{1,2}

Abréviations : Produits C. complets, produits céréaliers complets ; prof., profession.

¹ Les courbes sont fournies pour le profil suivant : âge = 48,8 ans ; AET = 2133 kcal/j ; sexe = femme ; statut professionnel = retraité(e) ; revenu > 2700 €/UC ; niveau d'éducation = Supérieur.

² L'axe des abscisses représente le temps (1 = 2014 ; 2 = 2018 ; 3 = 2022), et l'axe des ordonnées représente la consommation en grammes par jour.

Tableau 16 : Consommations des 4 groupes d'aliments au fil du temps (2014-2022) selon les catégories socioéconomiques, n = 17 187, étude NutriNet-Santé¹

	Viandes rouges			Viande transformée			Légumineuses			Produits céréaliers complets		
	2014	2018	2022	2014	2018	2022	2014	2018	2022	2014	2018	2022
Revenu												
< 1200€/U.C.	57,00 (54,35;59,65)	50,85 (48,41;53,29)	47,07 (44,52;49,62)	21,85 (20,81;22,88)	29,10 (27,80;30,41)	28,81 (27,24;30,38)	19,43 (17,87;21,00)	22,46 (20,94;23,98)	23,95 (22,18;25,72)	64,93 (60,93;68,93)	71,16 (66,94;75,39)	69,59 (64,58;74,60)
1200 - 1800€/ U.C.	61,74 (59,56;63,91)	53,45 (51,45;55,46)	49,08 (46,98;51,18)	22,22 (21,37;23,06)	30,14 (29,07;31,21)	29,04 (27,75;30,33)	17,59 (16,30;18,87)	20,98 (19,73;22,22)	22,35 (20,89;23,81)	66,96 (63,67;70,25)	70,98 (67,51;74,44)	72,66 (68,52;76,79)
1800 - 2700€/ U.C.	61,88 (59,74;64,02)	54,39 (52,43;56,36)	50,32 (48,27;52,37)	21,39 (20,56;22,23)	29,02 (27,97;30,08)	28,25 (26,98;29,52)	17,51 (16,25;18,77)	19,41 (18,18;20,63)	22,31 (20,88;23,73)	68,10 (64,87;71,34)	71,67 (68,26;75,08)	73,49 (69,44;77,53)
>2700€/ U.C.	64,24 (62,12;66,36)	55,77 (53,83;57,71)	51,42 (49,41;53,43)	21,01 (20,18;21,83)	28,35 (27,30;29,40)	28,41 (27,16;29,66)	15,95 (14,70;17,20)	19,11 (17,90;20,32)	20,94 (19,54;22,34)	64,03 (60,83;67,23)	69,77 (66,39;73,16)	73,77 (69,80;77,75)
Niveau d'éducation												
Primaire	65,65 (63,42;67,89)	57,03 (54,98;59,08)	52,41 (50,26;54,55)	22,31 (21,45;23,18)	30,00 (28,90;31,10)	29,66 (28,34;30,99)	16,76 (15,44;18,08)	17,92 (16,64;19,19)	20,41 (18,91;21,91)	60,63 (57,27;63,99)	65,70 (62,16;69,25)	67,57 (63,35;71,80)
Secondaire	61,20 (58,80;63,60)	53,29 (51,09;55,49)	49,90 (47,60;52,20)	21,48 (20,55;22,41)	28,83 (27,65;30,02)	29,12 (27,70;30,54)	17,19 (15,77;18,61)	20,29 (18,91;21,66)	22,33 (20,73;23,94)	63,64 (60,02;67,26)	69,58 (65,76;73,40)	69,90 (65,36;74,44)
Supérieur	57,66 (55,85;59,48)	49,25 (47,58;50,93)	44,99 (43,24;46,74)	20,58 (19,86;21,29)	27,92 (27,03;28,82)	27,39 (26,32;28,45)	17,85 (16,78;18,92)	21,73 (20,69;22,77)	23,01 (21,81;24,22)	69,55 (66,79;72,31)	74,78 (71,87;77,68)	75,99 (72,57;79,41)
Profession												
Employé/ouvrier	64,90 (62,61;67,18)	56,45 (54,34;58,56)	52,70 (50,54;54,87)	22,64 (21,75;23,54)	29,95 (28,82;31,07)	30,40 (29,07;31,73)	15,32 (13,97;16,67)	17,55 (16,24;18,87)	20,39 (18,89;21,89)	57,41 (53,95;60,86)	66,33 (62,67;69,98)	68,86 (64,62;73,10)
Professions intermédiaires	63,48 (61,22;65,75)	55,09 (53,00;57,18)	50,60 (48,50;52,70)	23,04 (22,16;23,92)	29,83 (28,71;30,95)	30,36 (29,07;31,65)	15,54 (14,20;16,87)	18,74 (17,43;20,04)	21,13 (19,68;22,58)	58,87 (55,45;62,29)	69,31 (65,67;72,94)	72,48 (68,37;76,59)
Cadre/ professions intellectuelles	61,22 (59,09;63,35)	52,96 (51,00;54,93)	48,34 (46,36;50,32)	21,35 (20,52;22,19)	28,47 (27,41;29,52)	28,67 (27,46;29,89)	16,32 (15,07;17,58)	19,19 (17,96;20,41)	20,42 (19,06;21,78)	66,81 (63,56;70,06)	73,40 (69,97;76,84)	76,24 (72,35;80,13)
Chômeur	59,22 (56,46;61,98)	52,27 (49,74;54,79)	49,54 (46,91;52,17)	20,82 (19,75;21,89)	29,31 (27,94;30,68)	29,25 (27,61;30,89)	18,63 (17,00;20,26)	21,32 (19,74;22,90)	22,02 (20,18;23,86)	68,63 (64,42;72,84)	69,83 (65,40;74,26)	70,02 (64,76;75,28)

Inégalités sociales dans les transitions alimentaires : le rôle des déterminants individuels

Indépendant/agriculteur	62,49 (56,41;68,56)	52,45 (46,87;58,03)	48,94 (43,26;54,61)	22,98 (20,65;25,32)	30,56 (27,54;33,58)	31,25 (27,74;34,76)	17,22 (13,64;20,80)	19,63 (16,13;23,12)	22,35 (18,41;26,29)	66,78 (57,68;75,88)	66,27 (56,59;75,96)	60,05 (48,92;71,17)
Étudiant	57,29 (49,96;64,61)	47,49 (40,74;54,25)	41,77 (34,31;49,24)	17,30 (14,44;20,16)	23,86 (20,26;27,47)	20,76 (16,15;25,37)	21,47 (17,16;25,79)	26,07 (21,87;30,27)	29,17 (23,93;34,42)	67,36 (56,33;78,40)	80,48 (68,83;92,12)	86,72 (71,93;101,5)
Retraité	61,94 (60,33;63,55)	55,63 (54,13;57,13)	51,79 (50,25;53,33)	22,06 (21,41;22,71)	30,46 (29,68;31,24)	30,37 (29,47;31,27)	16,36 (15,41;17,31)	17,34 (16,42;18,26)	17,95 (16,92;18,98)	66,38 (63,90;68,86)	64,53 (61,96;67,10)	63,71 (60,78;66,64)

¹ Les valeurs correspondent aux moindres carrés moyens (et IC) des consommations ajustées (sur le sexe, l'âge, l'apport énergétique total, le niveau d'éducation, le revenu et la profession).

2.4. Points essentiels : Inégalités sociales dans les transitions alimentaires

L'analyse des transitions alimentaires selon les caractéristiques individuelles socio-économiques met en lumière des inégalités persistantes, mais aussi des signes de convergence dans certains comportements alimentaires. Le revenu et le niveau d'éducation apparaissent comme les principaux déterminants des niveaux de consommation initiaux, tandis que la profession jouait un rôle plus marqué dans les évolutions observées au fil du temps.

Au départ, les niveaux de consommation variaient selon les groupes sociaux :

- Les personnes peu diplômées consommaient davantage de produits animaux, en particulier de la viande transformée.
- Les participants à revenus élevés avaient une consommation plus importante de viandes rouges, tandis que les revenus modestes étaient plus consommateurs de viande transformée.
- Les aliments végétaux étaient plus consommés par les individus à haut niveau d'éducation, mais aussi par ceux à faibles revenus.

Sur huit ans, les trajectoires montrent des évolutions différenciées :

- La consommation de végétaux a augmenté plus rapidement chez les étudiants et les catégories professionnelles élevées.
- Les étudiants ont réduit leur consommation de viandes rouges, tandis que les professions supérieures ont accru celle de viande transformée.
- Les écarts de consommation de viandes rouges entre groupes de revenus se sont réduits au fil du temps, en raison de la baisse de consommation chez les individus aux revenus élevés.

Le statut professionnel apparaît comme le facteur le plus étroitement associé aux changements observés au fil du temps, davantage que le revenu ou l'éducation. Il jouerait ainsi un rôle structurant dans les dynamiques d'adoption de pratiques alimentaires plus durables.

3. Impacts des transitions alimentaires sur la durabilité : une approche multicritère

3.1. Analyse des impacts à la période de référence (2014) selon les clusters protéiques

3.1.1. Cadre d'analyse

Après avoir analysé les trajectoires de consommation alimentaire au sein de la population adulte française entre 2014 et 2022, ainsi que les déterminants socioéconomiques associés, il apparaît nécessaire d'évaluer dans quelle mesure ces transitions observées s'inscrivent dans une dynamique de durabilité. En cohérence avec le cadre défini par la FAO (77), et comme développé précédemment (Chapitre 1, Section 2), la durabilité alimentaire est ici envisagée dans une approche systémique et multicritère, intégrant les dimensions environnementale, nutritionnelle, sanitaire et économique.

Sur le plan environnemental (Chapitre 1, Section 1.2.1), la production alimentaire est à l'origine d'environ un tiers, jusqu'à 80%, des émissions mondiales de gaz à effet de serre alimentaires (228), dont plus de la moitié est imputable à l'élevage (229), et la production de viande rouge reste l'une des plus impactantes sur l'ensemble des dimensions environnementales (225,229,230). Sur le plan nutritionnel et sanitaire (Chapitre 1, Section 1.2.2), plusieurs études ont confirmé l'association entre consommation excessive de viande transformée ou rouge et surmortalité liée aux maladies chroniques, tandis que les aliments végétaux tels que les légumineuses, les fruits à coque et les produits céréaliers complets sont associés à une réduction du risque de maladies non transmissibles (183,218–220). Par ailleurs, les produits issus de l'agriculture biologique présentent des bénéfices potentiels en matière de santé publique (exposition réduite aux pesticides) et de protection de l'environnement (68,231–235). Enfin, l'aspect économique reste souvent négligé dans les évaluations de durabilité, alors même que les choix alimentaires sont contraints par des logiques budgétaires individuelles (Chapitre 1, Sections 1.2.3 et 2.2.3). La littérature souligne que les régimes les plus favorables à la santé ou à l'environnement sont souvent perçus, et parfois réellement, comme plus coûteux (236).

L'objectif de cette section est donc d'évaluer, pour les clusters de consommateurs précédemment définis sur la base de la nature de l'apport protéique dans leurs régimes alimentaires (Chapitre 4, Section 1.1), les impacts de leurs régimes respectifs sur les différentes dimensions de la durabilité, en mobilisant une approche intégrée combinant indicateurs environnementaux, nutritionnels, sanitaires et économiques.

3.1.2. Méthodologie spécifique

a. Indicateurs de la durabilité

La dimension environnementale a été évaluée à l'aide de quatre indicateurs complémentaires : les émissions de gaz à effet de serre (en kg CO₂-éq), la demande d'énergie cumulée (en MJ), l'occupation des sols (en m²) et le score composite pReCiPe, qui agrège plusieurs pressions environnementales.

La dimension nutritionnelle a été appréciée au moyen de cinq indicateurs : les indices de qualité globale de l'alimentation cDQI, aDQI et pDQI, l'indice PANDiet, ainsi que le score d'adhésion aux recommandations françaises du Programme National Nutrition Santé, à savoir le score PNNS-GS2.

Enfin, la dimension sanitaire a été évaluée par le Health Risk Score (HRS), indicateur basé sur la distance entre les niveaux de consommation observés et les niveaux théoriques minimisant le risque (TMREL) définis dans le cadre de l'étude du Global Burden of Disease.

L'ensemble de ces indicateurs, ainsi que leurs modalités de calcul, sont présentés en détail dans le Chapitre 3, section 3.

La moyenne (ET) de l'échantillon total a été calculée pour chaque indicateur de durabilité. Pour chaque cluster, les moyennes ajustées sur l'AET (EM) ont été estimées à l'aide de modèles ANCOVA (Chapitre 3, Section 4.1.1). La comparaison entre les groupes s'est appuyée sur les valeurs relatives calculées selon la méthode décrite précédemment (Chapitre 4, Section 1.1.2). Une analyse de la variance (ANCOVA) a été utilisée pour comparer les moyennes entre clusters.

b. Analyse économique

Cette section de l'étude vise à examiner les liens entre les comportements de consommation protéique, les dépenses alimentaires et certains déterminants socio-économiques (revenu et niveau d'éducation). Deux questions principales guident l'analyse : (1) dans quelle mesure les choix de consommation protéique influencent-ils les dépenses alimentaires globales ainsi que les dépenses spécifiques liées aux apports protéiques ? ; et (2) quels sont les effets du revenu et du niveau d'éducation sur les comportements de consommation protéique, en termes de quantités et de sources consommées ?

Population étudiée

L'analyse économique a porté sur 27 244 participants parmi les 29 210 inclus dans l'échantillon initial (**Figure 24**), pour lesquels les données de revenu mensuel étaient disponibles (cette variable étant issue d'une question facultative). La variable « revenu mensuel », initialement catégorielle, a été

transformée en variable continue en attribuant à chaque individu le centre de classe de la catégorie de revenu journalier correspondante, selon la méthode décrite précédemment (Chapitre 3, Section 2.5). Les valeurs ont ensuite été convertis en euros par jour.

Analyse de la structure des dépenses alimentaires et des dépenses protéiques

L'analyse des différences de la structure des dépenses alimentaires entre les clusters a été conduite selon une approche fondée sur les coefficients budgétaires (Chapitre 3, Section 4.6.1). Pour ce faire, des coefficients budgétaires ont été calculés pour chaque participant, à la fois pour le régime global, pour chaque groupe d'aliments et pour les apports protéiques. Les coefficients budgétaires des produits biologiques et conventionnels ont été calculés séparément pour l'alimentation globale et pour chaque groupe d'aliments, pour chaque individu, afin de tenir compte de l'impact du mode de production (biologique ou conventionnel) sur les dépenses alimentaires.

Des moyennes non ajustées (ET) ont ensuite été calculées pour l'ensemble des coefficients budgétaires, pour l'échantillon global. Pour chaque cluster, les moyennes ajustées sur l'AET, ainsi que les erreurs standards associées (EM), ont été estimées à l'aide de modèles ANCOVA. La comparaison entre clusters a été réalisée à partir de valeurs relatives exprimées en pourcentage, calculées à partir des moyennes standardisées comme décrit précédemment (Chapitre 4, Section 1.1.2). La comparaison des moyennes entre clusters a été effectuée à l'aide du test ANCOVA.

Estimation de l'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense en alimentation globale

Pour analyser les clivages potentiels liés à la dépense du régime global, nous avons cherché à comprendre si l'adoption d'un type de régime alimentaire (appartenance à un cluster protéique) nécessitait l'allocation d'une dépense plus ou moins importante. Pour ce faire, un modèle économétrique de régression à effets fixes a été spécifié, afin d'estimer l'impact d'adopter un régime alimentaire sur la dépense du régime global, tenant compte du revenu et du niveau d'éducation, comme détaillé précédemment (Chapitre 3, Section 4.6.2).

Estimation de l'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense en apport protéique

L'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense protéique totale individuel, en tenant compte du revenu et du niveau d'éducation, a été estimée selon le modèle économétrique de régression à effets fixes détaillé plus haut (Chapitre 3, Section 4.6.2).

Analyse du rôle du revenu dans les comportements de consommation protéique

Afin d'affiner notre analyse des effets du revenu sur le clivage lié au choix des régimes alimentaires, la classification des catégories sociales développée par l'Observatoire des inégalités (237) a été considérée (**Tableau 17** ci-dessous). La population étudiée a été répartie en trois classes en fonction du revenu, à savoir : classe populaire, classe moyenne et classe aisée.

Tableau 17 : Classification des catégories sociales¹

Catégorie sociale	Revenu mensuel disponible (€/U.C)
Classes aisées	>2308
Classes moyennes	1273 à 2308
Classes populaires	<1273

¹ Abréviations : U.C, Unité de consommation

Les moyennes simples (ET) des dépenses protéiques (totales et par groupe d'aliments) par catégorie sociale ont été calculées, en plus des valeurs relatives en pourcentage afin de comparer ces dépenses entre les catégories sociales.

Afin de comprendre comment se différencie la dépense en apports protéiques en fonction du revenu pour les individus appartenant au même cluster, les groupes d'aliments les plus discriminants ont été sélectionnés, sur la base d'un croisement entre les groupes d'aliments pour lesquels la dépense en apport protéique était la plus élevée pour les catégories sociales aisée et populaire ; et les groupes d'aliments caractéristiques de chacun des clusters (Chapitre 4, Section 1.1.3.a). Pour chaque groupe d'aliments, une moyenne simple (ET) a été calculée par catégorie sociale et par régime alimentaire, en plus des valeurs relatives (%). La significativité de la variance inter-groupe par rapport à la variance intra-groupe (le groupe ici désigne la catégorie sociale) a été testée par ANOVA sur les catégories sociales.

Analyse du rôle du niveau d'éducation dans les comportements de consommation protéique

Le rôle du niveau d'éducation dans le clivage lié au choix des régimes alimentaires a été investigué en distinguant deux catégories de niveau d'éducation : « Primaire/Secondaire » et « Supérieur ». Des moyennes simples (ET) des dépenses protéiques ont été calculées, en plus des valeurs relatives (%).

Afin de comprendre comment se différencie la dépense en apports protéiques en fonction du niveau d'éducation pour les individus appartenant au même cluster, les groupes d'aliments les plus discriminants ont été sélectionnés, sur la base d'un croisement entre les groupes d'aliments pour lesquels la dépense en apport protéique était la plus élevée pour les 2 niveaux d'éducation ; et les groupes d'aliments caractéristiques de chacun des clusters (Chapitre 4, Section 1.1.3.a). Pour chaque groupe d'aliments, une moyenne simple (ET) a été calculée par niveau d'éducation et par régime

alimentaire, en plus des valeurs relatives (%). La significativité de la variance inter-cluster par rapport à la variance intra-cluster a été testée par ANOVA sur les niveaux d'éducation.

3.1.3. Résultats principaux

A titre de rappel, les cinq clusters alimentaires identifiés sur la base de la contribution des sources protéiques, se présentaient comme suit :

- Cluster « **Lacté** » : forte contribution des produits laitiers et des boissons non alcoolisées.
- Cluster « **Carné** » : apports protéiques dominés par la viande rouge, la volaille et la viande transformée.
- Cluster « **Fast-food** » : protéines majoritairement issues de « fast-food », des céréales raffinées et des produits gras et sucrés.
- Cluster « **Sain-poisson** » : consommation élevée de poisson, produits céréaliers complets, fruits et légumes.
- Cluster « **Sain-végétalisé** » : forte contribution des protéines végétales (produits à base de soja, légumineuses, oléagineux, fruits et légumes).

a. Analyse multicritère des clusters « protéiques »

Les résultats détaillés de l'analyse multicritère des clusters sont présentés dans le **Tableau 18** et la **Figure 32**.

Qualité nutritionnelle

Le cluster « **sain-végétalisé** » présentait le score PNNS-GS2 le plus élevé (+144 % par rapport à l'ensemble de l'échantillon), traduisant une meilleure adhésion aux recommandations nutritionnelles françaises, ainsi que le score PANDiet le plus élevé (+12 %), basé sur le respect des références nutritionnelles. Ce cluster était suivi par le cluster « **sain-poisson** ». Ce dernier affichait par ailleurs le score cDQI le plus élevé (+15 % par rapport à la moyenne de la population), indiquant une qualité du régime supérieure tant pour les aliments d'origine végétale qu'animale. À l'inverse, le cluster « **carné** » présentait les scores nutritionnels les plus faibles pour l'ensemble des indicateurs considérés (-61 %, -5 % et -8 % respectivement pour les scores PNNS-GS2, PANDiet et cDQI) (**Tableau 18** et **Figure 32**).

Risque sanitaire

L'analyse du risque sanitaire (**Tableau 18** et **Figure 32**) révèle que le cluster « **sain-végétalisé** » présentait la structure alimentaire la plus favorable à la santé (score HRS : 0,25), suivi du cluster « **sain-poisson** » (score HRS : 0,53). À l'opposé, le cluster « **carné** » affichait le score de risque sanitaire le plus

élevé parmi les cinq clusters identifiés (score HRS : 0,95). Par ailleurs, l'analyse des contributions des groupes d'aliments au score de risque sanitaire montre que, pour l'ensemble des clusters, une faible consommation de produits céréaliers complets et de légumineuses, combinée à une forte consommation de viande rouge, constituait les principaux déterminants du niveau de risque.

Impacts environnementaux

Pour tous les indicateurs environnementaux analysés (**Tableau 18** et **Figure 32**), le cluster « **sain-végétalisé** » présentait l'empreinte la plus faible (pReCiPe : -62 % par rapport à l'ensemble de l'échantillon), tandis que le cluster « **carne** » affichait l'impact environnemental le plus élevé (pReCiPe : +33 %). Les clusters « **sain-poisson** » et « **fast-food** » présentaient des impacts moindres que la moyenne de la population pour tous les indicateurs. En revanche, les impacts environnementaux du cluster « **lacté** » étaient comparables à ceux observés dans l'ensemble de l'échantillon.

Consommation de produits biologiques selon les clusters

Les participants du cluster « **sain-végétalisé** » affichaient la part de produits biologiques la plus élevée (+127 % par rapport à l'ensemble de la population), suivis de ceux du cluster « **sain-poisson** » (+40 %). À l'opposé, les clusters « **carne** » et « **lacté** » présentaient les parts les plus faibles de consommation biologique (-30 % par rapport à la moyenne), tandis que le cluster « **fast-food** » se situait à un niveau intermédiaire (**Tableau 18**).

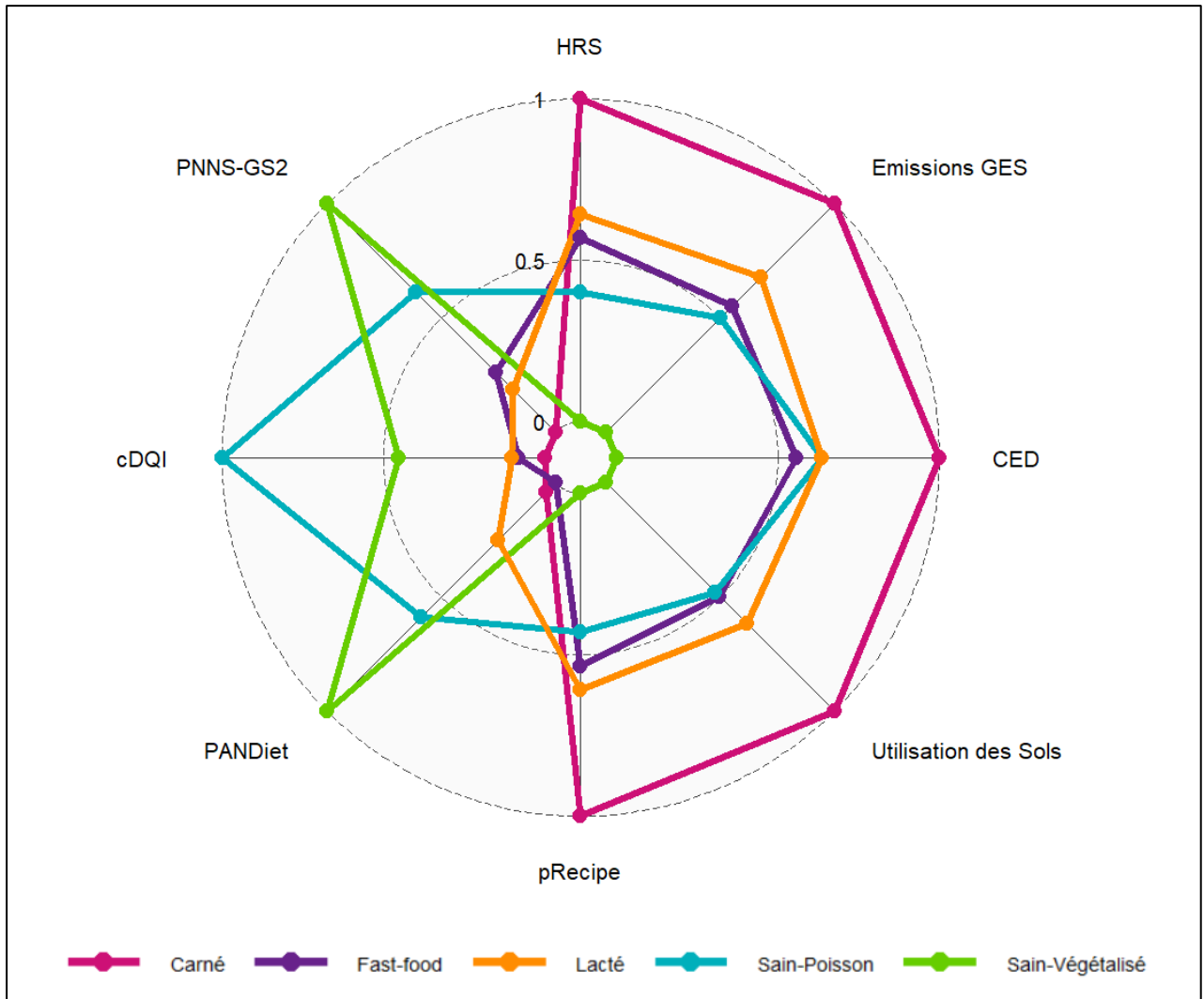


Figure 32 : Indicateurs de durabilité selon les clusters¹

Abréviations : HRS, Health Risk Score (score de risque sanitaire) ; GES, émissions de gaz à effet de serre (kg CO₂ éq/j) ; CED, demande énergétique cumulée (MJ/j) ; pRecipe, partial Recipe ; PANDiet, indice de qualité nutritionnelle basé sur la probabilité d'un apport adéquat en nutriments ; cDQI, indice global de qualité de l'alimentation ; PNNNS-GS2, score d'adhésion au Programme National Nutrition Santé.

¹ Les moyennes ajustées sur l'énergie des indicateurs, estimées par modèle ANCOVA, ont été ramenées à une échelle commune en fixant la valeur minimale à 0 et la maximale à 1 pour chaque indicateur. Pour les indicateurs environnementaux et le HRS, des valeurs plus élevées indiquent des impacts ou risques plus importants. Pour les indicateurs de qualité nutritionnelle, des valeurs plus élevées reflètent une meilleure qualité nutritionnelle.

Tableau 18 : Indicateurs de durabilité selon les clusters identifiés à partir sources protéiques^{1,2}

Indicateurs	Échantillon global	Lacté	Carné	Fast-food	Sain-poisson	Sain-végétalisé	p
<i>Qualité nutritionnelle</i>							
PANDiet	64,97 (7,86)	65,17 (0,09)	63,01 (0,07)	62,65 (0,07)	68,53 (0,07)	72,68 (0,21)	< 0,0001
Score d'adéquation (AS)	78,86 (12,74)	78,43 (0,13)	78,11 (0,1)	75,73 (0,1)	83,79 (0,1)	77,64 (0,29)	< 0,0001
Score de modération (MS)	51,08 (18,49)	51,9 (0,15)	47,9 (0,12)	49,57 (0,12)	53,27 (0,13)	67,72 (0,35)	< 0,0001
cDQI	51,48 (9,18)	49,57 (0,11)	48,56 (0,09)	49,33 (0,08)	58,21 (0,09)	52,97 (0,25)	< 0,0001
aDQI	15,86 (3,9)	16,84 (0,05)	14,59 (0,04)	15,73 (0,04)	17,05 (0,04)	13,16 (0,11)	< 0,0001
pDQI	35,62 (7,47)	32,72 (0,09)	33,96 (0,07)	33,6 (0,07)	41,16 (0,07)	39,81 (0,2)	< 0,0001
PNNS-GS2	2,51 (3,56)	1,96 (0,03)	1,01 (0,03)	2,34 (0,02)	4,15 (0,03)	6,13 (0,08)	< 0,0001
<i>Impacts environnementaux</i>							
Emissions de GES (kg CO2éq/j)	4,05 (2,48)	4,13 (0,02)	5,47 (0,02)	3,61 (0,01)	3,4 (0,02)	1,31 (0,05)	< 0,0001
Demande énergétique cumulée (MJ/j)	17,62 (7,56)	17,08 (0,06)	21,14 (0,05)	16,18 (0,04)	17,09 (0,05)	9,85 (0,14)	< 0,0001
Utilisation des sols (m ² /j)	10,6 (6,75)	10,57 (0,07)	14,24 (0,05)	9,33 (0,05)	9,15 (0,05)	4,52 (0,15)	< 0,0001
pRecipe	0,28 (0,16)	0,28 (0,00)	0,39 (0,00)	0,26 (0,00)	0,23 (0,00)	0,11 (0,00)	< 0,0001
Part des aliments biologiques	0,29 (0,27)	0,21 (0,00)	0,21 (0,00)	0,26 (0,00)	0,41 (0,00)	0,67 (0,01)	< 0,0001
<i>Risque sanitaire</i>							
RR (%) Céréales complètes	19,51 (12,35)	20,59 (0,16)	17,45 (0,13)	21,17 (0,12)	17,1 (0,14)	32,9 (0,37)	< 0,0001
RR (%) Fruits	6,98 (7,59)	7,8 (0,10)	5,17 (0,08)	8,26 (0,08)	5,8 (0,08)	14,07 (0,23)	< 0,0001
RR (%) Légumes	2,19 (2,58)	2,87 (0,03)	1,54 (0,02)	2,77 (0,02)	1,69 (0,02)	2,4 (0,07)	< 0,0001
RR (%) Noix	3,82 (3,17)	3,84 (0,04)	2,95 (0,03)	3,88 (0,03)	4,1 (0,03)	7,56 (0,09)	< 0,0001
RR (%) Légumineuses	10,24 (6,47)	10,29 (0,08)	7,63 (0,07)	10,63 (0,06)	12,21 (0,07)	12,14 (0,19)	< 0,0001
RR (%) lait	6,65 (5,86)	3,03 (0,06)	4,41 (0,05)	6,95 (0,05)	9,15 (0,05)	20,65 (0,14)	< 0,0001
RR (%) Viande transformée	16,87 (10,22)	16,58 (0,14)	18,26 (0,11)	17,73 (0,1)	16,47 (0,11)	3,75 (0,3)	< 0,0001
RR (%) Viande rouge	32,97 (16,75)	34,08 (0,21)	41,97 (0,17)	27,67 (0,16)	32,89 (0,17)	5,19 (0,46)	< 0,0001
RR (%) Boissons sucrées	0,73 (1,96)	0,86 (0,02)	0,58 (0,02)	0,88 (0,02)	0,53 (0,02)	1,29 (0,06)	< 0,0001
Score de risque sanitaire (HRS)	0,69 (0,29)	0,7 (0,00)	0,95 (0,00)	0,65 (0,00)	0,53 (0,00)	0,25 (0,00)	< 0,0001

Abréviations : AS, Sous-score d'adéquation du PANDiet ; MS, Sous-score de modération du PANDiet ; HRS, Health Risk Score (Score de risque sanitaire) ; RR: Risque Relatif

¹ Les valeurs sont les moyennes (écart-type) pour l'échantillon global, et moyennes ajustées sur l'apport énergétique total (erreur standard moyenne) selon les clusters (modèle ANCOVA).

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide de l'ANCOVA.

b. Analyse économique

Analyse de la structure des dépenses alimentaires et des dépenses protéiques

Le cluster « **sain-végétalisé** » consacrait la part la plus importante de ses revenus à l'alimentation (+46 % par rapport à la moyenne de l'échantillon) (Figure 33 et Annexe 8). À l'opposé, les consommateurs des clusters « **lacté** » et « **fast-food** » allouaient les plus faibles proportions de leur revenu à l'alimentation (-10 % et -6 % respectivement), tandis que le cluster « **carné** » se rapprochait de la moyenne observée. La comparaison des clusters selon les groupes d'aliments indique que les coefficients budgétaires suivaient les mêmes tendances que les consommations observées.

Par ailleurs, l'analyse de la structure des dépenses alimentaires montre que les légumes représentaient, pour tous les clusters, à l'exception du cluster « **carné** », le poste le plus important des dépenses alimentaires. Pour ce dernier, la part la plus importante des dépenses était consacrée à la viande rouge. Après les légumes, le cluster « **lacté** » consacrait une part importante de ses dépenses à la viande et aux boissons non alcoolisées, le cluster « **fast-food** » aux produits laitiers, le cluster « **sain-poisson** » aux fruits et poissons, et le cluster « **sain-végétalisé** » aux fruits et aux produits à base de soja (Annexe 8).

L'analyse des coefficients budgétaires totaux selon le mode de production (Figure 33 et Annexe 9) indique que 70 % des dépenses alimentaires du cluster « **sain-végétalisé** » étaient consacrées aux produits biologiques, ce qui explique en partie le niveau plus élevé des dépenses. À l'inverse, le cluster « **carné** » présentait la part la plus faible de dépenses allouées aux produits biologiques (20 %).

Concernant les coefficients budgétaires associés aux apports protéiques (Figure 33 et Annexe 10) les participants du cluster « **carné** » étaient ceux qui consacraient la plus grande part de leurs dépenses alimentaires aux protéines (+13 % par rapport à la moyenne). Le cluster « **sain-végétalisé** », quant à lui, affichait les dépenses protéiques les plus faibles (-41 %), suivi des clusters « **fast-food** » (-5 %) et « **lacté** » (-3 %). L'analyse de la structure des dépenses protéiques montre que les clusters « **carné** », « **lacté** » et « **fast-food** » concentraient leurs dépenses principalement sur les protéines carnées. Le cluster « **sain-poisson** » consacrait l'essentiel de ses dépenses protéiques aux poissons, tandis que le cluster « **sain-végétalisé** » dépensait plus pour les protéines issues des oléagineux.

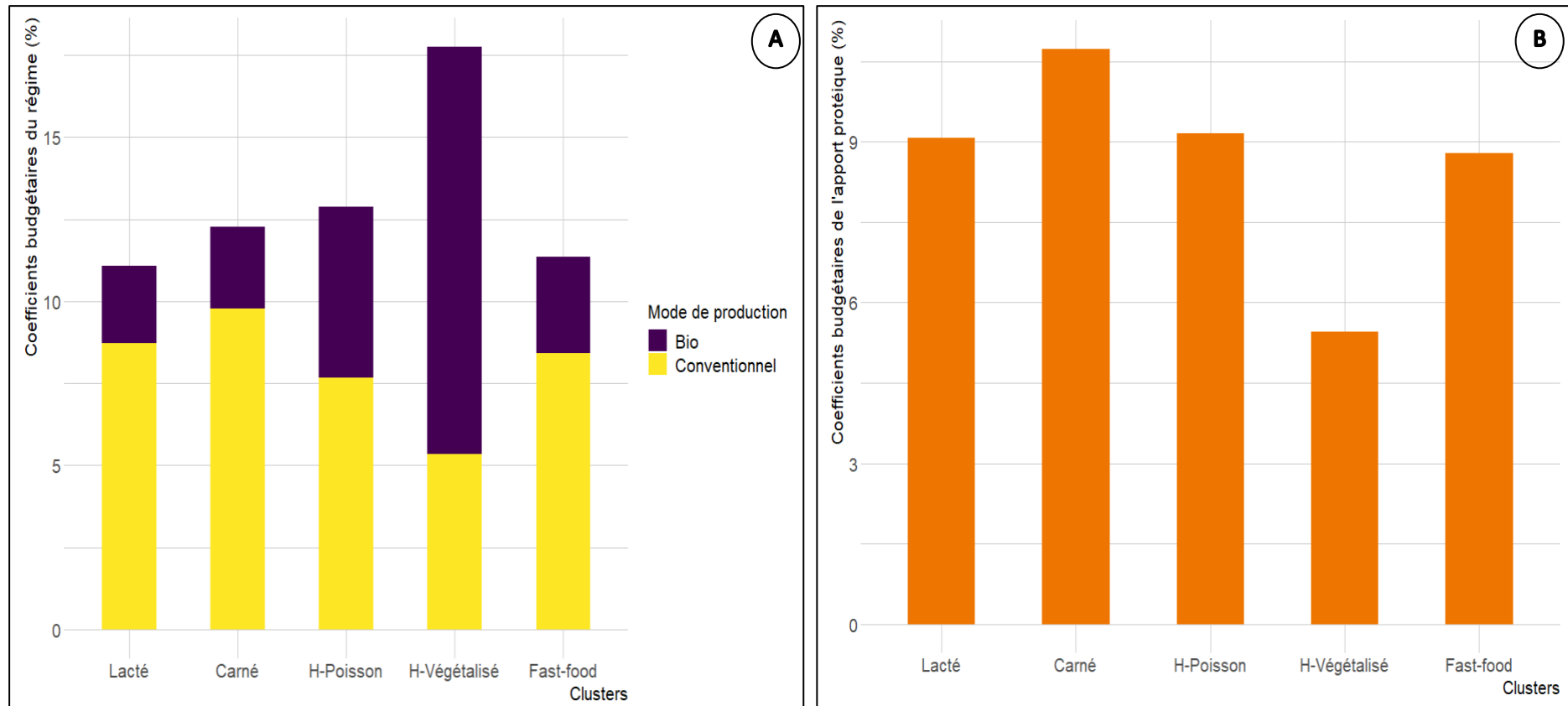


Figure 33 : Coefficients budgétaires alimentaires selon les clusters et le mode de production (A) ; Coefficients budgétaires protéiques selon les clusters (B)¹

¹ Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées sur l'énergie des coefficients budgétaires, estimées à l'aide d'un modèle ANCOVA.

Le panneau A présente les coefficients budgétaires alimentaires selon les clusters en fonction du mode de production (biologique / conventionnel). Le panneau B présente les coefficients budgétaires protéiques selon les clusters.

Estimation de l'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense en alimentation globale

Pour analyser les clivages potentiels liés à la dépense du régime global, nous avons cherché à comprendre si l'adoption d'un type de régime alimentaire (appartenance à un cluster protéique) nécessitait l'allocation d'une dépense plus ou moins importante. Les résultats du modèle, visant à isoler l'effet de l'appartenance à un cluster protéique sur le niveau de dépense, en contrôlant pour le revenu journalier moyen, le niveau d'éducation et l'apport énergétique total, sont détaillés en **Annexe 11**. L'exclusion de l'interception permet d'interpréter les coefficients des clusters comme les niveaux moyens de dépense associés à chaque régime alimentaire.

Tous les paramètres du modèle étaient fortement significatifs, avec un $R^2 = 0,94$, signifiant que 94% de la variance de la dépense alimentaire totale est expliquée par ce modèle.

Les résultats mettent en évidence des différences marquées entre les clusters. À apport énergétique, revenu et niveau d'éducation équivalents, l'adoption du régime « **sain-végétalisé** » s'accompagne d'une dépense moyenne journalière de 4,55 €, soit un montant nettement supérieur à celui observé pour les régimes « **lacté** » (0,68 €), « **carné** » (1,41 €) ou encore « **fast-food** » (1,57 €). Le régime « **sain-poisson** », bien que moins onéreux que le « **sain-végétalisé** », présente également un niveau de dépense élevé (2,58 €). Notons que la dépense plus élevée pour le cluster « **sain-végétalisé** » est expliquée par une consommation plus importante de produits bio, qui coûtent plus cher que les produits conventionnels. Ces écarts, statistiquement significatifs ($p < 0,0001$), soulignent que les régimes les plus alignés avec les principes de durabilité nutritionnelle et environnementale sont également ceux qui mobilisent les niveaux de dépense les plus élevés.

Par ailleurs, les variables socioéconomiques introduites dans le modèle confirment un effet positif du revenu sur la dépense alimentaire ($\beta = 0,0050$, $p < 0,0001$) et un effet inverse du niveau d'éducation ($\beta = -0,0228$, $p < 0,0001$). Ces résultats suggèrent que les individus disposant de ressources économiques plus importantes tendent à allouer une part plus élevée de leur budget à l'alimentation, tandis que ceux ayant un niveau d'éducation plus élevé semblent davantage optimiser leur dépense, à apport calorique constant.

Dans l'ensemble, cette analyse met en lumière une tension structurelle entre durabilité nutritionnelle et accessibilité économique.

Estimation de l'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense en apport protéique

Dans un second temps, l'analyse a porté plus spécifiquement sur la dépense protéique totale, afin d'évaluer les différences de dépenses associées à l'adoption de chaque régime alimentaire,

indépendamment des variations liées au niveau de revenu, d'éducation, d'apport énergétique et apport protéique. Les résultats du modèle de régression linéaire à effets fixes, incluant à la fois les effets linéaires et quadratiques du revenu et de l'éducation, ainsi que les apports énergétiques et protéiques totaux, sont présentés en **Annexe 12**. Les effets fixes des régimes permettent ici de comparer directement les niveaux moyens de dépense protéique associés à chacun des profils alimentaires, à paramètres socioéconomiques et nutritionnels constants.

Tous les paramètres du modèle sont significatifs, avec un $R^2 = 0.95$, signifiant que 95% de la variance de la dépense alimentaire totale est expliquée par ce modèle. Les résultats indiquent que le revenu exerce un effet positif mais à rendements décroissants tel que la dépense protéique augmente avec le revenu, mais de manière de moins en moins marquée à mesure que celui-ci s'élève. Le niveau d'éducation présente également un effet non linéaire, traduisant une hausse modérée de la dépense jusqu'à un certain seuil, suivie d'une diminution au-delà.

Tous les régimes alimentaires présentent des niveaux estimés de dépense protéique relativement faibles, avec des valeurs comprises entre $-0,09$ € pour le régime « **cariné** » et $-0,28$ € pour le régime « **lacté** », toutes choses égales par ailleurs. Ces coefficients, bien que négatifs dans l'absolu du fait de la spécification sans constante, doivent être interprétés de manière relative : ils permettent de comparer les régimes entre eux, à caractéristiques nutritionnelles et socioéconomiques identiques.

Ainsi, Le régime « **cariné** » présente la dépense protéique la plus élevée parmi les profils étudiés, traduisant une consommation marquée de protéines animales, souvent plus onéreuses que les sources végétales ou certaines alternatives industrielles, suivi du régime « **sain-poisson** ». Les régimes « **lacté** » et « **fast-food** » apparaissent comme ceux mobilisant les plus faibles dépenses protéiques. Le régime « **sain-végétalisé** » se distingue en particulier par une dépense protéique modérée, en contraste avec son coût alimentaire global plus élevé, ce qui suggère un recours plus fréquent à des sources végétales de protéines, généralement moins onéreuses. Ces résultats soulignent l'importance de dissocier les postes de dépense selon les composantes nutritionnelles, pour mieux comprendre les logiques économiques associées à l'adoption de régimes plus durables.

Analyse du rôle du revenu dans les comportements de consommation protéique

Les moyennes des dépenses en apport protéique par catégorie sociale (basée sur le revenu) et par groupe alimentaire sont présentées en **Annexe 13**. Notons que 46% de la population étudiée appartient à la classe aisée, 42% à la classe moyenne et 12% à la classe populaire.

Les montants absolus de dépense en protéines étant très faibles dans l'ensemble de l'échantillon (de l'ordre de quelques millièmes d'euros par jour), certaines valeurs apparaissent sous la forme « 0 (0) »

dans les tableaux, en raison de l'arrondi lié au format d'affichage. Toutefois, ces valeurs ne sont pas nulles mais simplement proches de zéro. Afin de faciliter l'interprétation, l'analyse a porté prioritairement sur les variations relatives entre groupes (exprimées en pourcentage) et sur leur significativité statistique, évaluée à l'aide d'analyses de variance (ANOVA). Cette approche comparative est cohérente avec l'objectif de l'étude, qui vise à identifier des différences structurelles entre groupes plutôt qu'à interpréter des valeurs absolues de dépense.

Les résultats montrent que la dépense protéique est différente selon la catégorie sociale. La dépense protéique totale de la classe aisée est supérieure de 4% à la moyenne de la population alors que celle de la classe populaire est inférieure de 8%. Par source protéique, la dépense protéique de la classe aisée est plus importante pour les boissons alcoolisées (+15%), le poisson (+10%), les produits céréaliers complets (+6%), la viande rouge (5%) et les produits laitiers (+4%), contre une dépense plus faible de la classe populaire pour ces mêmes aliments. La classe populaire alloue une dépense plus importante pour les produits à base de soja (+34%), les légumineuses (+29%), les pommes de terre (+12%), les « fast-food » (+12%), les oléagineux (+8%), le lait (+8%) et les céréales raffinées (+6%), et pour lesquelles la dépense de la classe aisée est moindre.

Dans le cadre de l'analyse des dépenses protéiques à cluster constant décrite plus haut (Chapitre 4, Section 3.1.2.b), les groupes d'aliments retenus pour l'analyse sont : viande rouge, poisson et produits céréaliers complets, produits à base de soja, légumineuses, « fast-food », lait et céréales raffinées. La structure des dépenses protéiques dans les régimes alimentaires, par catégorie sociale, pour les groupes d'aliments significatifs retenus est présentée en **Annexe 14**.

Les résultats montrent que la classe aisée dépense plus que la moyenne de la population pour son apport protéique total quel que soit le régime adopté. Inversement la classe populaire dépense moins. Les clusters « **carné** » et « **sain-poisson** » montrent les différences les plus marquées entre catégories sociales (la dépense de la classe populaire est inférieure de 7% comparée à la moyenne de la population pour les 2 clusters).

Par ailleurs, quel que soit le régime adopté, la classe aisée dépense plus que la moyenne pour son apport protéique provenant de la viande rouge, du poisson et des produits céréaliers complets. L'inverse est observé chez la classe populaire, pour les 5 régimes. Pour les autres groupes alimentaires prisés par la classe populaire, l'analyse par régime fait apparaître des résultats différents entre les classes sociales. Pour les produits à base de soja et les légumineuses, quelle que soit la catégorie sociale, les adeptes des différents régimes, à l'exception du régime « **sain-poisson** », ont des dépenses protéiques indifférenciés (p values > 0.1). La dépense protéique des céréales raffinées est plus élevée pour la classe populaire quel que soit le régime adopté. Pour le régime « **sain-poisson** », les dépenses

protéiques pour l'ensemble de ces groupes d'aliments (à l'exception du « fast-food ») sont différentes en fonction du revenu, et suivent les mêmes tendances que la dépense protéique totale.

Nous concluons ainsi qu'en adoptant le même régime alimentaire, les personnes appartenant à différentes classes sociales n'ont pas les mêmes dépenses protéiques pour les différentes sources de protéines. Par exemple, un individu appartenant au cluster « **carné** » et à la classe populaire dépense moins en viande rouge (-10%) et plus en « fast-food » (+9%).

Analyse du rôle du niveau d'éducation dans les comportements de consommation protéique

Les résultats montrent que la dépense protéique des personnes ayant fait des études supérieures est différente de celle des personnes qui n'en ont pas fait (Primaire/Secondaire) (**Annexe 15**). Le groupe d'individus n'ayant pas fait d'études supérieures dépense plus en apport protéique provenant de la viande rouge (+10%), pommes de terre (+10%) et fruits (+15%). Leur dépense est cependant inférieure à la moyenne de la population pour les « fast-food » (-12%), les jus de fruits (-9%), les légumineuses (-9%) et les produits céréaliers complets (-5%).

Inversement, les individus ayant fait des études supérieures dépensent plus pour leur apport protéique provenant des « fast-food » (+6%), des jus de fruits (+5%), des légumineuses (+5%) et des produits à base de soja (+4%). Leur dépense est cependant inférieure à la moyenne pour les fruits (-8%) la viande rouge (-5%) et les pommes de terre (-5%).

Dans le cadre de l'analyse des dépenses protéiques à cluster constant décrite plus haut (Chapitre 4, Section 3.1.2.b), les groupes d'aliments retenus pour l'analyse sont : viande rouge, poisson, produits céréaliers complets, produits à base de soja, légumineuses et céréales raffinées. La structure de la dépense protéique en fonction du niveau d'éducation par cluster pour ces groupes alimentaires est présentée en **Annexe 16**.

Les résultats montrent que la différence en termes de dépense protéique totale entre les 2 niveaux d'éducation n'est significative que pour les clusters « **lacté** » et « **sain-végétalisé** ». Par groupes d'aliments, et pour ces deux clusters, la différence de la dépense reste statistiquement significative pour la viande rouge et le poisson (les individus n'ayant pas fait d'études supérieures y consacrent une plus grosse dépense), alors qu'elle ne l'est pas pour les produits à base de soja, les légumineuses et les produits complets. Pour les autres clusters, notamment « **carné** », « **fast-food** » et « **sain-poisson** » la dépense protéique totale n'est pas impactée par le niveau d'éducation.

Par groupe d'aliments, la dépense protéique allouée à la viande rouge est significativement différente entre les deux niveaux d'éducation, quel que soit le régime adopté. Les individus n'ayant pas fait d'études supérieures y consacrent une plus grosse dépense.

3.2. Évaluation dynamique (2014-2022) des profils de trajectoires alimentaires

3.2.1. Cadre d'analyse

Après avoir évalué la durabilité des régimes alimentaires caractérisés par la nature de leurs apports protéiques, cette deuxième étape vise à approfondir l'analyse en considérant non plus des régimes statiques, mais des trajectoires alimentaires inscrites dans le temps. En effet, si la typologie protéique permet d'identifier des profils contrastés en matière de durabilité, elle ne renseigne pas sur la dynamique des changements alimentaires ni sur leurs conséquences en termes d'impacts environnementaux et sanitaires.

Dans la continuité de la modélisation des profils de trajectoires alimentaires sur huit ans (Chapitre 4, Section 1.3), il apparaît essentiel d'évaluer dans quelle mesure ces trajectoires s'inscrivent dans un chemin de durabilité, tel que défini dans le cadre conceptuel mobilisé en introduction. Comme déjà souligné, la transition vers des régimes durables fait désormais consensus dans les sphères scientifique et politique, mais sa mise en œuvre reste complexe, notamment du fait de la difficulté à articuler les différentes dimensions de la durabilité, environnementale, nutritionnelle, sanitaire, économique et culturelle (77,238).

Sans reprendre en détail les constats développés précédemment, il est important de rappeler que les systèmes alimentaires constituent aujourd'hui un levier majeur d'atténuation des pressions environnementales, mais également un déterminant central de la santé publique. Dans ce contexte, une approche intégrée est nécessaire pour objectiver les bénéfices ou risques associés aux évolutions réelles des comportements alimentaires.

Cette partie du travail a pour objectif d'évaluer la durabilité des profils de trajectoires alimentaires identifiés dans la cohorte NutriNet-Santé, en mobilisant une batterie d'indicateurs couvrant les dimensions environnementale (émissions de GES), nutritionnelle (PNNS-GS2, cDQI, pDQI, aDQI) et sanitaire (DALYs² évités). Elle s'inscrit dans une perspective systémique et longitudinale, en rupture avec les approches transversales classiques, et vise à fournir des éléments concrets pour guider la transition alimentaire à partir des pratiques réellement observées dans la population.

3.2.2. Méthodologie spécifique

Dans cette étude, nous avons repris les profils de trajectoires alimentaires définis précédemment (Chapitre 4, Section 1.3), et réalisé une analyse multicritère de leur durabilité alimentaire. Deux des

² DALYs : Années de Vie Corrigées de l'Incapacité

quatre dimensions définies par la FAO (77) pour caractériser les régimes alimentaires durables ont été explorées: l'impact environnemental et la dimension nutritionnelle et sanitaire.

La dimension environnementale a été évaluée à travers les émissions de gaz à effet de serre (GES) (Chapitre 3, Section 3.3), tandis que la dimension nutritionnelle a été estimée à l'aide du degré d'adhésion aux recommandations alimentaires françaises (PNNS-GS2) et par trois indices de qualité nutritionnelle de l'alimentation : le cDQI et ses deux composantes aDQI et pDQI (Chapitre 3, Section 3.1).

Des indicateurs complémentaires ont également été pris en compte, à savoir la part des protéines végétales et celle des aliments issus de l'agriculture biologique dans l'alimentation. Ces deux dimensions sont associées à des bénéfices documentés pour la santé humaine et l'environnement. Un apport plus élevé en protéines végétales est en effet lié à une réduction du risque de maladies chroniques et à des émissions de GES plus faibles que celles associées aux protéines animales (44,119,189,239,240). De même, une consommation plus importante de produits biologiques est corrélée à une moindre exposition aux pesticides de synthèse et à des bénéfices environnementaux tels que la réduction de la pollution chimique de l'eau et des sols et l'amélioration de la biodiversité (68,231–235).

Les évolutions des indicateurs liés à la durabilité, ont été analysées à l'aide de modèles mixtes multivariés (Chapitre 3, Section 4.4). Pour chaque modèle, la variable dépendante correspondait à un indicateur de durabilité donné. Les variables indépendantes comprenaient les profils de trajectoire (**P**), le temps, leur interaction, ainsi que le sexe, l'âge et l'apport énergétique total. Des effets aléatoires ont été considérés afin de tenir compte des mesures répétées ordonnées pour chaque individu.

Les moyennes ajustées des moindres carrés (LSmeans) des indicateurs de durabilité, ajustées sur le sexe, l'âge et l'apport énergétique, ont été estimées pour chaque profil de trajectoire aux trois temps de suivi : 2014, 2018 et 2022.

Pour permettre les comparaisons entre profils, des variations en pourcentage des indicateurs ont été calculées à l'inclusion (2014) relativement au profil de référence (**P0**), tel que défini dans le chapitre 4, section 1.3. En parallèle, des variations en pourcentage intra-profils ont été estimées pour évaluer l'évolution des indicateurs de durabilité au cours de la période d'étude (2014–2022).

L'évaluation des risques pour la santé a été réalisée à l'aide du cadre méthodologique Comparative Risk Assessment (CRA), via le modèle EpiDiet (Evaluate the Potential Impact of a Diet) (Chapitre 3, Section 3.2.2). Cette approche a permis d'estimer l'impact des trajectoires alimentaires sur les issues de santé à l'échelle des profils, sur la période 2014-2022, à travers les DALYs évités (Années de vie

corrigées de l'incapacité), tout en identifiant les contributions spécifiques de certains groupes d'aliments aux variations modélisées des risques sanitaires.

L'analyse s'est déroulée en deux étapes :

Une première estimation ponctuelle des DALYs évités a été réalisée pour chaque profil en 2014 et en 2022, par rapport au scénario de référence (population totale en 2014). Une valeur positive indique une amélioration de la santé par rapport à la situation de référence, tandis qu'une valeur négative traduit un risque accru.

Ensuite, l'évolution des DALYs évités entre 2014 et 2022 a été calculée pour chaque profil, afin d'évaluer l'effet des changements alimentaires dans le temps. Une évolution positive témoigne d'une réduction du risque sanitaire au sein du profil, tandis qu'une évolution négative indique une dégradation du profil de santé.

Enfin, nous avons analysé la contribution spécifique de chaque groupe d'aliments à la variation des DALYs évités dans le temps. Pour chaque profil, le modèle a estimé l'effet des changements de consommation de chaque groupe alimentaire sur la réduction du fardeau sanitaire. Ces estimations ont permis de mieux comprendre l'influence relative de chaque groupe sur les gains de santé observés entre 2014 et 2022.

Pour permettre les comparaisons entre profils, des variations en pourcentage des DALYs évités ont été calculées à l'inclusion et sur la période d'étude, selon la méthode précédemment décrite. Une décomposition des contributions absolues a été appliquée pour exprimer la contribution relative de chaque groupe d'aliments aux DALYs évités, en normalisant les valeurs positives et négatives par rapport à la somme absolue totale propre à chaque profil.

3.2.3. Résultats principaux

A titre de rappel, les six profils de trajectoires alimentaires identifiés se présentait comme suit :

- **P0** (Profil moyen) : Niveaux de consommation moyens au départ, avec une hausse des aliments végétaux et de la viande transformée.
- **P1** (majoritairement masculin) : forte consommation initiale de viande de ruminants, abats et boissons alcoolisées ; plus forte hausse de viande transformée.
- **P2** (revenus modestes) : consommation élevée de produits gras salés ou sucrés, mais transition nette vers plus d'aliments végétaux.
- **P3** : régime très végétal au départ, mais augmentation de la viande de ruminants au fil du temps.

- **P4** (majoritairement féminin) : consommation stable et élevée de poissons et végétaux, forte baisse de boissons alcoolisées.
- **P5** (majoritairement masculin) : consommation très élevée de produits animaux, avec hausse des poissons et végétaux.

Les résultats de l'analyse multicritère des profils sont présentés dans la **Figure 34** (évolution des indicateurs de durabilité), la **Figure 35** (DALYs évités et contributions des groupes d'aliments), ainsi que dans le **Tableau 19** (valeurs des indicateurs de durabilité au cours du temps).

a. Apport énergétique total

Le profil **P5** présentait l'apport énergétique total (AET) le plus élevé à l'inclusion (+13 %), suivi des profils **P2** (+9 %), **P1** (+8 %) et **P3** (+6 %), en comparaison avec le profil de référence **P0** (2040 kcal/jour). Le profil **P4**, qui affichait l'AET le plus faible à l'inclusion (2027 kcal/jour), était le seul à ne pas présenter de diminution de l'apport énergétique au cours du temps. Les valeurs détaillées sont disponibles dans le **Tableau 19** et la **Figure 34**.

b. Qualité de l'alimentation

À l'inclusion, les profils **P3** (+20 %) et **P4** (+19 %) affichaient les meilleurs scores cDQI, tandis que le profil **P2** présentait le score le plus bas (-10 %) par rapport au profil de référence **P0** (47,78 points). Entre 2014 et 2022, les plus fortes améliorations du cDQI ont été observées pour **P0** (+13 %), suivi de **P2** (+10 %) et **P5** (+9 %), avec des augmentations plus modestes pour **P3** et **P4** (+7 %) et la plus faible pour **P1** (+4 %). L'amélioration était principalement portée par la composante végétale du score (pDQI).

Concernant l'adhésion aux recommandations alimentaires françaises, les scores PNNS-GS2 les plus élevés à l'inclusion étaient observés pour les profils **P3** (+208 %) et **P4** (+126 %) par rapport à **P0** (1,76 points). À l'opposé, les profils **P5** (-123 %), **P1** (-122 %) et **P2** (-59 %) présentaient les plus faibles niveaux d'adhésion. L'ensemble des profils a montré une amélioration du PNNS-GS2 au fil du temps, avec les hausses les plus importantes pour **P5** (+174 %), **P1** (+151 %) et **P2** (+139 %), contre des augmentations plus limitées pour **P0** (+57 %), **P3** (+22 %) et **P4** (+12 %).

Initialement plus élevés dans les profils **P3** (+94 %) et **P4** (+19 %) par rapport à **P0** (30 % de l'apport protéique total), les apports en protéines végétales ont augmenté dans tous les profils à un rythme relativement similaire. Les valeurs détaillées sont présentées dans le **Tableau 19** et la **Figure 34**.

c. Risque sanitaire

À l'inclusion, les profils **P3** et **P4** affichaient les niveaux les plus élevés de DALYs évités (+363 % et +292 % respectivement), traduisant un risque sanitaire plus faible. À l'inverse, le profil **P5** présentait le risque le plus élevé, avec 159 % de DALYs évités en moins par rapport à **P0**. Entre 2014 et 2022, l'augmentation la plus importante du nombre de DALYs évités a été observée pour **P2** (+70 %), suivi de **P0** (+70 %) et **P1** (+39 %). À l'inverse, les profils **P4** et **P5** ont connu une baisse des DALYs évités (-7 % et -0,5 % respectivement).

Les contributions des groupes d'aliments aux DALYs évités indiquent que la réduction du risque sanitaire observée entre 2014 et 2022 était principalement liée à la diminution de la consommation de viande rouge, contribuant de 8 % (**P4**) à 53 % (**P1**) aux DALYs évités. L'augmentation de la consommation de fruits et de produits céréaliers complets a également eu un effet favorable, notamment pour les profils **P0**, **P1**, **P2** et **P3**, les fruits contribuant de 7 % (**P0**) à 24 % (**P2**) et les produits céréaliers complets de 12 % (**P1**) à 32 % (**P0**).

En revanche, l'augmentation du risque sanitaire observée pour les profils **P4** et **P5** s'explique principalement par la hausse de la consommation de viande transformée, qui a eu un impact négatif sur les DALYs évités (-28 % pour **P5** et -19 % pour **P4**). Cette dégradation était également liée à la baisse de la consommation de fruits (-24 % pour **P4** et -9 % pour **P5**) et de légumes (-16 % pour **P4** et -13 % pour **P5**). Les valeurs détaillées figurent dans les **Tableaux 19** et **20** et la **Figure 35**.

Il convient de noter que les tendances observées pour certains groupes d'aliments peuvent légèrement différer selon l'approche statistique utilisée. Tandis que les analyses de trajectoires par modèles mixtes tiennent compte des co-variables telles que l'âge, le sexe et les mesures répétées, l'évaluation du risque sanitaire repose sur des moyennes ajustées pour l'énergie selon la méthode des résidus. Ces différences méthodologiques peuvent conduire à de légères divergences dans les tendances et doivent être prises en considération lors de l'interprétation des résultats.

d. Émissions de gaz à effet de serre

À l'inclusion, les émissions de GES liées à l'alimentation s'élevaient à 4,33 kg CO₂éq/j pour le profil **P0**. Comparativement, les émissions les plus élevées étaient observées pour les profils **P5** (+51 %) et **P1** (+12 %), tandis que les profils **P3** (-49 %) et **P4** (-18 %) affichaient les niveaux les plus faibles. Les émissions du profil **P2** étaient comparables à celles de **P0** (+1 %).

Entre 2014 et 2022, les émissions de GES du profil de référence **P0** ont diminué de 12 %. La plus forte réduction a été observée dans le profil **P5** (-14 %). Les baisses observées pour **P1** (-11 %), **P2** (-10 %) et

P4 (-9 %) étaient similaires à celle de **P0**, tandis que **P3** enregistrait la diminution la plus modérée (-5 %). Les valeurs détaillées sont disponibles dans le **Tableau 19** et la **Figure 34**.

c. Consommation d'aliments biologiques selon les profils

À l'inclusion, la part des aliments biologiques dans l'alimentation était de 23 % pour le profil **P0**. Cette part était nettement plus élevée pour le profil **P3** (+170 %) et, dans une moindre mesure, pour **P4** (+62 %). À l'inverse, les profils **P2** (-32 %) et **P5** (-28 %) affichaient des consommations moindres en produits biologiques par rapport à **P0**, tandis que **P1** présentait des niveaux similaires (-1 %).

Au cours du temps (2014–2022), la consommation de produits biologiques a augmenté dans le profil **P2** (+35 %), à un rythme comparable à celui observé pour le profil **P0** (+33 %). Des hausses ont également été enregistrées pour les profils **P5** (+12 %), **P3** (+11 %) et **P4** (+10 %), tandis que le profil **P1** connaissait une légère diminution (-7 %). Les valeurs détaillées figurent dans le **Tableau 19** et la **Figure 34**.

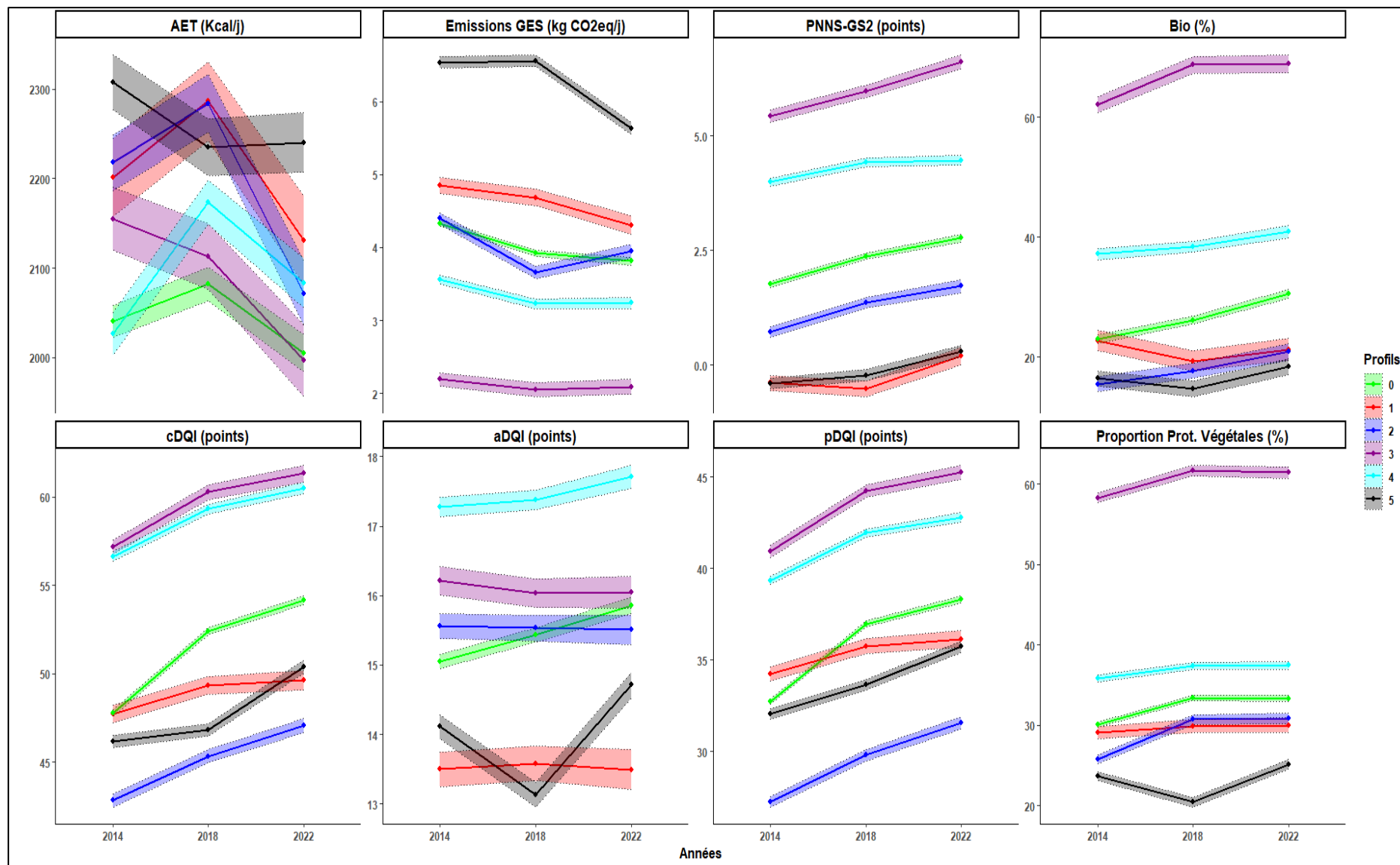


Figure 34 : Trajectoires d'évolution des indicateurs de durabilité (2014 à 2022) selon les profils, n = 17 187, étude NutriNet-Santé^{1,2}

Abréviations : AET, apport énergétique total (kcal/j) ; GES, émissions de gaz à effet de serre (kg CO₂éq/j) ; PNNS-GS2, score d'adhésion aux recommandations du Programme National Nutrition Santé ; cDQI, indice global de qualité de l'alimentation ; pDQI, indice de qualité d'alimentation végétale ; aDQI, indice de qualité d'alimentation animale ; Prot. végétales, protéines d'origine végétale.

¹ Pour l'ensemble des indicateurs, les valeurs correspondent aux moyennes des moindres carrés (IC) des scores ajustés pour le sexe, l'âge et l'apport énergétique total.

² L'axe des abscisses représente le temps (2014 ; 2018 ; 2022), et l'axe des ordonnées représente les scores des indicateurs.

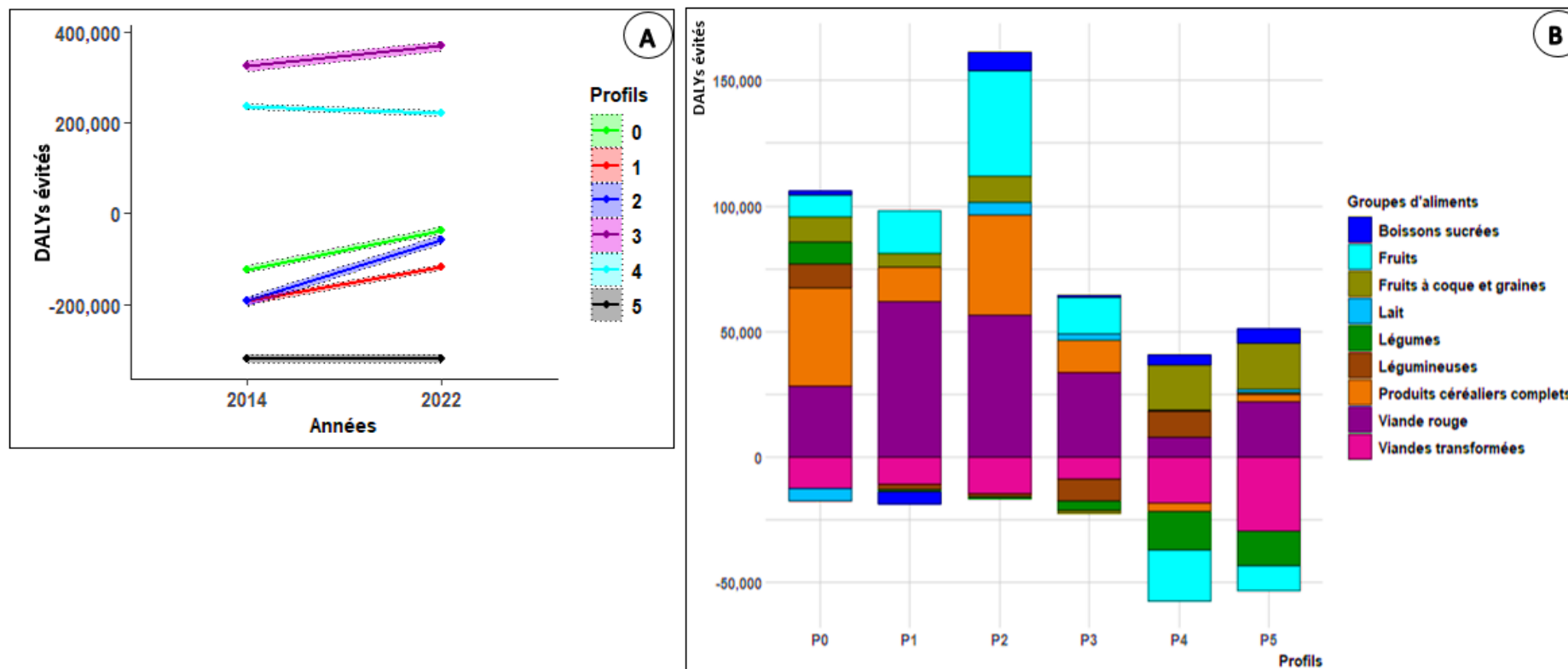


Figure 35 : DALYs évités au cours du temps (2014 à 2022) selon les profils (A)¹ ; Contribution des groupes d'aliments à la variation des DALYs évités entre 2014 et 2022 selon les profils (B)²

Le groupe d'aliments « viande rouge » comprend le bœuf, l'agneau, le porc, le mouton et la chèvre.

¹ (A) Des valeurs positives de DALYs évités indiquent une réduction du risque sanitaire pour le profil par rapport à l'échantillon global en 2014. Des valeurs négatives indiquent une augmentation du risque sanitaire pour le profil par rapport à l'échantillon global en 2014.

² (B) Des valeurs positives reflètent une réduction du risque sanitaire (augmentation des DALYs évités) entre 2014 et 2022, liée à l'évolution de la consommation alimentaire (hausse des aliments favorables à la santé et/ou baisse des aliments défavorables). Des valeurs négatives reflètent une augmentation du risque sanitaire (diminution des DALYs évités) sur la même période, liée à une consommation accrue d'aliments défavorables ou une baisse des aliments favorables.

Tableau 19 : Indicateurs de durabilité au fil du temps (2014–2022) selon les profils, n = 17 187, étude NutriNet-Santé^{1,2}

Indicateurs	P0		P1		P2		P3		P4		P5	
	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022
AET (Kcal/j)	2 040 (2 022; 2 058)	2 005 (1 984; 2 025)	2 201 (2 158; 2 245)	2 131 (2 082; 2 181)	2 218 (2 187; 2 249)	2 072 (2 035; 2 108)	2 155 (2 120; 2 190)	1 996 (1 957; 2 036)	2 027 (2 003; 2 051)	2 083 (2 055; 2 111)	2 307 (2 276; 2 338)	2 240 (2 207; 2 274)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,15	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,36	<0,0001	<0,0001	0,04
Emissions de GES (kg CO₂éq/j)	4,33 (4,28;4,37)	3,81 (3,76;3,86)	4,85 (4,74;4,96)	4,30 (4,17;4,43)	4,39 (4,31;4,47)	3,94 (3,85;4,04)	2,19 (2,10;2,28)	2,09 (1,98;2,19)	3,56 (3,49;3,62)	3,24 (3,16;3,31)	6,53 (6,45;6,61)	5,63 (5,54;5,72)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	0,69	0,17	0,17	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PNNS-GS2	1,76 (1,69;1,83)	2,76 (2,68;2,84)	-0,39 (-0,55;-0,22)	0,19 (0,00;0,39)	0,71 (0,60;0,83)	1,71 (1,57;1,85)	5,43 (5,30;5,56)	6,60 (6,45;6,76)	3,98 (3,89;4,08)	4,46 (4,35;4,57)	-0,40 (-0,52;-0,28)	0,29 (0,17;0,42)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,98	<0,0001	0,03	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
DALYs évités	-123 450 (-130 479; -116 421)	-37 087 (-44 193; -29 981)	-193 525 (-200 569; -186 481)	-118 125 (-125 003; -111 246)	-193 725 (-203 583; -183 866)	-57 333 (-66 672; -47 994)	324 272 (312 225; 336 318)	368 475 (358 363; 378 587)	236 587 (230 415; 242 760)	219 867 (213 502; 226 232)	-319 746 (-327 958; -311 534)	-321 063 (-330 403; -311 723)
Proportion d'aliments bio	0,22 (0,22;0,23)	0,30 (0,29;0,31)	0,22 (0,21;0,24)	0,21 (0,19;0,23)	0,15 (0,14;0,16)	0,20 (0,19;0,22)	0,62 (0,60;0,63)	0,68 (0,67;0,70)	0,37 (0,36;0,38)	0,40 (0,39;0,41)	0,16 (0,15;0,17)	0,18 (0,17;0,19)
P-valeur	ref	ref	0,80	<0,0001	<0,0001	0,0002	<0,0001	0,21	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
cDQI	47,77 (47,57;47,97)	54,15 (53,92;54,39)	47,72 (47,22;48,22)	49,64 (49,07;50,20)	42,82 (42,46;43,18)	47,07 (46,65;47,49)	57,17 (56,76;57,57)	61,32 (60,86;61,78)	56,62 (56,35;56,90)	60,50 (60,17;60,82)	46,16 (45,80;46,51)	50,41 (50,02;50,79)
P-valeur	ref	ref	0,8645	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
aDQI	15,04 (14,94;15,14)	15,86 (15,74;15,97)	13,49 (13,25;13,74)	13,49 (13,20;13,77)	15,56 (15,38;15,73)	15,50 (15,29;15,71)	16,21 (16,01;16,41)	16,04 (15,81;16,27)	17,27 (17,13;17,41)	17,71 (17,54;17,87)	14,11 (13,93;14,28)	14,71 (14,52;14,90)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,02
pDQI	32,72 (32,56;32,88)	38,29 (38,10;38,48)	34,21 (33,81;34,62)	36,14 (35,68;36,60)	27,25 (26,96;27,54)	31,55 (31,21;31,88)	40,94 (40,61;41,26)	45,26 (44,89;45,62)	39,34 (39,12;39,56)	42,78 (42,52;43,04)	32,04 (31,75;32,32)	35,71 (35,40;36,02)
P-valeur	ref	ref	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	<0,0001
Proportion de protéines végétales	0,30 (0,29;0,30)	0,33 (0,32;0,33)	0,29 (0,28;0,29)	0,29 (0,29;0,30)	0,25 (0,25;0,26)	0,30 (0,30;0,31)	0,58 (0,57;0,58)	0,61 (0,60;0,62)	0,35 (0,35;0,36)	0,37 (0,36;0,37)	0,23 (0,23;0,24)	0,25 (0,24;0,25)
P-valeur	ref	ref	0,03	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,71	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Abréviations : AET, Apport Energétique Total ; GES, Gas à Effet de Serre ; PNNS-GS2, Programme National Nutrition Santé-Guidelines Score 2 (score d'adhésion aux recommandations nutritionnelles françaises) ; cDQI, Comprehensive Diet Quality Index (indice global de qualité de l'alimentation) ; pDQI, plant-based Diet Quality Index

Chapitre 4 : Résultats

(indice de qualité de l'alimentation basée sur les végétaux) ; aDQI, animal-based Diet Quality Index (indice de qualité de l'alimentation basée sur les produits animaux) ; DALYs, Années de Vie Corrigées de l'Incapacité.

¹ Les valeurs correspondent aux moindres carrés moyens (IC à 95 %) des scores ajustés pour le sexe, l'âge et l'apport énergétique total, sauf pour l'apport énergétique total (AET), ajusté pour le sexe et l'âge uniquement.

² Les valeurs de p correspondent aux coefficients β des modèles à effets fixes. Les valeurs de p de 2014 indiquent la significativité de la différence de score initial entre chaque profil et le profil de référence (P0). Les valeurs de p de 2022 indiquent la significativité de la différence de variation dans le temps (2014–2022) entre chaque profil et le profil de référence (P0).

Tableau 20 : Contribution des groupes d'aliments à la variation des DALYs évités entre 2014 et 2022 selon les profils, n = 17 187, étude NutriNet-Santé^{1,2}

Groupes d'aliments	P0			P1			P2			P3			P4			P5		
	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ
Fruits	-44864	-36451	8413	-58334	-41334	17000	-56465	-14402	42063	30036	44505	14469	94728	74349	-20379	-66486	-76265	-9780
Légumineuses	-6701	3090	9791	-11506	-13513	-2007	-14874	-16091	-1217	49598	40716	-8881	-5557	4876	10434	-9333	-8297	1036
Lait	-3925	-8926	-5001	-12646	-12509	137	24306	29163	4856	-15811	-13082	2729	-459	-308	1501	-7192	-6297	895
Fruits à coque et graines	-20935	-10729	10205	-10627	-5159	5468	-24222	-13837	10385	56478	55273	-1205	5119	23011	17891	-26837	-8425	18412
Viandes transformées	8104	-4617	-12721	-5411	-16177	-10766	4287	-10361	-14648	23457	14829	-8627	16330	-2088	-18418	-17175	-46889	-29714
Viande rouge	4109	32184	28074	-57088	4901	61989	31268	87794	56526	116861	150598	33737	67373	75390	8018	-127205	-105151	22054
Boissons sucrées	6445	8164	1720	8742	3837	-4906	-31211	-23425	7786	16300	17152	852	6246	10411	4165	1119	7066	5947
Légumes	-4755	3797	8552	-11041	-11982	-941	-40267	-41200	-934	26363	22414	-3949	22495	7034	-15461	-13908	-27698	-13791
Produits céréaliers complets	-65738	-26584	39153	-45371	-31789	13583	-100156	-60233	39922	59223	71856	12633	43228	40109	-3119	-73830	-71018	2812
Total des DALYs évitées	-123450	-37087	86363	-193525	-118125	75400	-193725	-57333	136391	324272	368475	44203	236587	219867	-16720	-319746	-321063	-1317

Abréviations : P0 à P5 désignent les profils alimentaires 0 à 5 ; DALYs : Années de Vie Corrigées de l'Incapacité

¹ Les Δ (deltas) représentent la différence des DALYs évités entre 2014 et 2022 pour chaque profil, calculée en soustrayant la valeur initiale (2014) de la valeur finale (2022) à l'intérieur de chaque profil.

3.3. Points essentiels : Impacts des transitions alimentaires sur la durabilité

Cette partie évalue les impacts environnementaux, nutritionnels, sanitaires et économiques des régimes alimentaires, à la fois à la période de référence (2014) selon les types de régimes protéiques initiaux, et en dynamique (2014–2022) selon les profils de trajectoires identifiés.

À la période de référence (2014), analyse selon les cinq clusters protéiques :

- Sur le plan sanitaire, le cluster « **sain-végétalisé** » est celui qui présente le plus faible niveau de risque pour la santé, suivi du cluster « **sain-poisson** ». À l'inverse, le cluster « **carné** » est associé au risque sanitaire le plus élevé.
- Pour les impacts environnementaux, le cluster « **sain-végétalisé** » affiche les niveaux les plus faibles d'émissions de GES, tandis que le cluster « **carné** » présente les impacts les plus élevés.
- En termes de qualité nutritionnelle, les clusters « **sain-végétalisé** » et « **sain-poisson** » présentent les meilleures adhésions aux recommandations alimentaires françaises. À l'inverse, les clusters « **carné** » et « **fast-food** » obtiennent les scores les plus faibles.
- Du point de vue économique, le cluster « **sain-végétalisé** » consacre une part plus importante de son budget à l'alimentation, suivi du cluster « **sain-poisson** », et affiche une part de consommation biologique plus élevée. À l'inverse, les clusters « **lacté** » et « **fast-food** » allouent une part plus faible de leur budget à l'alimentation.
- Concernant les dépenses en protéines, les clusters « **carné** » et « **sain-poisson** » mobilisent la plus grande part du budget alimentaire pour les apports protéiques, tandis que le cluster « **sain-végétalisé** » se distingue par une dépense protéique modérée, en contraste avec son coût alimentaire global plus élevé.
- Le revenu exerce un effet positif mais à rendements décroissants tel que la dépense protéique augmente avec le revenu, mais de manière de moins en moins marquée à mesure que celui-ci s'élève.

L'analyse socio-économique croisée révèle un effet d'éviction du revenu :

- Dans un même régime, les classes sociales (basées sur le revenu) dépendent différemment selon les sources protéiques.
- En adoptant le même régime alimentaire, les personnes appartenant à différentes classes sociales n'ont pas les mêmes dépenses protéiques pour les différentes sources de protéines : Les clusters « **sain-poisson** » et « **carné** » sont les plus sensibles au revenu, avec des écarts de dépense marqués selon la classe sociale, suggérant un éventuel effet d'éviction.

- Le cluster « **sain-végétalisé** », en revanche, est insensible au revenu : les dépenses protéiques sont similaires entre classes sociales, suggérant une possible adoption par contrainte économique, et non uniquement par choix de santé ou d'environnement.

En dynamique (2014–2022) : Analyse selon les six profils de trajectoires alimentaires

- Les émissions de GES ont diminué dans tous les profils (entre -5 % et -14 %), avec une baisse maximale pour **P5** et minimale pour **P3**.
- L'adhésion aux recommandations nutritionnelles s'est améliorée dans l'ensemble des profils, avec un gain de score PNNS-GS2 allant jusqu'à +174 %. Le profil **P3** obtient le score le plus élevé, tandis que **P5** et **P1** restent les plus éloignés des recommandations.
- En termes de santé, les DALYs évités ont augmenté pour quatre profils grâce à la réduction de la viande rouge et l'augmentation des fruits et céréales complètes.
- **P2** a obtenu le plus grand bénéfice sanitaire, tandis que **P4** a enregistré la plus forte perte, en lien avec une hausse de la viande transformée.
- Les profils **P5** et **P4** ont vu leur bénéfice sanitaire limité, malgré une alimentation globalement plus qualitative pour **P4**, du fait de l'augmentation de la viande transformée.

4. Vers des régimes optimaux : ajuster les trajectoires pour une durabilité renforcée

4.1. Cadre d'analyse

Le dernier objectif de cette thèse est d'identifier des régimes alimentaires optimaux, à l'image d'un sentier de croissance économique équilibrée, qui permettraient à terme d'atteindre un état stable, durable et souhaitable pour la société (Chapitre 2, Section 1.1). La méthode retenue est une analyse ascendante « *bottom-up* », particulièrement adaptée pour formuler des recommandations concrètes et réalistes, visant à accélérer efficacement les transitions alimentaires vers une meilleure durabilité (Chapitre 2, Section 1.2). Cette démarche permet notamment de cibler précisément les leviers d'action ainsi que les groupes d'aliments les plus à même de favoriser la transition propre à chacun des profils alimentaires étudiés.

La question centrale de l'analyse est la suivante : compte tenu de la situation actuelle représentée par six profils distincts de trajectoires alimentaires définis à partir des données de consommation observées en 2022 (Chapitre 4, Section 1.3), quelles modifications seraient nécessaires pour atteindre un régime alimentaire optimal du point de vue de l'atténuation du changement climatique ?

Plus précisément, l'objectif consiste à déterminer pour chacun des six profils étudiés les consommations optimales des groupes alimentaires respectant les contraintes de durabilité, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre, tout en minimisant les écarts avec les habitudes alimentaires actuelles. Afin d'assurer une bonne acceptabilité et la faisabilité concrète des changements proposés, l'analyse s'appuie sur les consommations moyennes par profil. L'intégration de l'ensemble des groupes alimentaires permet par ailleurs une approche réaliste et applicable dans le cadre de recommandations opérationnelles futures.

4.2. Méthodologie spécifique

Les analyses d'optimisation ont été menées en s'appuyant sur les données recueillies en 2022 auprès d'un échantillon de 9095 individus (**Figure 36**) répartis en six profils alimentaires distincts (Chapitre 4, Section 1.3). Les consommations alimentaires ont été regroupées en 49 groupes distincts utilisés dans les modèles d'optimisation, puis regroupées en 25 groupes pour la description a posteriori des résultats des régimes alimentaires optimisés (**Tableau 21**). Pour assurer la pertinence nutritionnelle des régimes optimisés, les références nutritionnelles utilisées pour encadrer les apports minimaux et maximaux ont été définies séparément pour les hommes et les femmes (**Annexe 17**). Enfin, les facteurs d'émissions de gaz à effet de serre (GES) associés à chaque groupe alimentaire ont été intégrés à partir des données disponibles.

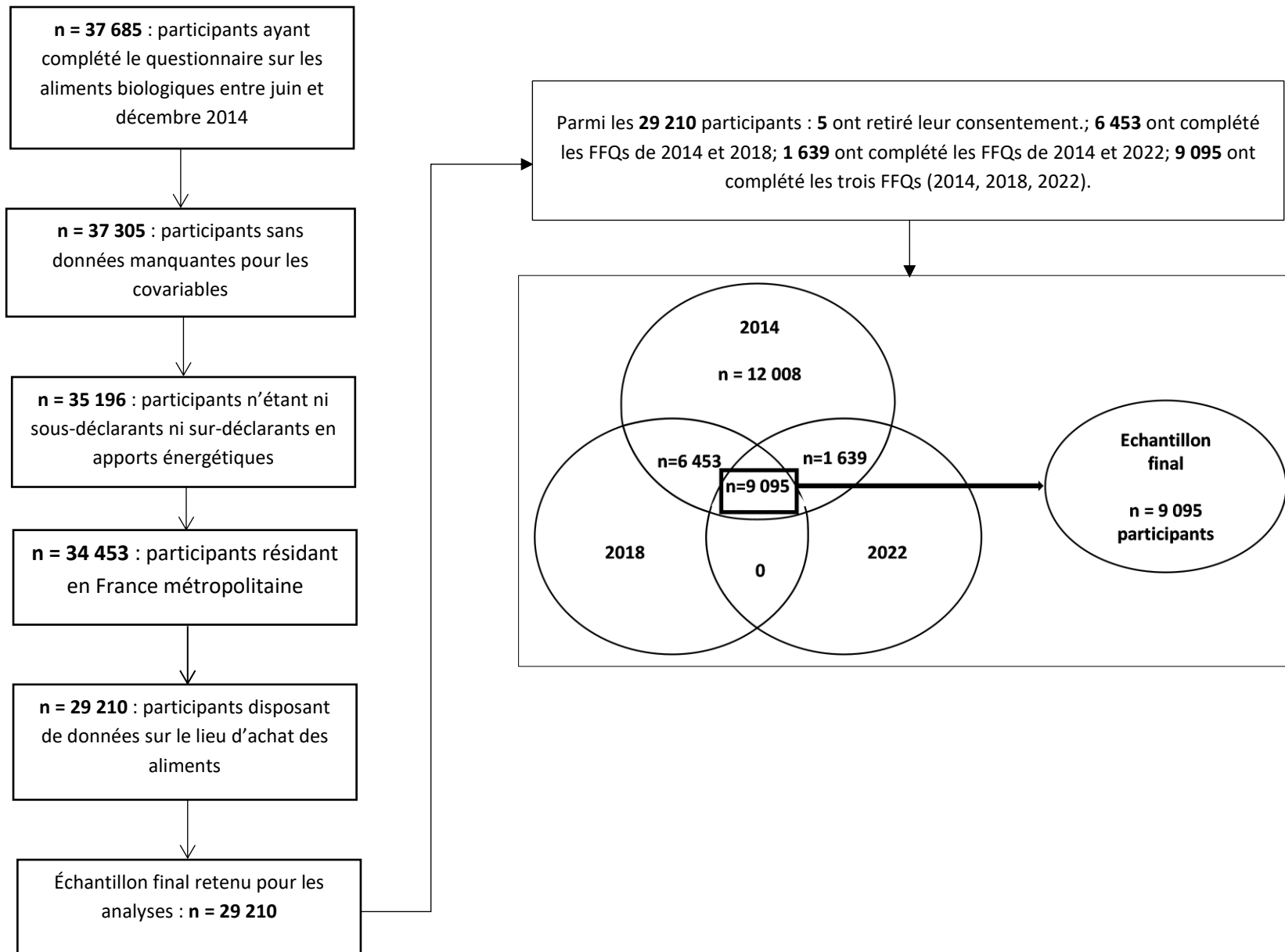


Figure 36 : Sélection de l'échantillon de l'étude

Tableau 21 : Nomenclature des groupes d'aliments utilisés dans l'étude

Groupes d'aliments utilisés dans la description des résultats (25)	Groupes d'aliments utilisés dans les modèles d'optimisation (49)	Composition
Abats	Abats	Abats
Beurre	Matière grasse animale	Beurre (inclus dans les matières grasses et sauces grasses)
Boissons alcoolisées	Boissons alcoolisées	Vins (rouge, blanc, rosé), bières, spiritueux (vodka, whisky, rhum), apéritifs alcoolisés
Boissons chaudes	Boissons chaudes	Thé, infusions, lait consommé avec le thé ou le café
Boissons sucrées	Boissons sucrées	Nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre), boissons végétales (hors soja)
Céréales raffinées	Céréales du petit déjeuner, pain blanc, riz blanc, autres céréales raffinées	Céréales de petit-déjeuner peu sucrées, pain, semoule, riz, pâtes
Fruits	Fruits, compotes	Fruits frais, fruits au sirop et compotes.
Fruits à coque	Noix, fruits secs	Amandes, noix, noisettes, noix de cajou, pistaches, pignons (non salés et non transformés), fruits secs
Huiles	Sauces, huiles	Huiles d'origine végétale, vinaigrettes prêtes à l'emploi, mayonnaise, sauces à base de crème, crème aigre, toutes sauces grasses
Jus de fruits	Jus de fruits	Jus de fruits 100 % pur jus, sans sucres ajoutés, hors nectars
Lait	Lait	Lait consommé seul (entier, demi-écrémé, écrémé), boissons lactées non aromatisées
Légumes	Légumes, soupes	Tous les légumes et soupes
Légumineuses	Légumineuses	Lentilles, pois chiches, haricots rouges, haricots blancs, fèves (hors préparations transformées ou mélangées au soja)
Œufs	Œufs	Œufs entiers, omelettes, œufs durs, œufs brouillés (hors plats cuisinés)
PGSS (Produits Gras Salés ou Sucrés)	Viennoiseries, produits gras et sucrés, snacks	Croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel et confitures, gâteaux, chips, oléagineux salés, biscuits salés
Poissons	Poissons maigres, poissons gras, crustacés	Poissons gras et maigres, mollusques, crustacés

Pommes de terre	Pommes de terre	Pommes de terre et autres tubercules
Porc	Porc	Porc
PPC (Plats préparés/composés)	Fast-foods, plats composés	Sandwichs, plats préparés tels que pizzas, hamburgers, raviolis, paninis, crêpes salées, etc.
Produits céréaliers complets	Riz complet, pain complet, autres produits céréaliers complets	Pain complet, riz complet, pâtes complètes, flocons d'avoine nature, céréales complètes sans sucre ajouté
Produits laitiers	Fromages, Fromages blancs, yaourts, autres produits laitiers	Yaourts, fromages frais, fromages
Substituts végétaux	Fromages à base de soja, yaourts à base de soja, lait de soja, boissons à base de soja, autres substituts végétaux	Tofu, substituts de viande à base de soja, galettes végétales, yaourts au soja, lait de soja
Viande de ruminants	Bœuf	Bœuf et agneau
Viande transformée	Charcuterie, jambon blanc	Jambon, saucisses, lardons, charcuterie, viande en conserve, viande panée industrielle
Volaille	Volaille	Poulet, dinde, canard, pintade (hors panures industrielles, fast-food et charcuterie de volaille)

Les optimisations ont été réalisées indépendamment pour chaque profil alimentaire et séparément pour les hommes et les femmes. À cette fin, un individu moyen représentatif a été construit pour chaque profil et chaque sexe ; pour les femmes, cet individu moyen reflète une combinaison équilibrée de 50 % de femmes ménopausées et 50 % non ménopausées. À l'issue des optimisations, des résultats descriptifs agrégés ont été produits pour chaque profil en calculant les moyennes pondérées selon les effectifs réels d'hommes et de femmes observés au sein de chaque profil.

La méthode d'optimisation détaillée est présentée dans le Chapitre 3, Section 4.5.

4.3. Résultats principaux

Caractéristiques générales des modèles d'optimisation

Tous les modèles développés pour les six profils alimentaires ont convergé de manière satisfaisante, assurant des résultats exploitables et cohérents avec les contraintes définies en amont. Chaque scénario génère un régime alimentaire optimisé respectant deux conditions majeures : d'une part, le maintien de la qualité nutritionnelle du régime par rapport à la situation observée (non-dégradation nutritionnelle), et d'autre part, le respect d'un seuil d'acceptabilité, basé sur une consommation inférieure au 99^{ème} percentile pour chaque groupe d'aliments. Ce cadre méthodologique, présenté en

détail dans le Chapitre 3, Section 4.5, vise à garantir la pertinence des régimes proposés, tant sur le plan sanitaire que comportemental ou culturel.

Les caractéristiques sociodémographiques des 9095 individus répartis au sein des six profils sont détaillées dans le **Tableau 22**. Ces profils présentent des différences en termes d'âge, de sexe, de revenu, de niveau d'éducation et de profession, des facteurs qui peuvent influencer les comportements alimentaires et les capacités à s'adapter à une transition.

A titre de rappel, les six profils de trajectoires alimentaires, reflétant des dynamiques contrastées, se présentent comme suit :

- **P0** (Profil moyen) : niveaux de consommation moyens au départ, avec une hausse des aliments végétaux et de la viande transformée.
- **P1** (majoritairement masculin) : forte consommation initiale de viande de ruminants, abats et boissons alcoolisées ; plus forte hausse de viande transformée.
- **P2** (revenus modestes) : consommation élevée de produits gras salés ou sucrés, mais transition nette vers plus d'aliments végétaux.
- **P3** : régime très végétal au départ, mais augmentation de la viande de ruminants au fil du temps.
- **P4** (majoritairement féminin) : consommation stable et élevée de poissons et végétaux, forte baisse de boissons alcoolisées.
- **P5** (majoritairement masculin) : consommation très élevée de produits animaux, avec hausse des poissons et végétaux.

La structure des modèles permet d'explorer toute une gamme de régimes en jouant sur le paramètre λ , qui module le poids accordé à la réduction des GES par rapport à la proximité avec le régime observé. Cette approche rend possible une analyse progressive des compromis entre durabilité environnementale et réalisme alimentaire (**Annexe 18**). L'interprétation des résultats débute par les scénarios extrêmes ($\lambda = 0$ et $\lambda = 1$), qui encadrent les solutions possibles, avant de décrire les scénarios intermédiaires, en particulier le scénario $\lambda = 0,1$, identifié comme un compromis pertinent.

Tableau 22 : Caractéristiques des participants dans l'échantillon total et dans les profils de trajectoires alimentaires (2022), n = 9 095, étude NutriNet-Santé^{1,2}

	Échantillon total	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P
Effectif	n = 9 095	3378	619	851	816	2572	859	
Sexe (%)								
Hommes	30,01	28,27	80,29	32,78	21,32	12,13	59,60	
Femmes	69,99	71,73	19,71	67,22	78,68	87,87	40,40	
Âge (années)	56,2 (11,9)	54,5 (12,2)	63,7 (8,4)	50,6 (14,0)	52,4 (12,2)	60,1 (9,0)	55,3 (11,5)	< 0,0001
Niveau d'éducation (%)								< 0,0001
Primaire	20,86	19,06	27,63	17,27	14,09	22,86	27,01	
Secondaire	14,60	13,59	12,28	15,16	13,24	16,56	15,13	
Supérieur	64,54	67,35	60,10	67,57	72,67	60,58	57,86	
Profession (%)								< 0,0001
Indépendant/agriculteur	1,46	1,48	1,13	1,88	1,35	1,17	2,21	
Cadres / professions intellectuelles	21,09	22,59	14,86	27,97	26,10	16,84	20,84	
Chômeur	7,61	8,05	3,23	6,70	12,01	7,31	6,64	
Employé / ouvrier	12,22	12,58	4,36	16,33	15,32	10,23	15,37	
Étudiant	0,81	0,92	0	2,23	1,35	0,27	0,70	
Professions intermédiaires	14,70	16,46	6,62	17,74	15,93	13,06	14,32	
Retraité	42,11	37,92	69,79	27,14	27,94	51,13	39,93	
Revenu mensuel par unité de consommation (%)								< 0,0001
Refus de répondre	5,09	4,77	3,39	5,99	5,02	6,07	3,84	
< 1200€/U.C.	8,98	9,30	4,36	12,69	12,38	7,31	9,20	
1200 - 1800€/ U.C.	21,20	21,94	16,96	20,21	23,16	19,63	25,15	
1800 - 2700€/ U.C.	27,84	27,21	26,66	29,73	25,49	28,89	28,41	
>2700€/ U.C.	36,89	36,80	48,63	31,37	33,95	38,10	33,41	
Lieu de résidence (%)								< 0,0001
Commune rurale	22,68	23,74	24,88	20,92	22,43	20,37	25,84	
Unité urbaine (<20,000 habitants)	15,59	14,83	16,80	13,63	14,95	16,21	18,39	
Unité urbaine (20,000 à 200,000 habitants)	18,36	17,64	17,45	19,04	19,00	19,91	15,95	
Unité urbaine (>200,000 habitants)	43,36	43,78	40,87	46,42	43,63	43,51	39,81	
Habitudes tabagiques (%)								< 0,0001
Jamais fumeur	49,09	51,01	25,36	63,22	52,45	48,33	43,77	
Ancien fumeur	41,88	38,84	60,58	28,91	41,05	45,22	44,00	

Chapitre 4 : Résultats

Fumeur actuel	9,03	10,15	14,05	7,87	6,50	6,45	12,22	
Activité physique (%)								< 0,0001
Faible	18,64	21,17	16,96	23,03	15,20	13,45	24,33	
Modérée	36,31	37,80	31,18	39,48	41,18	34,76	30,97	
Elevée	35,05	30,91	42,81	28,55	34,19	41,68	33,18	
Données manquantes	10,01	10,12	9,05	8,93	9,44	10,11	11,53	
IMC (kg/m²)	24,4 (4,6)	24,3 (4,2)	25,7 (4,0)	24,7 (4,9)	22,1 (3,7)	23,8 (4,4)	27,1 (5,4)	< 0,0001
AET (Kcal/jour)	2033 (636)	1957 (588)	2284 (707)	2086(672)	1964 (599)	1999 (618)	2265 (706)	< 0,0001
Emissions totales de GES (KgCO₂eq/jour)	3,672 (2,162)	3,607 (1,684)	4,967 (2,530)	3,764 (1,926)	1,915 (1,251)	3,075 (1,518)	6,358 (3,042)	< 0,0001
Part de consommation bio dans le régime (%)	35,04 (31,82)	30,68 (28,57)	21,14 (25,84)	21,63 (26,16)	71,20 (26,79)	42,59 (31,79)	18,50 (23,81)	< 0,0001

Abréviations : IMC, Indice de Masse Corporelle ; U.C., Unité de Consommation ; AET, Apport énergétique total ; GES, Gas à effets de serre.

¹ Les valeurs sont des moyennes (écart-type) ou des pourcentages selon le cas.

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide d'une ANOVA ou du test du Chi².

Scénarios extrêmes : entre continuité et rupture

Les scénarios extrêmes correspondant à $\lambda = 0$ et $\lambda = 1$ permettent d'explorer les deux pôles de la fonction objectif : d'un côté, la préservation maximale du régime observé, sans considération environnementale ; de l'autre, la minimisation des émissions de gaz à effet de serre, au prix d'un éloignement du régime initial. Ces deux extrêmes permettent de poser les bornes de l'espace des solutions envisageables.

Scénario $\lambda = 0$: continuité alimentaire sous contrainte nutritionnelle

Le scénario correspondant à $\lambda = 0$ traduit une stratégie d'optimisation centrée sur la continuité alimentaire. L'objectif est ici de maintenir les habitudes de consommation aussi proches que possible de celles observées, tout en respectant les contraintes nutritionnelles de non dégradation et les limites d'acceptabilité, définies par une consommation inférieure au 99^{ème} percentile pour chaque groupe d'aliment. Aucune contrainte environnementale n'est imposée dans ce cadre, ce qui permet d'observer les ajustements nécessaires pour satisfaire les exigences nutritionnelles sans introduire de rupture avec les pratiques alimentaires existantes.

Dans ce scénario, l'algorithme minimise la distance quadratique standardisée entre le vecteur optimisé et le vecteur observé, mais la solution peut s'en écarter pour deux raisons structurelles. Premièrement, plusieurs contraintes (indicateurs de faisabilité) sont non linéaires (ex. biodisponibilité du fer, ratios ou densités par kcal). L'observé est calculé comme moyenne des valeurs individuelles $E[f(X)]$, tandis que l'optimisation évalue ces mêmes indicateurs sur l'individu moyen $f(E[X])$. Par inégalité de Jensen, $E[f(X)] \neq f(E[X])$, le point observé peut donc se situer au voisinage immédiat, voire légèrement hors de l'ensemble faisable, ce qui oblige le solveur à s'en décaler minimalement pour garantir une faisabilité stricte. Deuxièmement, la standardisation par les écarts-types $sd_{j,p}^{obs}$ confère un coût différentiel aux écarts : modifier un groupe à forte variabilité intra-profil pénalise peu l'objectif, ces groupes servant alors de variables d'ajustement pour satisfaire simultanément minima et maxima nutritionnels au moindre DD². Il en résulte des substitutions cohérentes avec les contraintes actives : hausses de fruits, légumes, céréales complètes, légumineuses ((fortes densités des nutriments limitants, grands $sd_{j,p}^{obs}$) et baisses de produits gras salés et/ou sucrés, céréales raffinées. Ainsi, à $\lambda = 0$, la solution représente le point faisable le plus proche de l'observé, et ses écarts reflètent conjointement la non-linéarité des critères de faisabilité et la pénalisation hétéroscédastique induite par $sd_{j,p}^{obs}$.

Dans cette configuration, les émissions de gaz à effet de serre augmentent légèrement par rapport aux niveaux observés. Les valeurs s'étendent de 2,24 kg CO₂eq/j pour le profil **P3** à 6,19 kg CO₂eq/j pour le profil **P5**, soit des hausses comprises entre +2 % (**P5**) et +15 % (**P3**) par rapport aux niveaux d'émissions

observés. Cette élévation reflète le poids carbone des ajustements nutritionnels, en l'absence de mécanisme de compensation environnementale. Les valeurs des émissions de GES par profil sont détaillées dans la **Figure 37** et l'**Annexe 19**.

L'analyse des consommations optimisées révèle des évolutions modérées mais récurrentes dans l'ensemble des profils. Plusieurs groupes alimentaires voient leur consommation croître de façon systématique: substituts végétaux (+11% (**P5**) à +97% (**P1**)), légumes (+0% (**P2**) à +44% (**P3**)), produits céréaliers complets (+8% (**P5**) à +29% (**P0**)), boissons sucrées (+2% (**P5**) à +15% (**P2**)), lait (+8% (**P4**) à +111% (**P1**)), poissons (+0% (**P5**) à +41% (**P2**)), produits laitiers (+4% (**P4**) à +38% (**P1**)), viande de ruminants (+0% (**P5**) à +14% (**P2**)) et porc (+0% (**P5**) à +12% (**P2**)). À l'inverse, seules quelques baisses marginales sont observées, notamment pour la viande transformée (-0% (**P4**) à +12% (**P0**)) et les pommes de terre (-0% (**P2**) à -4% (**P3**)), sans disparition complète d'aucun groupe alimentaire (**Figure 38, Annexes 20 et 21**).

Du point de vue nutritionnel, ce scénario permet une amélioration ou un maintien des apports pour la majorité des nutriments. Les apports en fibres s'améliorent dans l'ensemble des profils, avec des hausses allant jusqu'à +13 % (**P0, P3**), en lien avec l'augmentation conjointe des fruits, des légumes, des légumineuses et des céréales complètes. Le fer biodisponible progresse également, notamment chez les individus du profil **P2** (+13 %), en cohérence avec une consommation accrue d'abats, de poissons, de viandes, de légumineuses et d'œufs. Une dynamique similaire est observée pour la vitamine B9, dont les apports augmentent dans tous les profils, avec une élévation maximale de +13 % chez les individus du profil **P3**, portée par la hausse des aliments végétaux riches en folates. Enfin, les apports en acides gras oméga-3 à longue chaîne (EPA+DHA) s'améliorent modérément, avec une hausse allant jusqu'à +35 % dans le profil **P2**, reflétant l'augmentation notable de la consommation de poissons dans ce groupe. Les valeurs détaillées des apports nutritionnels par profil sont disponibles en **Annexe 22**.

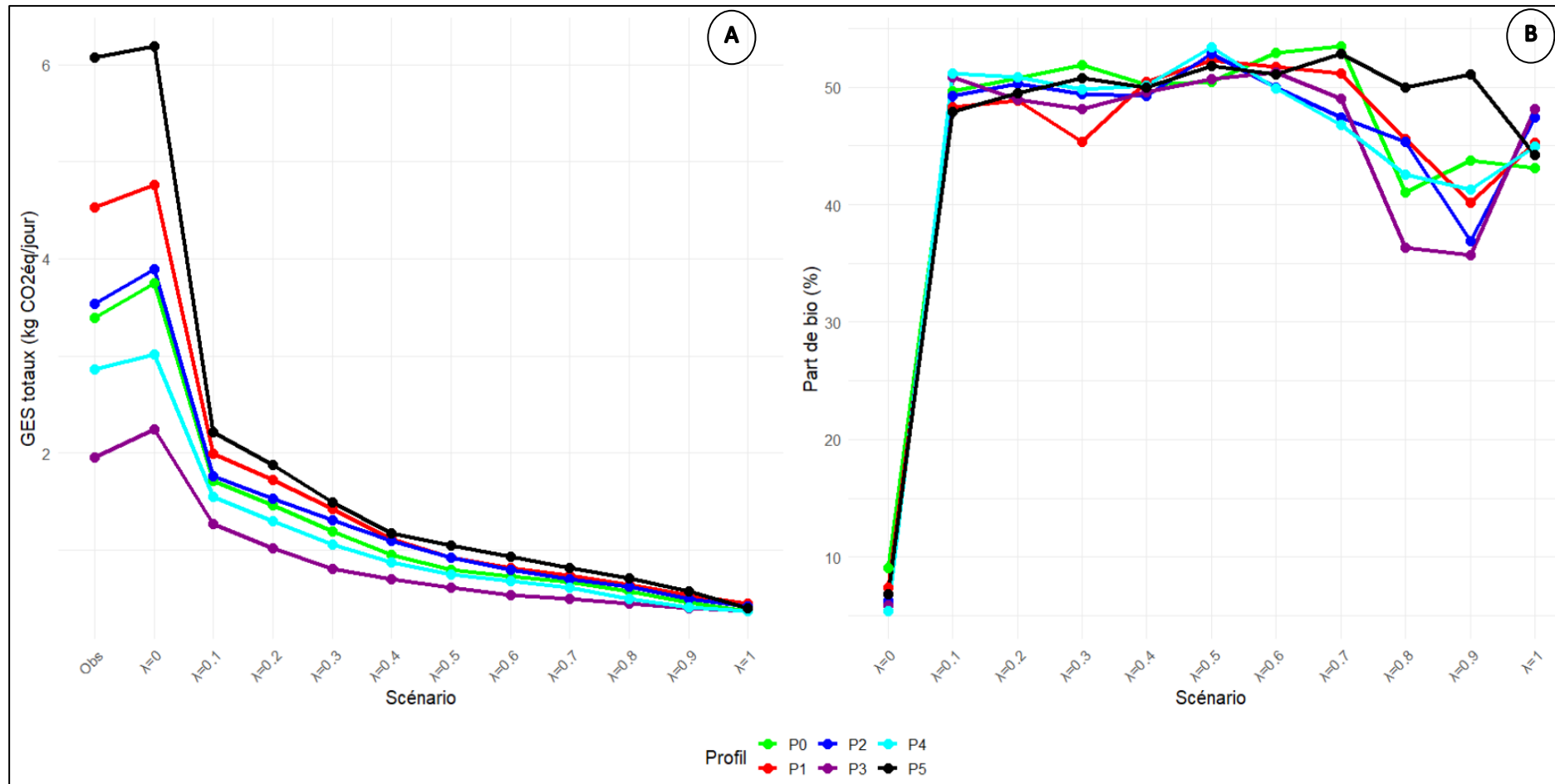


Figure 37 : Emissions de GES totales (A) et part d'aliments biologiques dans le régimes global (B) dans profils de trajectoires alimentaires selon les scénarios¹

Abréviations : GES, Gas à effets de serre (kg CO₂eq/j).

¹ Les valeurs correspondent aux moyennes pondérées, calculées à partir d'optimisations menées séparément par profil et par sexe, en tenant compte d'un individu moyen (50 % ménopausées / 50 % non ménopausées pour les femmes) et des effectifs réels (hommes/femmes) observés par profil.

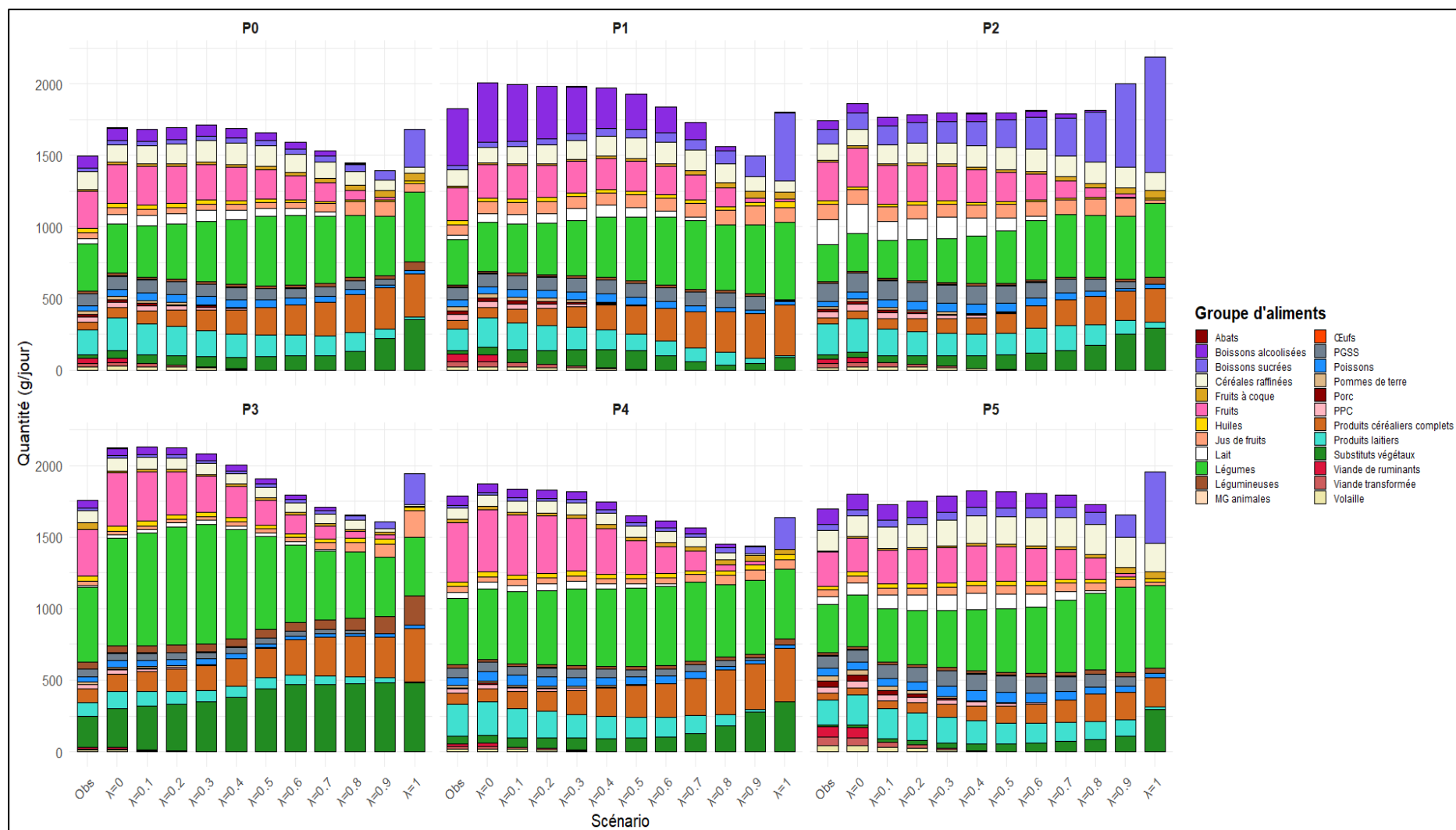


Figure 38 : Consommation alimentaires (g/jour) optimisées dans les profils de trajectoires alimentaires selon les scénarios^{1,2,3}

Les groupes d'aliments sont définis comme suit : la viande de ruminants comprend le bœuf et l'agneau ; les produits laitiers incluent les yaourts, fromages frais et fromages affinés ; les substituts végétaux comprennent le tofu, les substituts de viande à base de soja et les galettes végétales, les yaourts et boissons à base de soja ; les légumes

incluent tous les légumes ainsi que les soupes ; les fruits comprennent les fruits frais, les fruits au sirop et en compote, les fruits secs et les graines ; les poissons incluent les poissons gras et maigres, les mollusques et les crustacés ; les pommes de terre incluent les autres tubercules ; les céréales raffinées comprennent les céréales de petit-déjeuner peu sucrées, le pain, la semoule, le riz et les pâtes ; les produits gras sucrés, salés et (PGSS) incluent les croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel et confiture, gâteaux, chips, oléagineux salés, biscuits salés ; les plats préparés/composés (PPC) incluent les sandwichs et les plats préparés tels que pizzas, hamburgers, raviolis, paninis, crêpes salées, etc. ; les huiles incluent les huiles d'origine végétale et les assaisonnements prêts à l'emploi comme les vinaigrettes, sauces à base de mayonnaise ou de crème, crème aigre et toutes les sauces grasses ; les boissons sucrées incluent les nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre), et boissons végétales.

¹ Abréviations : PGSS, produits gras sucrés et/ou salés ; PPC, plats préparés ou composés.

² Les boissons chaudes ne sont pas présentées ici, leurs volumes élevés rendant peu lisibles les quantités des autres groupes alimentaires. La figure incluant les boissons chaudes est présentée en **Annexe 20**.

³ Pour chacun des 25 groupes d'aliments, les valeurs présentées correspondent aux moyennes pondérées, calculées à partir d'optimisations menées séparément par profil et par sexe, en tenant compte d'un individu moyen (50 % ménopausées / 50 % non ménopausées pour les femmes) et des effectifs réels (hommes/femmes) observés par profil.

Scénario $\lambda = 1$: une réduction maximale des émissions de GES au prix d'un bouleversement alimentaire

Le scénario $\lambda = 1$ correspond à une configuration dans laquelle l'optimisation vise exclusivement la réduction des émissions de gaz à effet de serre, en s'affranchissant de toute contrainte de proximité avec le régime alimentaire observé. Les seules limites imposées au modèle sont le respect des apports nutritionnels minimaux et le maintien des consommations en deçà du 99^{ème} percentile observé pour chaque groupe alimentaire. Ce cadre permet d'explorer les régimes théoriquement les plus performants sur le plan environnemental, indépendamment de leur faisabilité culturelle ou comportementale.

Dans ce scénario, les émissions de GES atteignent leur niveau le plus bas, avec des valeurs comprises entre 0,37 kg CO₂eq/j pour le profil **P0** et 0,45 kg CO₂eq/j pour le profil **P1**. Ces niveaux traduisent une réduction moyenne d'environ 87 % par rapport aux régimes observés, tous profils confondus. Un tel résultat s'explique par des transformations structurelles profondes dans la composition des régimes alimentaires (**Figure 37, Annexe 19**).

Certains groupes alimentaires connaissent une hausse de consommation importante, commune à l'ensemble des profils. Il s'agit notamment des substituts végétaux (+123% (**P3**) à +1570% (**P5**)), des boissons sucrées (+699% (**P2**) à +1294% (**P1**)), des produits céréaliers complets (+291% (**P3**) à +497% (**P1**)) et des boissons chaudes (+187% (**P4**) à +242% (**P1**)). Ces groupes à faible empreinte carbone deviennent les piliers des régimes optimisés dans ce scénario. Dans ce contexte, l'augmentation du groupe boissons chaudes s'interprète par leur efficacité carbone pour satisfaire les contraintes actives. Les sous-composants avec lait (café/thé au lait, chocolat chaud) apportent du calcium avec un coût carbone inférieur à celui de sources laitières plus émissives (notamment fromages et desserts lactés), tout en respectant plus aisément les bornes supérieures en AGS, sodium et glucides. L'optimisation réalloue ainsi une fraction des apports calciques (et énergétiques) vers ces boissons, après réduction de postes fortement émetteurs, comme les viandes rouges et les fromages. Par ailleurs, ce groupe présente une variabilité intra-profil élevée et des P99 élevés, ce qui autorise des hausses substantielles sans violer la contrainte d'acceptabilité. Au total, cette réallocation produit une diminution nette des GES tout en préservant les niveaux nutritionnels requis.

Parallèlement, d'autres groupes subissent des baisses marquées, sans pour autant disparaître totalement dans l'ensemble des profils : les produits laitiers (-79% (**P2**) à -100% (**P4**)), les abats (-45% (**P1**) à -100% (**P3, P4**)) et les poissons (-10% (**P2**) à -52% (**P5**)). Enfin, plusieurs groupes alimentaires sont entièrement supprimés de l'ensemble des régimes : viande de ruminants, porc, volaille, viande

transformée, œufs, lait, produits laitiers, matières grasses animales, pommes de terre, jus de fruits, fruits et boissons alcoolisées (**Figure 38, Annexes 20 et 21**).

La disparition massive des produits d'origine animale dans ce scénario entraîne des ajustements nutritionnels notables. L'ensemble des nutriments calculés respectent les contraintes considérées pour l'étude, mais plusieurs montrent des signes de tension, en particulier dans les profils initialement très consommateurs de viande et de produits laitiers. Les apports en fer biodisponible, bien qu'en recul dans les profils les plus carnés (-23 % pour **P5**, -11 % pour **P1**), restent supérieurs aux valeurs de référence. Fait notable, les profils les plus végétalisés initialement (**P3** et **P4**) voient leurs apports augmenter (+24 % et +14 % respectivement), grâce à la hausse de consommation des légumineuses, des produits céréaliers complets. Les variations du zinc biodisponible apparaissent plus contrastées. Si **P3** enregistre une légère hausse (+8 %), les autres profils, notamment **P0**, **P4** et **P5**, subissent des baisses allant jusqu'à -23 %. Les apports en vitamine B12 diminuent fortement dans l'ensemble des profils, avec des baisses allant de -7 % (**P3**) à -57 % (**P5**), en lien direct avec la suppression des aliments qui en constituent les principales sources (viandes, œufs, poissons, produits laitiers). Le calcium, affecté par la suppression du lait et des produits laitiers, affiche une baisse généralisée, de -7 % pour **P0** à -28 % pour **P2**. Les profils les plus dépendants des produits laitiers au départ sont logiquement les plus impactés. Du côté des lipides, les apports en acides gras EPA et DHA baissent considérablement pour les profils initialement riches en poisson, notamment **P4** (-55 %) et **P0** (-26 %), tandis que **P2** bénéficie d'un léger gain (+24 %). La vitamine A diminue également dans l'ensemble des profils, de -22 % à -38 %, en raison de la disparition des abats, des œufs et du lait. Une situation similaire est observée pour l'iode, fortement tributaire des produits laitiers et des poissons, avec des baisses allant jusqu'à -63 % pour **P3**. Seul **P5** affiche une légère hausse (+20 %). Enfin, les apports en protéines diminuent de manière variable selon les profils, allant de -1 % pour **P3**, dont la structure initiale était déjà végétalisée, à -39 % pour **P5**, très dépendant des produits animaux. Les valeurs détaillées des apports nutritionnels par profil sont disponibles en **Annexe 22**.

Transition progressive et point de bascule réaliste ($\lambda = 0,1$)

L'introduction d'un objectif environnemental, même faiblement pondéré dans la fonction d'optimisation, entraîne des effets marqués sur la structure des régimes alimentaires. Dès $\lambda = 0,1$, les émissions de gaz à effet de serre connaissent une diminution substantielle, allant de -35% pour le profil **P3**, initialement le moins émetteur (2,09 kg CO₂eq/j en 2022), à -64% pour le profil **P5**, caractérisé par les émissions les plus élevées au départ (5,63 kg CO₂eq/j). Ces résultats, détaillés dans la **Figure 37** et l'**Annexe 19**, témoignent de la sensibilité du système alimentaire à une légère réorientation des priorités. L'intensité de la réduction des GES s'accroît de manière continue au fil des scénarios : pour $\lambda = 0,9$, les émissions chutent de -79% (**P3**) à -91% (**P5**) selon les profils, tendant vers les valeurs atteintes

en configuration extrême ($\lambda = 1$). Ce gradient progressif permet d'identifier des points de bascule où les régimes deviennent à la fois plus sobres et plus éloignés des consommations alimentaires initiales. La réduction des émissions s'accompagne d'un changement structurel dans la nature des produits consommés, notamment à travers une hausse notable de produits issus de l'agriculture biologique. À partir de $\lambda = 0,1$, la part de produits bio atteint 50 % dans tous les profils (**Figure 37, Annexe 23**). Cette transition est portée principalement par certains groupes alimentaires dont la totalité de la consommation, dans les régimes optimisés, provient du bio : boissons alcoolisées, boissons sucrées, huiles, jus de fruits, lait, légumes, matières grasses animales et produits laitiers (**Annexe 23**). Il convient de préciser que si les émissions de GES sont généralement plus élevées en bio pour les produits animaux, elles sont au contraire plus faibles pour les productions végétales ; par conséquent, dès que l'optimisation induit une végétalisation des régimes pour réduire les GES, la part issue de l'agriculture biologique tend mécaniquement à augmenter.

Toutefois, les résultats montrent également que cette dynamique d'ajustement connaît un tournant à partir de $\lambda = 0,7$. Au-delà de ce seuil, les régimes optimisés s'éloignent fortement des pratiques alimentaires observées, traduisant un décalage structurel difficilement compatible avec les comportements réels. Ce basculement, illustré dans l'**Annexe 18**, marque l'entrée dans une zone dite « disruptive », où la transformation exigée du régime dépasse ce qui pourrait raisonnablement être accepté ou intégré à court terme.

Dans la continuité de l'approche adoptée dans la présente thèse, fondée sur une logique « *bottom-up* » attentive à la progressivité des changements et à leur faisabilité sociale, l'analyse porte un intérêt particulier au scénario correspondant à $\lambda = 0,1$. Ce niveau de pondération représente un compromis stratégique entre ambition environnementale et continuité alimentaire. Il constitue un point d'équilibre pertinent pour explorer des trajectoires réalistes d'évolution des régimes, compatibles avec les préférences actuelles tout en amorçant une transition vers davantage de durabilité.

Les modifications observées dans les régimes optimisés révèlent l'émergence de groupes alimentaires porteurs de la transition, communs à l'ensemble des profils, mais avec des amplitudes variables (**Tableau 23, Figure 38, Annexes 20 et 21**). Toutefois, certains de ces changements soulèvent des interrogations quant à leurs effets sur la santé à long terme. Plusieurs groupes alimentaires affichent des progressions nettes : substituts végétaux (+28% (**P5**) à +209% (**P1**)), produits céréaliers complets (+26% (**P5**) à +76% (**P0**)), poissons (+1% (**P5**) à +65% (**P2**)), légumes (+3% (**P2**) à +50% (**P3**)) et boissons sucrées (+5% (**P3**) à +31% (**P2**)). À l'inverse, certains groupes connaissent une diminution de leurs consommations dans tous les profils, bien que rarement une élimination. C'est notamment le cas de la viande de ruminants (-100% pour tous les profils), des abats (-28% (**P2**) à -51% (**P3**)), de la viande

transformée (-8% (P2) à -30% (P5)), du porc (-0% (P2) à -27% (P3)), des pommes de terre (-7% (P2) à -21% (P3)) et des produits préparés et composés (-6% (P5) à -21% (P3)). Ces réductions participent à la baisse des émissions de GES (**Figure 37, Annexe 19**) tout en contribuant à une amélioration du profil nutritionnel global (**Annexe 22**).

Au-delà des tendances communes, plusieurs groupes évoluent de manière différenciée selon les profils. Les fruits à coque, par exemple, augmentent chez **P0, P1, P2** et **P5** (+13 % à +36 %), mais diminuent sensiblement chez **P3** et **P4** (-63 % et -18 % respectivement). Les huiles stagnent chez **P2** et **P5**, progressent légèrement chez **P4** (+4 %) et reculent légèrement dans les profils **P0, P1** et **P3**. Le lait enregistre des hausses marquées dans quatre profils **P0, P1, P3** et **P5** (+71 % à +118 %), mais une baisse nette chez **P2** (-24 %). La même hétérogénéité s'observe pour les œufs, les jus de fruits, les produits laitiers, les PGSS et la volaille (**Tableau 23, Figure 38, Annexes 20 et 21**). Ces divergences reflètent des points d'ancrage différents selon les profils alimentaires de départ, et traduisent des marges de manœuvre spécifiques.

Sur le plan nutritionnel (**Annexe 22**), les apports optimisés présentent plusieurs évolutions notables. Le fer biodisponible reste globalement dans les seuils considérés pour l'étude, bien qu'en baisse dans certains profils (jusqu'à -25 % pour **P5**), en lien avec la diminution de la viande de ruminants. Cette baisse est partiellement compensée par l'augmentation des légumineuses, du poisson et des œufs. Une logique similaire s'applique au zinc biodisponible, avec des variations allant de -1 % (**P3**) à -15 % (**P5**), suggérant une substitution protéique efficace mais imparfaite. La vitamine B12 diminue dans l'ensemble des profils (-9 % (**P2**) à -30 % (**P5**)), avec des niveaux plus préoccupants dans les profils fortement dépendants des produits animaux. Cette baisse est atténuée, dans certains cas, par la hausse du poisson et des substituts végétaux. Néanmoins, les 99^{ème} percentiles des aliments végétaux potentiellement mobilisables sont relativement faibles, de sorte que l'enveloppe d'acceptabilité ne permet pas d'augmenter suffisamment leur consommation pour compenser le déficit observé. Les acides gras EPA et DHA, bénéfiques pour la santé cardiovasculaire et cognitive, progressent dans plusieurs profils grâce à l'augmentation du poisson (+2 % à +54 %), en particulier chez **P2**, tandis que **P5** enregistre une légère baisse (-4 %), en cohérence avec une moindre progression du poisson. Les apports en fibres connaissent une amélioration significative dans tous les profils (+10 % à +22 %), portée par la hausse de consommation des légumes, légumineuses et céréales complètes. La vitamine B9 (folates), également sensible aux variations de la composante végétale, augmente de +3 % à +14 %. Enfin, les acides gras saturés reculent nettement (-13 % à -19 %), traduisant la diminution des viandes grasses (viande de ruminants, porc, viande transformée) et des matières grasses animales.

Tableau 23 : Consommations alimentaires (g/jour) observées en 2022 et pour le scénario $\lambda = 0,1$ par profil¹

Groupes d'aliments	P0		P1		P2		P3		P4		P5	
	Obs	$\lambda = 0,1$	Obs	$\lambda = 0,1$	Obs	$\lambda = 0,1$	Obs	$\lambda = 0,1$	Obs	$\lambda = 0,1$	Obs	$\lambda = 0,1$
Abats	1,52	0,96	2,67	1,87	1,32	0,95	0,72	0,35	1,56	0,93	3,14	2,13
Boissons alcoolisées	84,66	84,47	394,63	393,99	60,88	59,65	51,88	50,04	61,82	60,28	108,85	110,11
Boissons chaudes	778,96	858,89	793,7	881,01	614,53	644,13	775,89	855,42	963,51	1000,36	711,24	748,3
Boissons sucrées	26,7	30,08	34,42	40,68	101,45	132,57	18,24	19,24	19,09	20,15	41,63	44,76
Céréales raffinées	126,33	127,66	114,09	120,12	115,8	128,67	85,13	84,01	77,68	79,99	143,52	151,05
Fruits	255,08	267,84	226,09	229,75	272,14	268,09	330,11	343,98	415,54	418,43	236,74	238,47
Fruits à coque	13,21	17,99	10,18	12,66	11,93	15,89	43,96	16,46	26,47	21,72	9,32	10,53
Huiles	30,5	29,7	30,23	29,22	20,35	20,41	35,14	34,36	30,83	32,13	26,93	26,89
Jus de fruits	42,43	44,94	77,08	81,63	107,95	99	25,63	26,4	38,94	39,11	48,28	50,4
Lait	35,3	69,48	29,22	63,68	174,98	132,86	13,18	22,59	44,45	45,18	51,22	98,75
Légumes	330,35	359,5	317,25	347,3	259,96	267,89	525,13	789,41	464,47	500,13	338,13	368,25
Légumineuses	16,52	17,53	14,19	14,66	11,84	12,34	46,23	50,38	19,23	19,77	17,99	18,72
MG animales	3,71	3,67	3,35	3,33	3,11	3,08	3,54	3,2	3,31	3,12	3,54	3,53
Œufs	14,25	16,09	12,84	13,33	12,47	14	20,79	19,66	18,55	18,38	15,79	16,11
PGSS	80,83	88,46	86,67	93,13	125,8	132,05	49,9	48,47	62,52	61,08	86,73	92,29
Poissons	40,26	55,54	48,57	54,71	34,99	57,7	39,12	42,33	56,49	66,72	53,88	54,43
Pommes de terre	23,25	20	29,38	26,51	19,69	18,39	15,83	12,51	15,93	14	35,26	28,8
Porc	15,86	14,85	24,47	21,86	14,93	15,07	4,22	3,08	10,05	8,67	43,12	33,79
PPC	38,16	34,33	42,78	39,2	44,17	41,18	28,44	22,53	28,16	24,91	44,45	41,63
Produits céréaliers complets	53,36	93,84	59,99	95,6	43,58	73,91	95,71	137,19	78,73	114,64	43,99	55,45
Produits laitiers	173,94	216,83	146,15	186,75	216,49	184,64	96,36	104,13	223,67	206,06	173,34	207,86
Substituts végétaux	26,81	60,54	28,65	88,41	25,79	52,39	216,46	302,45	50,94	66,73	17,78	22,84
Viande de ruminants	31,67	0	49,7	0	30,8	0	9,11	0	20,72	0	71,95	0
Viande transformée	27,73	20,53	39,02	31,33	28,85	26,58	9,56	7,14	18,48	15,4	57,58	40,27
Volaille	20,21	23,56	20,12	19,71	17,9	22,72	11,49	7,45	17,33	15,98	42,65	28,45

Abréviations : PGSS, produits gras sucrés et/ou salés ; PPC, plats préparés ou composés.

¹ Les valeurs correspondent aux moyennes pondérées, calculées à partir d'optimisations menées séparément par profil et par sexe, en tenant compte d'un individu moyen (50 % ménopausées / 50 % non ménopausées pour les femmes) et des effectifs réels (hommes/femmes) observés par profil.

4.4. Points essentiels : Optimisation des régimes alimentaires vers un optimum de durabilité

Réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)

- Tous les scénarios ont respecté les contraintes nutritionnelles et d'acceptabilité (consommations \leq P99).
- Le scénario $\lambda = 0,1$, qui accorde un faible poids à la réduction des GES, permet déjà une diminution substantielle : de -35 % (**P3**) à -64 % (**P5**) des émissions, par rapport aux régimes observés.
- À $\lambda = 1$, les régimes atteignent une réduction maximale, de l'ordre de -87 %, au prix d'une rupture complète avec les consommations initiales.

Transitions alimentaires différenciées mais cohérentes

Groupes porteurs communs à tous les profils (scénario $\lambda = 0,1$) :

- En hausse : légumes, légumineuses, produits céréaliers complets, poissons, substituts végétaux, boissons chaudes et sucrées.
- En baisse : viande de ruminants (éliminées), viandes transformées, volaille, matières grasses animales, abats, pommes de terre.

Ces ajustements s'opèrent sans élimination brutale, à l'exception des viandes de ruminants (supprimées dès $\lambda = 0,1$).

Impacts nutritionnels

Améliorations notables avec $\lambda = 0,1$:

- Fibres : +10 % à +22 %.
- Vitamine B9 : +3 % à +14 %.
- EPA+DHA : jusqu'à +54 % selon les profils.
- Acides gras saturés : -13 % à -19 %.

Risques à surveiller :

- Fer et zinc biodisponibles : baisse modérée dans certains profils, compensée partiellement par des aliments végétaux.
- Vitamine B12 : baisse généralisée (jusqu'à -30 %), liée à la réduction des produits animaux.
- Calcium et iode : fragilité dans les scénarios extrêmes.

Augmentation du bio dès $\lambda = 0,1$

- 50 % des aliments consommés proviennent de l'agriculture biologique dès ce niveau de pondération.
- Huit groupes sont entièrement consommés en version bio dans tous les profils, notamment les légumes, produits laitiers, jus, huiles, boissons sucrées et boissons alcoolisées.

Point de rupture à $\lambda \geq 0,7$

Au-delà de ce seuil, les régimes deviennent disruptifs, trop éloignés des habitudes alimentaires pour être considérés comme réalistement adoptables.

Vers des régimes optimaux : ajuster les trajectoires pour une durabilité renforcée

Chapitre 5 : Discussion Générale

1. Résumé des principaux résultats

Dans ce travail, nous avons adopté le cadre théorique d'un « sentier de durabilité », inspiré des travaux sur le sentier de croissance économique, qui part de l'observation des pratiques effectives pour tracer une trajectoire menant vers un optimum de durabilité. Cette approche consiste à ancrer l'analyse dans les comportements alimentaires réels, en les replaçant dans une dynamique temporelle et multidimensionnelle, afin d'objectiver les conditions et leviers d'une transition alimentaire durable.

Dans cette perspective, en adoptant une approche « *bottom-up* », ce travail a permis de caractériser les dynamiques de transition en France entre 2014 et 2022 à partir des pratiques alimentaires effectives. La première étape de cette démarche a consisté à établir un diagnostic de la diversité des régimes alimentaires, en prenant comme axe de différenciation la nature des apports protéiques. Ce choix repose sur l'hypothèse, soutenue par la littérature, que l'origine des protéines consommées constitue un marqueur pertinent de la durabilité des régimes alimentaires, à la fois en raison de ses implications environnementales, mais aussi nutritionnelles et économiques.

L'analyse a permis d'identifier cinq groupes de consommateurs aux profils protéiques distincts. Le cluster « **lacté** » se caractérisait par des contributions élevées du lait et des boissons non alcoolisées, tandis que le cluster « **carné** » se distinguait par une consommation majorée de viande rouge, volaille et viande transformée. Le profil « **fast-food** » regroupait des individus dont l'alimentation reposait sur une forte consommation de fast-food et d'aliments gras et sucrés. De manière contrastée, les clusters « **sain-poisson** » et « **sain-végétalisé** » présentaient des régimes marqués respectivement par des apports élevés en poissons, oléagineux, produits céréaliers complets et végétaux, puis en produits à base de soja, légumineuses, oléagineux, légumes et produits céréaliers complets. Ces résultats confirment que la nature des protéines consommées reflète des modes alimentaires globalement différenciés.

À partir de cette typologie initiale, il est apparu essentiel de replacer ces régimes dans une dynamique temporelle, afin de caractériser les trajectoires de consommation sur la période 2014-2022. L'analyse longitudinale des consommations a révélé plusieurs tendances significatives. La consommation de certains aliments végétaux sains a progressé, notamment les fruits à coque (+59 %), les légumineuses (+22 %) et les produits céréaliers complets (+7 %), tandis que celle d'aliments moins favorables à la santé a diminué, comme les viandes rouges (-19 %), les céréales raffinées (-18 %) ou les boissons sucrées (-15 %). Dans le même temps, la consommation de plats préparés et/ou composés (+16 %) et de viande transformée (+35 %) a continué de croître, illustrant une transition ambivalente. Ces

évolutions se sont traduites, de manière globale, par une amélioration du score de qualité de l'alimentation (cDQI), bien que l'ampleur des changements diffère selon le sexe et les groupes sociaux. Pour dépasser une lecture moyenne des dynamiques alimentaires, une modélisation des trajectoires individuelles a permis d'identifier six profils distincts d'évolution sur huit ans. Un profil présentait des apports moyens (**P0**), tandis que d'autres affichaient des trajectoires plus spécifiques : deux profils, majoritairement masculins (**P1** et **P5**), étaient davantage axés sur la consommation de viande de ruminants, l'un (**P1**) étant également associé à une forte consommation de boissons alcoolisées et l'autre (**P5**) présentant la consommation la plus élevée de produits animaux. À l'inverse, deux autres profils (**P3** et **P4**) étaient plus orientés vers des régimes végétalisés : l'un, composé principalement de femmes (**P4**), maintenait une consommation élevée de poissons et d'aliments végétaux, tandis que l'autre (**P3**) montrait une augmentation de la consommation de viande de ruminants au fil du temps. Un profil caractérisé par des niveaux de revenus généralement plus faibles (**P2**) se distinguait par une consommation élevée d'aliments gras salés ou sucrés, mais montrait également la plus forte augmentation de la consommation d'aliments d'origine végétale. Ces trajectoires alimentaires révélaient des améliorations de certains indicateurs de durabilité, bien que l'ampleur de ces changements variait fortement selon les profils. Ces profils traduisent la coexistence de dynamiques contrastées au sein de la population française, certaines s'alignant partiellement avec les objectifs de durabilité, d'autres les contredisant.

Dans un second temps, l'analyse a porté sur les déterminants individuels socio-économiques associés à ces évolutions différenciées. Alors que le revenu et le niveau d'éducation apparaissaient corrélés aux niveaux de consommation initiaux, la profession se révélait déterminante dans les changements observés au cours du temps. Ainsi, une progression de la consommation d'aliments d'origine végétale a été observée chez les étudiants et les catégories professionnelles supérieures, suggérant que certaines catégories sociales sont davantage engagées dans une transition favorable à la durabilité. Ces résultats s'inscrivent dans une lecture structurelle de la transition alimentaire, en cohérence avec les cadres théoriques des déterminants sociaux de la santé.

Ensuite, la troisième partie du travail a permis d'évaluer les impacts des régimes et trajectoires identifiés à travers une approche multicritère de la durabilité. À la période initiale de 2014, les clusters « *sain-végétalisé* » et « *sain-poisson* » s'imposaient comme les plus durables, combinant une faible empreinte environnementale (-62 % et -19 % sur l'indicateur pReCiPe) et un faible risque sanitaire (Health Risk Score à 0,25 et 0,53). À l'inverse, le cluster « *carné* » présentait les impacts environnementaux (+33 %) et sanitaires les plus élevés (HRS : 0,95), et le score nutritionnel le plus faible (-61 % pour le PNNS-GS2). D'un point de vue économique, le cluster « *sain-végétalisé* » consacrait la part la plus élevée de son budget à l'alimentation (+46 %), suivi du cluster « *sain-poisson* »

(+8 %), une différence en partie liée à la forte proportion d'aliments biologiques. Cependant, en proportion du budget alloué aux protéines, le cluster « **carne** » apparaissait le plus coûteux (+13 %), tandis que le cluster « **sain-végétalisé** » présentait la dépense la plus faible (-41 %).

Sur le plan dynamique, les résultats indiquent que les trajectoires alimentaires observées entre 2014 et 2022 s'accompagnent d'améliorations notables en matière de durabilité. Les émissions de gaz à effet de serre ont diminué dans tous les profils (de -5 % à -14 %), la qualité nutritionnelle des régimes s'est améliorée (PNNS-GS2 de +12 % à +174 %), et les risques sanitaires ont globalement reculé, notamment grâce à la baisse de consommation de viande rouge et à l'augmentation des apports en céréales complètes et en fruits. Toutefois, ces bénéfices n'étaient pas uniformes : pour les profils **P4** et **P5**, la hausse de la viande transformée a conduit à une dégradation de l'indicateur sanitaire. Ces résultats soulignent l'intérêt d'évaluer les trajectoires sur le long terme, en dépassant les analyses transversales, et confirment la pertinence d'une lecture intégrée des dimensions environnementale, nutritionnelle, sanitaire et économique.

Enfin, l'étude d'optimisation prolonge l'analyse des profils trajectoires alimentaires en évaluant, pour chaque profil, leur potentiel d'évolution vers un régime plus durable. Elle constitue l'aboutissement du cadre du « sentier de durabilité » en positionnant un état optimal, défini à partir d'un compromis entre soutenabilité environnementale, qualité nutritionnelle et acceptabilité. Le scénario correspondant à $\lambda = 0,1$ a été retenu comme référence, en cohérence avec l'approche progressive défendue dans cette thèse. Il permet déjà de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 35 % à 64 % selon les profils, sans rupture majeure avec les habitudes alimentaires. Cette transition s'appuie sur une augmentation des produits végétaux (céréales complètes, légumineuses, légumes, substituts végétaux) et une diminution des viandes, notamment de ruminants, supprimées dans tous les profils. Des améliorations nutritionnelles notables sont observées (fibres, folates, EPA/DHA, acides gras saturés), tandis que certains nutriments sensibles à la réduction des produits animaux (fer, zinc, vitamine B12, iode) appellent à une vigilance différenciée selon les profils. Par ailleurs, la part de produits biologiques atteint 50 % dès ce stade, concentrée sur plusieurs groupes clés. À partir de $\lambda = 0,7$, les régimes deviennent trop éloignés des consommations observées pour être réalistement adoptables, confirmant la pertinence du scénario intermédiaire comme dernière étape potentiellement atteignable d'un « sentier de durabilité ».

Dans l'ensemble, ces travaux montrent que la transition alimentaire est bien en cours en France, mais qu'elle reste partielle, hétérogène et socialement différenciée. En identifiant les profils de consommation et les déterminants et impacts associés, cette recherche fournit des éléments essentiels pour l'élaboration d'interventions ciblées, adaptées à la diversité des pratiques et des contraintes, en faveur d'un système alimentaire plus durable.

2. Discussion générale des résultats

2.1. Dynamiques alimentaires en France entre 2014 et 2022

Au cours de la période 2014-2022, notre étude a permis d'observer des évolutions significatives dans les habitudes alimentaires des adultes français. On note notamment une augmentation marquée de la consommation d'aliments d'origine végétale considérés comme favorables à la santé, tels que les légumineuses, les fruits à coque et les produits céréaliers complets. Dans le même temps, la consommation d'aliments jugés moins favorables à la santé a diminué, qu'ils soient d'origine animale (viandes rouges) ou végétale (céréales raffinées, boissons sucrées, boisson alcoolisées). Ces résultats s'inscrivent dans une dynamique plus large de transition alimentaire déjà constatée ailleurs en Europe. Aux Pays-Bas, par exemple, une étude de cohorte menée entre 1993 et 2015 a mis en évidence une amélioration progressive des pratiques alimentaires, dans le cadre de régimes isocaloriques (127). À l'inverse, une analyse menée en Suède a montré qu'entre 2000 et 2016, les participants de la Northern Sweden Diet Database s'éloignaient des recommandations alimentaires nordiques, traduisant des évolutions moins favorables (241). Plus globalement, la région européenne de l'OMS semble connaître, ces dernières années, une tendance vers des régimes plus végétalisés (221).

L'examen détaillé des groupes d'aliments révèle également des évolutions intéressantes. La consommation de viande rouge et de volaille diminue, en cohérence avec les données d'achats des ménages français qui montrent une baisse du volume d'achats de viande en 2021 et 2022 (242). Toutefois, ces résultats doivent être interprétés avec prudence : en tenant compte de la restauration hors domicile, les données de consommation apparente indiquent plutôt une hausse, alimentée notamment par une augmentation notable de 11,5 % des importations françaises de viande sur la même période (242). Par ailleurs, le recul de la consommation de viande rouge observé depuis le milieu des années 2000 (-12 % en dix ans) a été en partie compensé par une hausse de la consommation de volaille (243), alors que nos résultats indiquent une baisse de toutes les catégories de viande sauf la viande transformée. Ces différences peuvent s'expliquer par la nature même des données individuelles mobilisées dans ce travail, qui sont plus proches des comportements des consommateurs, contrairement aux bilans. Il s'agit également d'un échantillon aux caractéristiques particulières (Chapitre 5 section 3). Par ailleurs, l'hétérogénéité des comportements peut jouer un rôle: une enquête menée entre 2010 et 2019 a d'ailleurs souligné la diversité des dynamiques de substitution entre sources protéiques en France (244). Ainsi, il convient de noter que les diverses méthodes de quantification de la consommation alimentaire produisent des résultats sensiblement différents, compromettant la précision, la pertinence et la robustesse des comparaisons. Cette disparité concerne également la composition des groupes d'aliments considérés. Dès lors, l'utilisation de données

individuelles de consommation offre une perspective plus précise et représentative des habitudes alimentaires réelles.

Concernant les aliments d'origine végétale, nous avons constaté une hausse de la consommation de légumineuses, de légumes et de fruits entre 2014 et 2018, suivie d'une stabilisation en 2022. Cette progression, bien que positive, reste encore insuffisante au regard des recommandations internationales. Selon le Freshful Consumption Monitor (245), en 2021, vingt États membres de l'UE, dont la France, consommaient toujours des quantités de fruits et légumes inférieures aux seuils préconisés par l'OMS (au moins 400 g/jour). Des facteurs contextuels, tels que l'inflation et la pandémie de Covid-19, ont pu freiner la poursuite de cette dynamique de transition vers un régime plus aligné sur les recommandations de durabilité.

Au-delà des tendances globales, notre étude a permis de caractériser la diversité des trajectoires alimentaires au sein de la population adulte française, en s'appuyant sur des données longitudinales récentes, encore rares dans la littérature (127,241,246). Le profil de référence (**PO**), qui présente des caractéristiques sociodémographiques proches de l'échantillon total redressé, et donc de la population générale (Chapitre 4, Section 1.3.3), illustre une tendance vers des régimes plus végétalisés, à l'instar des consommations moyennes redressées dans l'échantillon : on y observe une augmentation de la consommation d'aliments d'origine végétale et une réduction de la viande de ruminants et d'aliments végétaux peu favorables à la santé. Cette évolution positive de la qualité des régimes se traduit par une meilleure adhésion aux recommandations alimentaires, en cohérence avec des observations faites dans d'autres contextes européens décrit plus haut.

Cependant, au-delà de cette tendance majoritaire, nos résultats mettent en évidence la coexistence de trajectoires contrastées, révélant des modes alimentaires distincts et des rythmes de transition variables d'un profil à l'autre. Cette hétérogénéité souligne l'importance de dépasser l'analyse des moyennes populationnelles pour saisir la complexité des changements à l'œuvre : elle questionne la stabilité des transitions et l'ampleur des disparités sociales et culturelles dans l'adoption de pratiques plus durables. Comprendre ces dynamiques différenciées apparaît ainsi comme une condition nécessaire pour orienter les politiques publiques et les interventions ciblées, afin de favoriser une transition alimentaire juste et adaptée à la diversité des situations.

2.2. Inégalités sociales dans les transitions alimentaires : le rôle des déterminants individuels

2.2.1. Rôle du sexe

Nos résultats confirment que les déterminants individuels, en particulier le sexe, jouent un rôle majeur dans l'évolution des comportements alimentaires, rejoignant ainsi des observations établies dans la littérature (247–249). Cette approche, basée sur des données de consommation ajustées sur l'énergie,

met en évidence des différences marquées entre les sexes : les hommes consomment en moyenne davantage de produits animaux, d'aliments riches en graisses et à forte densité énergétique, ainsi que d'aliments jugés défavorables à la santé, tandis que les femmes privilégient plus souvent les aliments d'origine végétale et sains. Ces différences ne se limitent pas aux volumes consommés : elles traduisent également des contrastes dans les freins et motivations à modifier les comportements alimentaires. Ainsi, plusieurs travaux ont souligné que les femmes sont plus enclines à réduire leur consommation de viande, à adopter des régimes riches en aliments végétaux, et qu'elles déclarent davantage de comportements de santé (250–252). À l'inverse, les hommes apparaissent plus réticents à réduire leur consommation de viande, ce comportement étant souvent associé, dans les représentations collectives, à des valeurs de force, de virilité et d'identité masculine (252–254).

Nos résultats prolongent ces constats : les tendances de consommation de certains aliments non favorables, comme la viande transformée, progressaient plus rapidement chez les hommes, tandis que la baisse des boissons sucrées et des jus de fruits ralentissait également chez ce groupe. À l'inverse, l'augmentation de la consommation de légumineuses était plus prononcée chez les femmes, confirmant leur plus grande réceptivité à l'adoption de régimes végétalisés. Ces observations rejoignent d'autres études ayant montré que les femmes consomment plus de légumineuses et de produits céréaliers complets (247,255), respectent plus fréquemment les recommandations de consommation de fruits et légumes (247,256), et tendent globalement vers des comportements alimentaires plus conformes aux recommandations nutritionnelles.

Dans l'analyse des profils, ces différences de sexe se retrouvent de manière marquée. Par exemple, le profil **P1**, majoritairement masculin, se caractérise par une faible adhésion aux recommandations, malgré une amélioration constatée au fil du temps. Cette tendance est cohérente avec des travaux montrant que les hommes consomment davantage d'aliments riches en graisses, en protéines (247,248) et en viande (253,254). Cependant, l'amélioration relative observée dans ce profil peut s'expliquer en partie par l'âge moyen élevé des participants (plus de 60 ans). En effet, plusieurs études ont mis en évidence une amélioration de la qualité des régimes alimentaires avec l'âge, souvent attribuée à l'apparition de comorbidités et à une sensibilité accrue aux enjeux de santé (257–260).

Ces résultats mettent en lumière la nécessité d'adopter une approche nuancée et segmentée dans l'analyse des transitions alimentaires : le sexe et l'âge constituent des facteurs structurants qui conditionnent non seulement les niveaux de consommation au départ, mais aussi la dynamique des changements. Comprendre ces déterminants est indispensable pour développer des stratégies d'accompagnement adaptées, capables d'agir sur les motivations, de lever les freins spécifiques, et de favoriser une transition alimentaire réellement durable et inclusive.

2.2.2. Rôle des facteurs socio-économiques

a. Niveau d'éducation

Nos résultats soulignent l'importance du statut socio-économique, et plus particulièrement du niveau d'éducation, dans les dynamiques de consommation alimentaire. De manière générale, nous avons constaté que les individus ayant un niveau d'éducation plus élevé consommaient moins de viandes rouges et davantage de produits céréaliers complets, tandis que ceux disposant du niveau d'éducation le plus faible présentaient une consommation plus élevée de viande transformée. Ce constat est en accord avec la littérature, qui établit de longue date un lien entre niveau d'éducation et qualité des régimes alimentaires : un faible niveau d'éducation est souvent associé à des régimes moins favorables à la santé, alors qu'un niveau plus élevé prédit une évolution vers des comportements alimentaires plus sains (254,261).

Ces disparités s'expliquent en partie par les différences d'accès à l'information et aux ressources : les individus les plus éduqués disposent souvent d'une meilleure connaissance nutritionnelle et sont plus sensibilisés aux enjeux environnementaux (134,253). Ainsi, une étude menée au sein de la même cohorte NutriNet-Santé a mis en évidence que les individus socialement favorisés affichaient des modes de vie plus sains et un indice de durabilité alimentaire (SDI) significativement plus élevé (134). Toutefois, la littérature rappelle que la relation entre connaissance nutritionnelle et adoption de comportements alimentaires durables est complexe et encore débattue : si cette connaissance ne suffit pas à transformer les comportements, elle constitue néanmoins un levier important dans leur évolution (262).

Ces résultats confirment que le niveau d'éducation joue un rôle structurant dans la qualité des régimes alimentaires, mais aussi dans la manière dont les ressources économiques sont allouées. En effet, la dépense alimentaire constitue un point de passage central entre le statut socio-économique et les choix de consommation : elle traduit à la fois des préférences individuelles et des contraintes budgétaires. Nos analyses ont montré que la dépense alimentaire globale tend à diminuer avec l'élévation du niveau d'éducation, tandis que la structure des dépenses protéiques évolue : les individus n'ayant pas fait d'études supérieures consacrent une part plus importante de leur budget protéique à la viande, aux pommes de terre et aux fruits, alors que les diplômés d'études supérieures orientent davantage leurs dépenses vers les aliments végétaux comme les céréales complètes et les légumineuses. Ce résultat illustre comment l'éducation façonne non seulement les connaissances et les attitudes nutritionnelles, mais aussi les arbitrages économiques qui sous-tendent les comportements alimentaires. Dans ce contexte, il a été démontré que les individus ayant un niveau d'éducation plus élevé présentent une alimentation de meilleure qualité, marquée par des apports

plus fréquents en fruits, légumes, poissons et céréales complètes, ainsi qu'une consommation plus modérée de produits sucrés ou gras (263). Ils savent mieux intégrer les recommandations nutritionnelles tout en ayant parfois des apports plus élevés en acides gras saturés, sucres ajoutés et boissons alcoolisées, illustrant la complexité des comportements (65).

Ainsi, la dépense alimentaire apparaît comme un pont entre la connaissance, l'accès aux ressources et la traduction concrète des recommandations dans les choix de consommation. Ces résultats rappellent l'importance de prendre en compte les inégalités économiques et éducatives pour favoriser une transition alimentaire équitable et adaptée aux réalités sociales des différents groupes de population.

b. Revenu

Nos résultats soulignent de manière particulièrement nette l'influence du revenu sur les comportements alimentaires et sur l'évolution des trajectoires vers une alimentation plus durable. De façon générale, nous avons constaté que les individus à faibles revenus consommaient moins de viande rouge que ceux aux revenus plus élevés. Cependant, au fil du temps, les individus à revenus élevés ont montré une baisse plus marquée de leur consommation de viande, réduisant l'écart initial avec les classes moins favorisées limitant la viande pour des raisons probablement économiques. Ce constat rejoint les observations issues d'études comparant les tendances de consommation de viande selon le revenu, dans les pays développés, à la courbe environnementale de Kuznets (264), suggérant une relation en U inversé : au-delà d'un certain seuil de revenu, la prise de conscience des enjeux environnementaux et sanitaires conduit à réduire la consommation de viande (265). Ce constat a été confirmé par notre modèle économétrique illustrant un effet à rendements décroissants du revenu sur la dépense protéique.

Parallèlement, nos résultats ont mis en évidence une consommation plus importante de légumineuses chez les individus à faibles revenus et chez les étudiants. Bien que ce groupe alimentaire reste sous-consommé dans les pays à hauts revenus (266), il joue un rôle essentiel dans la transition vers des régimes plus durables, offrant des co-bénéfices sanitaires et environnementaux largement documentés (66,267–269). Plusieurs obstacles persistent toutefois pour leur adoption plus large, notamment des freins sensoriels, le temps de préparation ou encore des difficultés digestives, identifiés dans divers contextes européens (270). Cela invite à considérer l'importance de la « perception » dans la construction des préférences alimentaires. En effet, adopter un régime durable est souvent perçu comme coûteux, et les études montrent que les individus aisés sont plus enclins à ces choix. L'étude susmentionnée de la cohorte NutriNet-Santé (134) a révélé que parmi les individus aux SDI les plus élevés, 56,74 % déclaraient des revenus supérieurs à 2700 €/U.C. Pourtant, les individus aisés consomment également plus de viande que les moins favorisés. Par ailleurs, les aliments

durables, comme les légumineuses, historiquement associés aux classes populaires (271), sont plus consommés par les individus disposant de faibles revenus. Face à ces constats, deux leviers apparaissent nécessaires pour améliorer la perception des régimes durables : d'une part, agir sur le signal-prix des aliments, notamment en intégrant les externalités environnementales dans les prix (concept du « *True Cost of Food* » développé dans le chapitre 1, section 1.2.3.e) ; et d'autre part, déployer des campagnes de communication et des ateliers pratiques pour sensibiliser et lever les freins perceptifs liés aux régimes durables.

L'analyse économique détaillée de notre étude confirme et nuance ces constats. Nous avons observé que le régime « **sain-végétalisé** » s'est distingué par sa relative insensibilité au niveau de revenu : la variation des dépenses protéiques entre les classes sociales y était la plus faible, et les différences observées n'étaient pas statistiquement significatives. Ce résultat s'explique notamment par le faible coût des principales sources protéiques de ce régime, à savoir les légumineuses et les produits à base de soja, dont les dépenses restaient stables entre les catégories sociales. Cela soulève une interrogation importante sur les motivations réelles d'adoption du régime végétalisé. Dans la mesure où ce régime s'est avéré être le plus performant en termes de durabilité dans notre étude, on peut supposer que les individus à revenu élevé l'adoptent davantage par motivations liées à la santé ou à des problématiques environnementales, tandis que les individus à revenu faible y recourent davantage par contrainte budgétaire. Ce constat illustre un éventuel effet d'éviction du revenu sur certaines sources protéiques : en fonction de leur coût, certaines catégories sociales peuvent se voir contraintes de restreindre ou d'exclure des aliments de leur alimentation, non pas en raison de préférences, mais de limitations économiques.

Dans cette même perspective, nous avons observé que les régimes « **carne** » et « **sain-poisson** » étaient, à l'inverse, fortement sensibles au revenu : à régime alimentaire similaire, la structure des dépenses protéiques variait sensiblement selon la catégorie sociale. Par exemple, un individu issu de la classe aisée adoptant un régime « **carne** » consacre une part plus importante de ses dépenses protéiques à la viande, tandis qu'un individu de la classe populaire suivant ce même régime tend à privilégier des sources moins onéreuses telles que le fast-food. Ces différences intra-cluster soulignent que les choix ne sont pas uniquement dictés par des préférences alimentaires, mais également contraints par le pouvoir d'achat.

Cet effet d'éviction présente deux conséquences majeures. La première est l'adoption contrainte de régimes durables, non pas par conviction, mais par nécessité économique, comme nous l'avons observé pour le régime « **sain-végétalisé** ». La seconde conséquence de l'effet d'éviction est l'adoption de régimes moins durables. C'est notamment le cas pour les régimes « **lacté** » et « **fast-food** », où les dépenses protéiques sont globalement plus faibles. Dans ces deux cas, les individus issus des classes

populaires allouaient une part plus importante de leur budget protéique à des aliments accessibles comme les pommes de terre, les céréales raffinées, les produits de fast-food ou encore le lait, tandis que la classe aisée y consacrait une part moindre. Ces régimes, bien que parfois perçus comme plus abordables, s'accompagnent d'une qualité nutritionnelle moindre et de risques sanitaires accrus, comme nous l'avons mis en évidence dans nos résultats. L'incapacité à accéder à des sources protéiques plus coûteuses, mais plus favorables sur le plan nutritionnel et environnemental, conduit certains groupes sociaux à se maintenir dans des régimes alimentaires qui contribuent moins à la transition durable. Ainsi, l'effet du revenu dépasse le simple cadre du pouvoir d'achat : il façonne en profondeur les possibilités d'accès à une alimentation à la fois saine, durable et diversifiée. Ce constat rejoint les conclusions de Caillavet et al. (64), qui soulignent l'impact avéré du revenu sur la diversité alimentaire et la réception des messages nutritionnels, ainsi que celles de Biscontin (65), qui montre que les individus disposant des revenus les plus élevés obtiennent des scores globaux de « Healthy Eating Index » plus élevés, traduisant une meilleure qualité de l'alimentation.

Un autre enseignement important de notre analyse réside dans l'observation de différences notables de dépenses protéiques en valeur absolue entre les classes sociales, y compris au sein d'un même cluster alimentaire, c'est-à-dire à structure de régime comparable. Autrement dit, à choix alimentaires équivalents, les quantités effectivement consommées divergent selon le niveau de revenu. Cette disparité quantitative suggère que les individus issus de milieux favorisés peuvent accéder à des volumes plus importants d'aliments coûteux, comme la viande dans le cas du régime « *carné* », ou le poisson dans le régime « *sain-poisson* », tandis que les personnes issues de classes populaires, bien qu'adoptant ces mêmes régimes, en consomment des quantités plus modestes. Ces observations font écho aux résultats de Maillot et al. (61), qui ont montré qu'une optimisation de la qualité nutritionnelle sous contrainte d'isocoût se traduisait par une augmentation moyenne du poids total de l'alimentation de l'ordre de 300 grammes par jour. Cette augmentation était d'autant plus marquée que le niveau de revenu était faible, soulignant ainsi la difficulté, pour les ménages modestes, de maintenir un apport quantitatif satisfaisant lorsque les prix des aliments augmentent.

Les résultats relatifs à l'évolution des profils confirment ces constats. Le profil **P2**, composé majoritairement d'individus à faibles et moyens revenus ainsi que d'étudiants, affichait la plus forte progression de consommation d'aliments végétaux. Néanmoins, ce profil partait d'une situation initiale marquée par une faible consommation de légumes et une baisse de la consommation de poisson au cours du temps, qui était déjà faible au départ. Malgré une amélioration du score de qualité globale du régime, celui-ci restait inférieur à celui du profil de référence (**P0**). À l'inverse, le profil **P4**, caractérisé par des revenus modérés à élevés, montrait la consommation absolue la plus élevée de poissons et de fruits, ainsi que le score aDQI le plus élevé. Ces éléments soulignent l'importance

d'orienter les stratégies d'accompagnement et les politiques publiques en ciblant les groupes d'aliments clés, tout en adaptant les actions aux contraintes économiques et aux besoins spécifiques des différentes catégories sociales, afin de renforcer la dimension sanitaire et équitable des transitions alimentaires durables.

2.3. Impacts des transitions alimentaires sur la durabilité

2.3.1. Qualité nutritionnelle

L'analyse de la qualité nutritionnelle des régimes alimentaires au sein de notre population, à l'inclusion, met en évidence des différences notables entre les clusters identifiés. Le cluster « **sain-végétalisé** » se distingue par le score PANDiet le plus élevé, témoignant d'une couverture nutritionnelle globalement satisfaisante. Il s'accompagne également d'une meilleure adhésion aux recommandations du Programme National Nutrition Santé (PNNS-GS2). Cette observation vient alimenter le débat récurrent sur l'adéquation nutritionnelle des régimes pauvres en produits animaux. Si la transition vers des sources protéiques végétales soulève souvent des interrogations quant à la couverture des besoins en protéines et en acides aminés essentiels (213), plusieurs travaux ont montré que des régimes équilibrés, peu carnés, mais construits selon les recommandations de santé publique, permettent d'assurer des apports adéquats pour la majorité des nutriments (227,272). Ce constat remet en question certaines perceptions autour de la qualité inférieure des protéines végétales, souvent sous-estimée ou mal comprise dans les représentations collectives (273).

Ceci a été corroboré par nos résultats sur les régimes optimisés qui montrent que bien que certains apports présentent une baisse relative dans le scénario intermédiaire ($\lambda = 0,1$), tous les régimes optimisés respectent la contrainte de non-dégradation nutritionnelle, définie comme le maintien d'apports supérieurs aux niveaux observés ou aux références nutritionnelles. Cette stabilité est particulièrement notable pour des nutriments sensibles tels que la vitamine B12, le fer ou le zinc biodisponibles, dont les apports restent au-dessus des seuils de sécurité, malgré une diminution modérée liée à la réduction des produits d'origine animale. La substitution végétale, lorsqu'elle s'appuie sur une diversité d'aliments riches en micronutriments et sur des produits enrichis, permet ainsi de répondre aux besoins sans recourir à des apports d'origine animale systématiques. Cette observation encourageante souligne la faisabilité nutritionnelle d'un régime davantage végétalisé, tout en appelant à une vigilance différenciée selon les profils, en particulier pour les groupes les plus éloignés des standards nutritionnels initiaux. Cependant, dans les scénarios les plus restrictifs, les apports en calcium et en iode, bien que conformes aux contraintes fixées, tendent également à se rapprocher des seuils de prudence. Cela justifie de réfléchir à des stratégies complémentaires, comme l'enrichissement ciblé, la diversification des sources ou la complémentation, pour garantir la stabilité

des apports à long terme. Les références utilisées dans le modèle traduisent un objectif ponctuel de couverture des besoins, mais la notion de sécurité nutritionnelle gagnerait à être appréhendée sur la durée, notamment dans le cadre de régimes durablement végétalisés.

Par ailleurs, l'adéquation protéique observée malgré la baisse de la consommation de protéines animales dans les clusters protéiques à l'inclusion pourrait également s'expliquer par la situation de surconsommation protéique caractéristique des pays occidentaux, où les apports dépassent fréquemment les besoins réels (213). Toutefois, cette hypothèse n'est pas unanimement partagée : une étude canadienne a mis en évidence les défis potentiels que poserait une transition protéique à dominante végétale, notamment chez les personnes âgées, du fait de la contribution importante des protéines animales aux apports totaux dans cette population (274).

D'autre part, nos résultats montrent que les changements alimentaires observés au cours du temps se traduisent par une amélioration mesurable de la qualité des régimes, évaluée à travers trois indicateurs complémentaires : les scores cDQI (global), aDQI (aliments d'origine animale) et pDQI (aliments d'origine végétale). L'ensemble de ces scores suit des trajectoires ascendantes, traduisant une dynamique globale favorable. On note en particulier des niveaux plus élevés chez les femmes. La hausse du score aDQI semble s'expliquer par une baisse plus marquée de la consommation d'aliments animaux malsains (notamment viande transformée), tandis que l'augmentation du score pDQI résulte d'une progression de la consommation d'aliments végétaux favorables à la santé (légumineuses, fruits à coque, produits céréaliers complets) et d'un recul parallèle des aliments végétaux défavorables (céréales raffinées, jus de fruits, boissons alcoolisées).

Cette évolution rejoint les résultats de l'étude néerlandaise mentionnée précédemment, qui a observé une amélioration du Dutch Healthy Diet Index 2015 de +11 % chez les hommes et +13 % chez les femmes sur une période de vingt ans, principalement attribuée à une consommation accrue de poissons et de fruits à coque (127). En revanche, d'autres contextes présentent des tendances plus contrastées. Une étude australienne portant sur des adultes de plus de 55 ans, menée entre 2010 et 2014, a notamment montré une amélioration de la qualité alimentaire uniquement chez les hommes, signalant des dynamiques différenciées selon les contextes sociaux et culturels (246).

Dans l'ensemble, ces résultats confortent l'idée qu'une amélioration de la qualité des régimes alimentaires est possible, y compris dans le cadre de transitions vers des modèles moins carnés, à condition que ces transitions soient accompagnées d'un rééquilibrage global de l'alimentation.

2.3.2. Risque sanitaire

L'évaluation du risque sanitaire associé aux clusters identifiés à l'inclusion met en lumière des contrastes marqués entre clusters alimentaires. Le cluster « *sain-végétalisé* » apparaît comme le plus

protecteur, avec un score HRS (Health Risk Score) indiquant un risque sanitaire réduit. Cette tendance est confirmée par les résultats obtenus dans une autre étude sur les consommations protéiques à l'aide du score HiDiet, un indicateur composite estimant l'impact du régime alimentaire sur la morbidité et la mortalité à long terme (275). Ces observations confortent l'idée, largement documentée dans la littérature, selon laquelle la consommation accrue de protéines végétales s'accompagne de profils nutritionnels globalement plus favorables à la santé cardiometabolique (276).

Les bénéfices des régimes végétalisés sur la réduction de la mortalité prématurée sont bien établis : une revue systématique a estimé que l'adoption d'un régime flexitarien permettrait de réduire la mortalité de 19 %, tandis que ce chiffre s'élèverait à 22 % pour un régime végétalien (227). Par ailleurs, de nombreuses études ont mis en évidence l'association entre la consommation excessive de produits d'origine animale et un risque accru de maladies chroniques (277–279). Par exemple, une substitution de seulement 5 % des protéines animales par des protéines végétales pourrait réduire de 23 % le risque de développer un diabète de type 2 (280). Dans ce cadre, les viandes rouges et transformées sont reconnues comme des facteurs de risque avérés pour le diabète, tandis que les produits à base de soja et les produits laitiers semblent exercer un effet protecteur (281).

Ces résultats sont en cohérence avec les trajectoires de santé observées au sein des profils longitudinaux. Les profils **P3** et **P4**, à dominante végétalisée, affichaient les niveaux d'adhésion les plus élevés aux recommandations nutritionnelles, contrastant avec les profils fortement carnés **P1** et **P5**, qui se caractérisaient par une consommation accrue de viandes rouges et transformées, et une plus faible qualité nutritionnelle globale. Plusieurs travaux confirment les bénéfices à long terme des régimes végétalisés, non seulement en termes de prévention des pathologies chroniques, mais également sur la mortalité toutes causes confondues (282,283).

L'analyse des DALYs évités sur la période 2014–2022 illustre également les effets différenciés des trajectoires alimentaires sur la santé. Les profils **P0**, **P1**, **P2** et **P3** ont connu une amélioration significative de leurs bilans sanitaires, attribuable à une augmentation de la consommation de fruits, de céréales complètes et d'aliments d'origine végétale, et à une réduction parallèle des aliments à risque. Le profil **P2** s'est particulièrement distingué par un gain sanitaire important, lié à un virage marqué vers une alimentation plus végétale. À l'inverse, les profils **P4** et **P5** ont vu leur potentiel sanitaire décliner au fil du temps, en raison d'une diminution de la consommation de fruits et légumes et d'une hausse de celle des viandes transformées. Cela montre que même les régimes initialement favorables peuvent perdre en qualité s'ils évoluent dans une direction moins alignée avec les recommandations.

Toutefois, malgré cette dégradation relative, le profil **P4** présentait en 2022 un niveau absolu de DALYs évités nettement supérieur à ceux des profils **P0**, **P1**, **P2** et **P5**, bien que la valeur la plus élevée ait été atteinte par le profil **P3**. Il convient de noter que le profil **P4** rassemblait majoritairement des femmes et des individus adoptant des comportements de santé favorables, avec 46 % déclarant une activité physique intense et 94 % n'ayant jamais fumé, ce qui a pu contribuer à son bénéfice sanitaire global.

Ainsi, les résultats de cette étude confirment le rôle central de la structure du régime alimentaire dans la prévention des maladies chroniques et soulignent l'importance de promouvoir des trajectoires de consommation cohérentes avec les objectifs de santé publique à long terme.

2.3.3. Impacts environnementaux

L'analyse des impacts environnementaux associés aux régimes alimentaires à l'inclusion met en évidence des différences marquées entre les structures de consommation. Dans notre étude, le cluster « *sain-végétalisé* » se distinguait par une empreinte environnementale nettement inférieure à celle du cluster « *carné* », en cohérence avec les données de la littérature montrant un plus faible impact des régimes végétalisés comparés aux régimes riches en produits animaux (224,226,275,284). Des revues systématiques (130,285) ont d'ailleurs confirmé que la diminution de l'empreinte environnementale est généralement proportionnelle à la réduction de la consommation de produits animaux, toutes filières confondues (227).

Lorsque l'on examine les résultats selon les profils longitudinaux, on constate que les apports énergétiques élevés s'accompagnaient généralement d'impacts environnementaux accrus. Ainsi, le profil **P5**, qui présentait la consommation énergétique la plus importante et une forte consommation de viande, affichait également les niveaux les plus élevés d'émissions de GES. À l'inverse, le profil **P4**, caractérisé par des apports énergétiques plus faibles et une plus grande place accordée aux aliments végétaux, présentait une empreinte carbone nettement réduite. Ces résultats confirment les observations de précédentes études ayant mis en évidence le rôle central de la consommation de viande, en particulier de viande de ruminants, dans les niveaux d'émissions alimentaires (286–288). Réduire cette consommation représente donc un levier prioritaire pour limiter l'empreinte carbone mais aussi d'autres pressions environnementales liés aux régimes alimentaires à l'échelle de la population (289–291).

Des travaux de modélisation ont estimé qu'une transition vers des régimes plus végétalisés, augmentant la part de protéines végétales au détriment des protéines animales, pourrait permettre de réduire les émissions de GES jusqu'à 70 %, tout en améliorant la qualité nutritionnelle globale des régimes (272,292–294). Nos résultats s'inscrivent dans cette dynamique et renforcent l'idée qu'une substitution progressive des protéines animales par des alternatives végétales constitue une stratégie

clé pour améliorer la durabilité environnementale (295). En parallèle, ils soulignent la nécessité de cibler les habitudes de consommation liées à la viande, en particulier dans les profils les plus consommateurs.

Il est à noter que les profils présentant les plus fortes émissions de GES (**P5** et **P1**) étaient majoritairement composés d'hommes, ce qui corrobore les études indiquant que les régimes masculins génèrent en moyenne 30 % de plus d'émissions que les régimes féminins (296), et jusqu'à 41 % selon certaines analyses (297). Ce différentiel s'explique notamment par une plus grande consommation de produits carnés, mais également par d'autres habitudes alimentaires spécifiques. À ce titre, la consommation de boissons alcoolisées, plus marquée dans le profil **P1**, contribue également à alourdir l'empreinte carbone des régimes. Selon la littérature, elles représentent en moyenne 3 % des émissions alimentaires, mais cette part peut atteindre 6 à 11 % dans les populations à forte consommation, avec des émissions jusqu'à 90 % plus élevées chez les hommes (298).

Ainsi, l'analyse conjointe des structures de régime, des profils de consommation et des données environnementales souligne à la fois la pertinence des régimes végétalisés pour atténuer les pressions écologiques, et la nécessité d'intégrer une perspective différenciée par le sexe et comportementale dans la mise en œuvre de politiques de transition alimentaire durable.

Par ailleurs, les trajectoires de consommations alimentaires moyennes observées dans notre étude s'inscrivent ainsi dans la lignée des recommandations internationales visant à promouvoir des transitions alimentaires durables. Les aliments végétaux les plus fréquemment mis en avant (légumineuses, fruits à coque, céréales complètes) présentent des co-bénéfices à la fois sanitaires et environnementaux (226,295,299–302). Toutefois, les résultats de l'étude néerlandaise mentionnée précédemment nuancent cette vision optimiste, en ne montrant pas de réduction significative des émissions de GES malgré un recentrage vers des régimes perçus comme plus durables, en raison de la stagnation de consommation de viande. Cela rappelle que l'adoption de régimes réellement soutenables nécessite une réduction substantielle des produits d'origine animale, notamment la viande rouge (138), pour générer des bénéfices tangibles à la fois pour la santé humaine et pour l'environnement (127).

2.3.4. La consommation de bio et les co-bénéfices santé-environnement

L'analyse des données de consommation révèle que l'appartenance au cluster « *sain-végétalisé* » était associée à une part plus importante de produits issus de l'agriculture biologique. Ce constat, déjà observé dans des études antérieures (303), suggère que la transition vers des régimes plus végétalisés s'accompagne souvent d'une plus grande sensibilité aux modes de production durables. Cette tendance pourrait contribuer à atténuer certains impacts environnementaux, en particulier ceux liés à

la demande énergétique. Une étude conduite dans la cohorte NutriNet-Santé (304) a en effet documenté que la consommation de produits bio pouvait en partie expliquer l'association inverse entre régimes végétalisés et certains indicateurs environnementaux (comme les émissions de GES ou la demande énergétique), sous réserve que ces régimes soient riches en aliments végétaux.

Au niveau des profils, nous avons observé une progression de la part de bio dans presque tous les cas, en ligne avec la tendance générale observée au sein de la population française. Alors que la part du budget alimentaire consacrée au bio est passée de 2,5 % en 2014 (305) à 6 % en 2022 (306), cette dynamique s'est maintenue dans notre étude, malgré une légère inflexion liée au contexte inflationniste (306). Le profil **P3**, à forte orientation végétale, a affiché les proportions les plus élevées de produits bio tout au long de la période, cohérentes avec son régime végétalisé comme déjà documentées dans la littérature (295,303). Le profil **P4**, majoritairement féminin et sensible aux recommandations nutritionnelles, présentait également une part de bio élevée en 2022, atteignant 41 % de l'alimentation totale.

Bien que la consommation de bio ait été utilisée ici comme une variable descriptive, elle s'avère significative au regard de la durabilité. La production biologique, en limitant les intrants de synthèse, réduit la pollution chimique, favorise la biodiversité, améliore la santé des sols et contribue au stockage du carbone, ce qui tend à réduire certains impacts environnementaux par rapport aux systèmes conventionnels (307–309). Toutefois, son apport global à la durabilité reste conditionné par plusieurs facteurs, notamment les rendements agricoles, l'usage des terres et la composition des régimes alimentaires (307,310). En particulier, la consommation de bio semble plus efficace lorsqu'elle est intégrée à un régime majoritairement végétal (311).

Par ailleurs, en l'intégrant comme variable de décision dans nos modèles d'optimisation des régimes vers un optimum de durabilité, la consommation de bio apparaît comme un levier central dans ces régimes optimisés dès $\lambda = 0,1$, avec 50 % des aliments consommés issus de l'agriculture biologique.

Ces résultats soulignent l'importance d'une approche intégrée tenant compte à la fois de la composition des régimes et des modes de production dans l'évaluation de leur durabilité environnementale.

2.3.5. Impacts sur les dépenses alimentaires

L'analyse économique conduite à l'inclusion des participants révèle des différences notables de dépenses alimentaires selon les régimes identifiés. À apport énergétique constant, le cluster « **sain-végétalisé** » présentait la dépense alimentaire totale la plus élevée, suivi du cluster « **sain-poisson** » puis du cluster « **carné** ». Ce résultat s'inscrit dans la lignée des travaux antérieurs, notamment ceux menés sur l'échantillon INCA2, qui avaient déjà mis en évidence une hausse systématique du coût de

l'alimentation lorsque les individus cherchaient à se rapprocher des recommandations nutritionnelles (312). Il convient néanmoins de rappeler qu'une amélioration de la qualité nutritionnelle reste possible sans augmentation des dépenses, à condition d'opérer des réajustements significatifs, en particulier pour les budgets les plus contraints (inférieurs à 3,85 €/jour) (312).

Les coefficients budgétaires élevés observés dans les clusters « *sain-végétalisé* » et « *sain-poisson* » pourraient également s'expliquer par la plus forte consommation de produits issus de l'agriculture biologique, bien documentée dans la littérature. Une étude antérieure conduite dans la cohorte NutriNet-Santé (175) avait en effet montré que les individus consommant fréquemment du bio adoptaient des régimes plus végétalisés et plus sains, mais à un coût alimentaire plus élevé (+26 %), en raison du surcoût des produits bio. Ce double engagement en faveur de la santé et de l'environnement n'est pas sans bénéfice, puisqu'il s'accompagne d'une réduction significative de l'exposition aux résidus de pesticides (175).

Par ailleurs, le cluster « *carné* » affichait un coefficient budgétaire protéique plus élevé que les autres clusters. Cette particularité peut s'expliquer par les prix élevés des aliments protéiques caractéristiques de ce régime, à savoir la viande, la volaille et la viande transformée, mais aussi par un apport protéique plus important (+6 % par rapport à la moyenne de l'échantillon). À l'opposé, le cluster « *sain-végétalisé* » présentait une dépense protéique plus faible, cohérente avec la moindre consommation de protéines observée (-27 %) et avec le coût relativement bas de ses principales sources protéiques (produits à base de soja, légumineuses, fruits à coque). Ces observations rejoignent les conclusions d'une méta-analyse récente, selon laquelle les régimes végétalisés fournissent en moyenne des apports protéiques moindres que les régimes carnés, tout en demeurant dans les plages recommandées (313).

2.4. Stabilité des régimes dans le temps

Nos résultats ont mis en évidence de légères augmentations de la consommation de viande de ruminants, de porc, d'œufs et de boissons alcoolisées au sein du profil **P3**. Bien que ces hausses restent modestes en valeur absolue, elles pourraient constituer un indicateur précoce de futures transformations alimentaires. Il est important de souligner que le profil **P3** demeure globalement orienté vers une alimentation végétalisée, affichant les niveaux de consommation les plus faibles pour la plupart des aliments susmentionnés, à l'exception des œufs.

Cependant, ces observations invitent à la prudence. Plusieurs études ont en effet montré que les comportements végétariens ou végétaliens peuvent s'avérer instables dans le temps. Ainsi, les individus ayant adopté ces régimes tendent plus fréquemment à revenir vers un régime omnivore que l'inverse (314). En Allemagne, par exemple, certains flexitariens initialement engagés dans une

démarche de réduction de leur consommation de viande ont finalement accru leurs apports carnés, sous l'effet d'un affaiblissement de leurs convictions initiales quant aux bénéfices des régimes végétaux (315).

Ces constats rappellent que la transition vers des régimes plus durables ne peut être considérée comme acquise une fois amorcée. Ils soulignent l'importance de mettre en place des stratégies de soutien adaptées pour accompagner les comportements alimentaires végétalisés sur le long terme, en consolidant les motivations individuelles, en renforçant la confiance dans les bénéfices perçus, et en réduisant les obstacles sociaux ou culturels à leur maintien.

2.5. Faisabilité des changements alimentaires vers un optimum de durabilité

Nos résultats montrent qu'une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre (GES) peut être atteinte sans compromettre la couverture des besoins nutritionnels, à condition d'ajuster la structure des régimes alimentaires. Toutefois, la faisabilité concrète de ces trajectoires dépend fortement de deux paramètres : d'une part, le degré d'ambition environnementale exprimé dans la fonction d'optimisation, et d'autre part, les caractéristiques alimentaires de départ propres à chaque profil. L'analyse invite ainsi à nuancer les recommandations en tenant compte des marges de manœuvre réelles des différents groupes sociaux et des tensions nutritionnelles potentielles associées.

Le scénario correspondant à une pondération faible de l'objectif environnemental ($\lambda = 0,1$) permet déjà une réduction substantielle des émissions, de l'ordre de 35 % à 64 % selon les profils. Cette transition repose sur des ajustements modérés, sans suppression totale de groupes majeurs (à l'exception des viandes de ruminants), et avec des apports nutritionnels globalement préservés. En cela, il constitue un compromis réaliste à court terme, cohérent avec une dynamique de transformation progressive des systèmes alimentaires. Il s'inscrit dans une logique de faisabilité sociale, culturelle et économique, souvent évoquée comme condition de succès des politiques de durabilité (85,93).

À l'inverse, les régimes optimisés selon des pondérations plus élevées de l'objectif environnemental ($\lambda \geq 0,7$) se traduisent par une rupture profonde avec les consommations observées. Plusieurs groupes alimentaires sont alors complètement éliminés (viandes, produits laitiers, œufs), réduisant la diversité inter-groupes alimentaires, tout en reconnaissant que la diversité intra-groupe peut demeurer élevée, et modifiant radicalement les repères sensoriels et culturels. Ce degré de transformation soulève des enjeux majeurs de faisabilité comportementale, d'autant plus critiques dans les contextes où les traditions culinaires sont fortement ancrées (93,96,101,102).

L'analyse par profils révèle une hétérogénéité nette dans la capacité à s'ajuster. Certains profils, initialement davantage végétalisés ou diversifiés, parviennent à améliorer leur impact

environnemental tout en renforçant leur qualité nutritionnelle, avec des marges d'ajustement relativement faibles. À l'inverse, les profils fortement consommateurs de produits animaux nécessitent des réajustements plus profonds, qui peuvent affecter la couverture de certains nutriments et remettre en cause des pratiques alimentaires fortement établies, en raison des valeurs basses des bornes d'acceptabilité des groupes alimentaires végétaux, reconnus comme les leviers de transition. Ces résultats soulignent la pertinence d'une approche différenciée entre les profils des consommateurs dans la mise en œuvre des politiques publiques. Il apparaît nécessaire de cibler les leviers d'action en fonction des vulnérabilités propres à chaque profil, en adaptant les stratégies de communication, les outils de soutien (éducation nutritionnelle, accompagnement social), et les incitations économiques. Ce besoin de contextualisation des recommandations rejoint les travaux plaçant pour une stratification des politiques nutritionnelles selon les pratiques alimentaires, les déterminants sociaux et les trajectoires de consommation (316).

L'émergence du bio comme levier central dans les régimes optimisés dès $\lambda = 0,1$, avec 50 % des aliments consommés issus de l'agriculture biologique, pose plusieurs questions. D'un point de vue opérationnel, ce résultat invite à interroger la capacité actuelle des filières biologiques à répondre à une telle demande, ainsi que les effets potentiels sur l'accessibilité économique des régimes. Le prix plus élevé des produits bio, combiné à leur concentration dans certains groupes (légumes, produits laitiers, jus, huiles, boissons), peut accentuer les inégalités d'accès à une alimentation durable comme discuté plus haut (Chapitre 1, Section 1.2.3.d). Il apparaît dès lors nécessaire de discuter des leviers d'incitation possibles, tant au niveau des politiques agricoles que de l'action publique locale, pour accompagner la montée en puissance de ce mode de production. L'étiquetage environnemental, la fiscalité différenciée, les aides ciblées à la conversion ou à la consommation, ainsi que la commande publique sont autant de pistes à envisager dans une perspective intégrée.

Enfin, le choix d'un scénario intermédiaire, correspondant à un ajustement mesuré des régimes alimentaires, traduit la volonté de construire des trajectoires réalistes, cohérentes avec une logique de transformation progressive. Cette approche « *bottom-up* » permet de tenir compte de l'existant, des préférences, des contraintes sociales et des capacités d'évolution des régimes, en opposition aux modélisations prescriptives imposant une rupture brutale. Ce cadre permet de générer des recommandations plus opérationnelles, en phase avec les rythmes d'évolution des pratiques, tout en ouvrant un espace de transformation plus ambitieux à long terme. Le scénario $\lambda = 0,1$, retenu comme point d'équilibre potentiellement atteignable, peut ainsi être vu comme une étape structurante vers une soutenabilité plus ambitieuse, mais acceptable. Il demeure toutefois nécessaire d'accompagner ces résultats d'une évaluation de la valeur sanitaire des régimes optimisés, en les confrontant aux régimes observés. En effet, si les contraintes de non-dégradation nutritionnelle garantissent le respect

des apports de référence, certains profils alimentaires issus de l'optimisation pourraient, à long terme, soulever des interrogations quant à leurs effets réels sur la santé

3. Forces et limites

Dans l'ensemble de ce travail, certaines forces et limites inhérentes aux études d'observation méritent d'être soulignées avant d'aborder les spécificités par thématique. Une caractéristique commune tient au recours à la cohorte NutriNet-Santé, constituée de volontaires plus sensibilisés aux questions de santé et de nutrition que la population générale. Même si la taille de l'échantillon d'homme est loin d'être limité, l'échantillon d'étude présente une proportion plus élevée de femmes, mais aussi de personnes âgées et de participants ayant un niveau d'éducation supérieur (plus de la moitié de l'échantillon non redressé ont fait des études supérieures). Cette spécificité pourrait limiter la généralisation des résultats, malgré l'application de pondérations, via le redressement sur les données INSEE, visant à corriger les biais potentiels de sélection. Toutefois, la grande taille de l'échantillon et la diversité des profils alimentaires recueillis constituent un atout majeur, offrant la possibilité d'explorer les trajectoires individuelles sur le long terme, d'identifier des sous-groupes engagés dans des transitions plus ou moins favorables à la durabilité, et d'en tirer des enseignements pour l'action publique. En outre, les données alimentaires sont collectées via des outils validés, de façon répétée et standardisée, ce qui renforce la fiabilité des analyses.

S'agissant des facteurs socioéconomiques, ce travail mobilise trois indicateurs socio-économiques majeurs : le revenu, le niveau d'éducation et la profession. Ce socle de variables, bien que restreint, constitue un ensemble robuste pour appréhender les déterminants sociaux des comportements alimentaires à l'échelle populationnelle. De nombreuses études épidémiologiques n'intègrent qu'une ou deux de ces dimensions, ce qui confère à notre travail une richesse comparative non négligeable. Cependant, il convient de souligner que l'analyse longitudinale des trajectoires alimentaires repose sur l'hypothèse de stabilité de ces caractéristiques sociales. En effet, les analyses ont été construites à partir des variables renseignées à l'inclusion (en 2014), considérées comme des déterminants des évolutions alimentaires dans une logique prospective. Cette hypothèse de stabilité ne permet pas de rendre compte d'éventuelles transformations sociales survenues en cours de suivi, dans un contexte économique et social potentiellement mouvant. Néanmoins, le lien entre changements sociaux et changements alimentaires relève d'une autre question de recherche, qui nécessiterait une modélisation conjointe ou bidirectionnelle, distincte du cadre adopté dans la présente thèse.

Par ailleurs, Le genre, en tant que construction sociale, influence fortement les comportements alimentaires et les arbitrages économiques. Cependant, seules des données sur le sexe biologique (homme/femme) ont été collectées, ce qui limite l'analyse de ces mécanismes différenciés. Intégrer des indicateurs de genre dans les enquêtes futures permettrait de mieux comprendre les inégalités sociales liées à l'alimentation.

Sur le plan environnemental, des différences apparaissent entre les études. Dans l'analyse longitudinale des trajectoires alimentaires, les émissions de GES ont été utilisées comme principal indicateur, en se limitant à l'étape de production pour des raisons de disponibilité des données, ce qui conduit à une sous-estimation probable des impacts globaux. De plus, les autres dimensions environnementales (occupation des sols, utilisation de l'eau, érosion de la biodiversité) n'ont pas été prises en compte dans ce travail. À l'inverse, l'étude sur la durabilité protéique a mobilisé plusieurs indicateurs environnementaux, permettant une appréciation plus large des impacts associés aux différents régimes. Dans les deux cas, les émissions de GES demeurent un indicateur robuste et largement reconnu dans l'évaluation de la durabilité des régimes alimentaires, bien qu'un élargissement des indicateurs renforcerait la solidité des analyses futures en particulier pour les indicateurs potentiellement en conflits avec les GES ou la santé.

Concernant la santé, une limite importante réside dans l'utilisation des paramètres issus du GBD 2017 pour l'estimation des DALYs, alors que des versions plus récentes (GBD 2021) existent et pourraient permettre d'actualiser les estimations absolues, notamment à la lumière des évolutions post-pandémie et des changements méthodologiques. Cela étant, les comparaisons relatives entre profils alimentaires restent solides, dans la mesure où elles reposent sur un cadre méthodologique homogène appliqué à l'ensemble de la population étudiée.

Enfin, ce travail présente plusieurs forces, qui tiennent autant à la qualité des données mobilisées qu'aux choix méthodologiques et conceptuels qui ont structuré l'analyse. Au-delà de l'exploitation d'une base de données riche, ce travail propose une mise en contexte originale, en mobilisant le concept de sentier de croissance alimentaire, inspiré des approches structurelles en économie, et en adoptant une lecture « *bottom-up* » des transitions, centrée sur les trajectoires observées. L'intégration conjointe d'indicateurs environnementaux, économiques, nutritionnels et sanitaires permet d'aborder la durabilité de manière plus complète que dans la majorité des travaux existants. Les modèles utilisés ont été spécifiquement définis pour répondre aux questions posées, en tenant compte des dynamiques longitudinales, des effets de structure et des hétérogénéités sociales. L'ensemble des analyses repose sur des outils validés d'évaluation des consommations alimentaires et sur des procédures rigoureuses de traitement et de contrôle des données. Ce croisement entre cadre théorique, approche empirique et exigence méthodologique constitue l'une des principales contributions de ce travail à l'étude des transitions alimentaires durables. Il en fait également l'une des rares études à documenter les trajectoires alimentaires récentes au sein d'une cohorte française, en articulant les dimensions nutritionnelle, sanitaire, environnementale et économique. Ce positionnement offre des bases solides pour concevoir des interventions adaptées et ciblées.

4. Perspectives et conclusions

Dans la continuité de ce travail, qui a permis d'identifier les trajectoires alimentaires des adultes français et de proposer des scénarios d'optimisation en vue d'une alimentation plus durable, l'enjeu central qui se pose désormais concerne l'adhésion effective des consommateurs à ces changements et la persistance dans le temps. C'est un point crucial pour passer d'un constat scientifique et d'une modélisation prospective à une transformation concrète des comportements. Ces perspectives s'articulent autour d'actions progressives, visant d'abord à mieux comprendre et accompagner la demande alimentaire, pour générer à terme un impact structurel sur l'offre. Cette démarche repose sur l'hypothèse qu'une transition alimentaire durable ne peut se construire sans une approche segmentée, tenant compte des spécificités et des dynamiques propres à chaque profil de consommateur.

À court terme, approfondir la compréhension des profils de trajectoires identifiés apparaît comme une étape incontournable. Si notre travail a permis d'objectiver des tendances et des profils distincts, la réussite d'une transition durable suppose de mieux cerner les ressorts psychologiques et comportementaux qui sous-tendent l'adoption ou la résistance au changement alimentaire. Pour cela, des entretiens pourraient être menés auprès des individus appartenant aux différents profils identifiés dans le cadre de ce travail, afin de les positionner précisément sur un continuum de transition : des consommateurs en « transition rapide » motivés par des valeurs éthiques, environnementales ou de santé, à ceux en « transition progressive », freinés par leurs habitudes ou leurs contraintes sociales, jusqu'aux consommateurs « résistants », attachés à des croyances et valeurs traditionnelles. Une telle démarche permettrait également d'explorer l'influence de facteurs transversaux comme le stress, les émotions, les biais cognitifs ou l'identité sociale et culturelle dans la prise de décision alimentaire.

À moyen terme, il s'agira de passer à l'action, en développant des stratégies éducatives et des campagnes de sensibilisation ciblées. Chaque profil pourrait bénéficier d'outils adaptés : pour les consommateurs déjà engagés, des ateliers de cuisine avancés, des visites chez des producteurs locaux et des programmes renforçant l'appropriation des pratiques durables ; pour ceux en transition progressive, des cours de cuisine axés sur l'intégration graduelle d'aliments durables, des défis alimentaires mensuels et des groupes de soutien ; pour les profils résistants, des campagnes de sensibilisation axées sur les bénéfices santé, des dégustations valorisant le goût et des témoignages de pairs. Dans cette dynamique, les médias et les réseaux sociaux constituent un levier incontournable : des campagnes personnalisées pourraient être diffusées grâce aux algorithmes des plateformes, des collaborations nouées avec des influenceurs spécialisés, et des contenus interactifs développés pour renforcer l'engagement. La lutte contre la désinformation, via des partenariats avec des experts, et la

valorisation du partage d'expériences entre consommateurs sont également des éléments clés pour construire une communauté autour de l'alimentation durable.

À plus long terme, le passage progressif vers une demande plus durable est susceptible d'entraîner une transformation de l'offre. Face à une évolution structurelle des attentes des consommateurs, les industriels et les distributeurs pourraient être amenés à réorganiser leurs gammes de produits, à investir dans l'innovation durable et à adapter leurs stratégies marketing. Cette transformation nécessitera néanmoins un accompagnement pour absorber les coûts de transition et garantir une compétitivité économique. Par ailleurs, un suivi rigoureux des trajectoires alimentaires devra être mis en place afin d'évaluer la pérennité des changements et d'ajuster les dispositifs d'accompagnement.

Ces perspectives renvoient également à la nécessité d'articuler les dynamiques individuelles avec des leviers d'action publics. Les résultats de ce travail pourraient nourrir la conception de politiques combinant incitations fiscales, subventions pour les produits durables, dispositifs de lutte contre la précarité alimentaire et programmes d'éducation nutritionnelle. Les travaux de l'OCDE (60) et de l'Institut Montaigne (47) soulignent l'efficacité d'approches différenciées selon le profil socioéconomique, en combinant régulations des prix, éducation et incitations comportementales. À titre d'exemple, l'exonération de TVA pour les denrées distribuées par des associations, les chèques alimentaires ciblés sur les fruits et légumes, le développement de cantines sociales et scolaires de qualité, ou encore des taxes nutritionnelles et des bonus pour l'achat de fruits et légumes apparaissent comme des leviers cohérents et complémentaires aux enseignements de cette thèse, permettant d'agir à la fois sur l'accessibilité économique, l'équité sociale et la diffusion d'informations fiables sur l'alimentation durable.

En somme, l'efficacité d'une transition vers une alimentation durable repose sur une compréhension fine des profils de consommateurs, un accompagnement adapté et différencié, et une articulation cohérente entre actions éducatives, économiques et politiques. Il s'agit moins d'imposer un modèle unique que de construire, avec les consommateurs, un chemin de transition ancré dans leurs pratiques et leurs réalités sociales, pour tendre vers une transformation structurelle et durable des modes d'alimentation.

Conclusion

À l'heure où les systèmes alimentaires doivent répondre simultanément à des enjeux sanitaires, environnementaux, économiques et sociaux, repenser les régimes alimentaires dans une logique de durabilité impose d'intégrer non seulement des objectifs multiples, mais aussi les conditions concrètes de leur atteinte. Cette thèse s'est inscrite dans cette perspective, en construisant un cadre d'analyse articulé autour de deux axes structurants : la notion de « sentier de durabilité », permettant de penser la transition comme une trajectoire progressive et différenciée, et une approche « *bottom-up* », ancrée dans les comportements alimentaires observés et soucieuse de faisabilité.

L'analyse longitudinale des pratiques alimentaires de plus de 17 000 adultes français participants à la cohorte NutriNet-Santé sur près d'une décennie a permis de conclure que **la transition alimentaire est bien en cours en France, mais qu'elle reste partielle, hétérogène et socialement différenciée**. En identifiant les profils de consommation et les déterminants et impacts associés, cette recherche fournit des éléments essentiels pour l'élaboration d'interventions ciblées, adaptées à la diversité des pratiques et des contraintes, en faveur d'un système alimentaire plus durable. L'optimisation multicritère menée à partir de ces profils montre qu'**une réduction substantielle des émissions de gaz à effet de serre est possible, dès les premières étapes du sentier**. Le scénario $\lambda = 0,1$, qui intègre un faible poids environnemental, permet une diminution des émissions jusqu'à -64 %, sans rupture majeure avec les habitudes alimentaires actuelles, et tout en respectant les contraintes nutritionnelles. Ce scénario intermédiaire illustre ainsi un compromis réaliste, compatible avec une transition progressive.

Ces résultats appellent à dépasser les logiques prescriptives et uniformes, en faveur d'une vision de la durabilité alimentaire ancrée dans la diversité des contextes sociaux, culturels et nutritionnels. Ils ouvrent des perspectives de recherche et d'action intégrant d'autres dimensions essentielles, telles que le coût, la justice sociale, la biodiversité ou l'environnement politique, pour mieux accompagner les transformations systémiques à venir. La démonstration selon laquelle plusieurs trajectoires vers une alimentation plus durable sont possibles, à condition d'en reconnaître les équilibres et contraintes propres, constitue un levier central pour passer de la modélisation prospective à des changements concrets dans les comportements. Une telle transition suppose de privilégier des démarches progressives, ciblant d'abord les leviers de la demande, afin d'induire à plus long terme une transformation en profondeur de l'offre alimentaire. Cette orientation repose sur la conviction qu'aucune transition ne sera viable sans une approche différenciée, adaptée aux réalités et aux dynamiques spécifiques de chaque groupe de consommateurs.

Références bibliographiques

1. Nguyen H. Sustainable food systems: Concept and framework. 2018;
2. Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin FS, Lambin EF, et al. A safe operating space for humanity. *Nature*. 2009 Sep 24;461(7263):472–5.
3. Richardson K, Steffen W, Lucht W, Bendtsen J, Cornell SE, Donges JF, et al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*. 2023 Sep 13;9(37):eadh2458.
4. CGDD. La France face aux neuf limites planétaires. 2023 [cited 2025 May 1]. La France face aux neuf limites planétaires. Available from: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/la-france-face-aux-neuf-limites-planetaires/livre>
5. Potential feedbacks between loss of biosphere integrity and climate change | Global Sustainability | Cambridge Core [Internet]. [cited 2025 Apr 30]. Available from: <https://www.cambridge.org/core/journals/global-sustainability/article/potential-feedbacks-between-loss-of-biosphere-integrity-and-climate-change/2E542883F065FB603836D6AEC3B4DDDE>
6. Chrysafi A, Virkki V, Jalava M, Sandström V, Piipponen J, Porkka M, et al. Quantifying Earth system interactions for sustainable food production via expert elicitation. *Nat Sustain*. 2022 Oct;5(10):830–42.
7. Sustainable Development in the UNECE Region in 2025: More Data, Persistent Challenges | UNECE [Internet]. [cited 2025 Apr 30]. Available from: <https://unece.org/statistics/publications/sdg2025>
8. SDGHelpdesk [Internet]. [cited 2025 Jul 11]. Les systèmes agroalimentaires et le Programme de développement durable à l'horizon 2030 | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Available from: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals-helpdesk/overview/agrifood-systems-and-the-2030-agenda/fr>
9. Campbell BM, Beare DJ, Bennett EM, Hall-spencer JM, Ingram JSI, Jaramillo F, et al. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society* [Internet]. 2017 [cited 2022 Sep 17];22. Available from: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-09595-220408>
10. A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach | Journal of Water and Climate Change | IWA Publishing [Internet]. [cited 2025 Apr 30]. Available from: <https://iwaponline.com/jwcc/article/15/1/104/98490/A-review-on-climate-change-impacts-models-and-its>
11. Filonchyk M, Peterson MP, Zhang L, Hurynovich V, He Y. Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O. *Science of The Total Environment*. 2024 Jul 20;935:173359.
12. Copernicus: 2024 is the first year to exceed 1.5°C above pre-industrial level | Copernicus [Internet]. [cited 2025 May 21]. Available from: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-first-year-exceed-15degc-above-pre-industrial-level>
13. Tollefson J. Earth breaches 1.5 °C climate limit for the first time: what does it mean? *Nature*. 2025 Jan 23;637(8047):769–70.

Références bibliographiques

14. Copernicus: 2024 virtually certain to be the warmest year and first year above 1.5°C | Copernicus [Internet]. [cited 2025 May 21]. Available from: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-virtually-certain-be-warmest-year-and-first-year-above-15degc>
15. World Meteorological Organization [Internet]. 2024 [cited 2025 May 21]. 2024 is on track to be hottest year on record as warming temporarily hits 1.5°C. Available from: <https://wmo.int/news/media-centre/2024-track-be-hottest-year-record-warming-temporarily-hits-15degc>
16. UEA Climatic Research Unit 2024 global temperature report [Internet]. [cited 2025 May 21]. Available from: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/t2024/>
17. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R., Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021;
18. FAO. Greenhouse gas emissions from agrifood systems Global, regional and country trends, 2000–2020. FAOSTAT Analytical Brief Series No 50 Rome, FAO. 2022;
19. Sutton WR, Lotsch A, Prasann A. Recipe for a Livable Planet: Achieving Net Zero Emissions in the Agrifood System [Internet]. Washington, DC: World Bank; 2024 [cited 2025 May 1]. Available from: <https://hdl.handle.net/10986/41468>
20. Rockström J, Gupta J, Qin D, Lade SJ, Abrams JF, Andersen LS, et al. Safe and just Earth system boundaries. *Nature*. 2023 Jul;619(7968):102–11.
21. Benton TG, Bieg C, Harwatt H, Pudasaini R, Wellesley L. Food system impacts on biodiversity loss. 2021;
22. Weinzettel J, Vačkářů D, Medková H. Potential net primary production footprint of agriculture: A global trade analysis. *J of Industrial Ecology*. 2019 Oct;23(5):1133–42.
23. Bar-On YM, Phillips R, Milo R. The biomass distribution on Earth. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2018 Jun 19;115(25):6506–11.
24. Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Fetzer I, Bennett EM, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. 2015 Feb 13;347(6223):1259855.
25. European Commission. Joint Research Centre. Soil related indicators to support agro-environmental policies: soil erosion soil carbon soil nutrients and fertility. [Internet]. LU: Publications Office; 2020 [cited 2025 May 1]. Available from: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/011194>
26. Panagos P, Standardi G, Borrelli P, Lugato E, Montanarella L, Bosello F. Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models. *Land Degrad Dev*. 2018 Mar;29(3):471–84.
27. FAO. Land use statistics and indicators statistics. Global, regional and country trends 1990–2019. 2021 [cited 2025 May 20]; Available from: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb6033en>

28. Tomalka J, Hunecke C, Murken L, Heckmann T, Cronauer C, Becker R, et al. Stepping back from the precipice: Transforming land management to stay within planetary boundaries: Special report on land [Internet]. Potsdam Institute for Climate Impact Research; 2024 Nov [cited 2025 Apr 30] p. 122 pages, 15,4 MB. Available from: https://publications.pik-potsdam.de/pubman/item/item_30631
29. Khoury CK, Brush S, Costich DE, Curry HA, de Haan S, Engels JMM, et al. Crop genetic erosion: understanding and responding to loss of crop diversity. *New Phytologist*. 2022;233(1):84–118.
30. Ringler C, Agbonlahor M, Barron J, Baye K, Meenakshi JV, Mekonnen DK, et al. The role of water in transforming food systems. *Global Food Security*. 2022 Jun;33:100639.
31. Porkka M, Virkki V, Wang-Erlandsson L, Gerten D, Gleeson T, Mohan C, et al. Notable shifts beyond pre-industrial streamflow and soil moisture conditions transgress the planetary boundary for freshwater change. *Nat Water*. 2024 Mar 4;2(3):262–73.
32. Jasechko S, Seybold H, Perrone D, Fan Y, Shamsudduha M, Taylor RG, et al. Rapid groundwater decline and some cases of recovery in aquifers globally. *Nature*. 2024 Jan 25;625(7996):715–21.
33. OECD. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options [Internet]. OECD; 2022 [cited 2025 May 2]. Available from: https://www.oecd.org/en/publications/global-plastics-outlook_de747aef-en.html
34. Saha G, Saha SC. Tiny Particles, Big Problems: The Threat of Microplastics to Marine Life and Human Health. *Processes*. 2024 Jul 4;12(7):1401.
35. IPBES. Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production | IPBES secretariat [Internet]. 2016 [cited 2025 May 2]. Available from: <https://www.ipbes.net/node/28327>
36. Corrêa TR, Gaylarde CC, Baptista Neto JA, Delgado JDF, Lima LDS, Cunha DL, et al. The Impact of Microplastics on Global Food Production: A Brief Overview of This Complex Sector. *Microplastics*. 2023 Nov 15;2(4):371–88.
37. Carvalho FP. Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*. 2017 May;6(2):48–60.
38. Kaur K, Singh S, Kaur R. Impact of antibiotic usage in food-producing animals on food safety and possible antibiotic alternatives. *The Microbe*. 2024 Sep;4:100097.
39. Froger C, Jolivet C, Budzinski H, Pierdet M, Caria G, Saby NPA, et al. Pesticide Residues in French Soils: Occurrence, Risks, and Persistence. *Environ Sci Technol*. 2023 May 23;57(20):7818–27.
40. Perrot T, Bonmatin JM, Jactel H, Leboulanger C, Goffaux R, Gaba S. Temporal and spatial trends of imidacloprid-related hazards in France. *Science of The Total Environment*. 2024 Oct 1;945:173950.
41. European Environment Agency. Veterinary antimicrobials in Europe’s environment: a One Health perspective [Internet]. 2024 [cited 2025 May 20]. Available from: <https://www.eea.europa.eu/publications/veterinary-antimicrobials-in-europes-environment/veterinary-antimicrobials-in-europes-environment>
42. Clark MA, Springmann M, Hill J, Tilman D. Multiple health and environmental impacts of foods. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2019 Nov 12;116(46):23357–62.
43. Chapter_2_2021_Global_Nutrition_Report.pdf [Internet]. [cited 2025 Jul 11]. Available from: https://media.globalnutritionreport.org/documents/Chapter_2_2021_Global_Nutrition_Report.pdf

Références bibliographiques

44. Poore, Nemecek. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers | Science [Internet]. 2018 [cited 2022 Sep 11]. Available from: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aag0216>
45. Our World in Data [Internet]. [cited 2025 Jul 11]. Food: greenhouse gas emissions across the supply chain. Available from: <https://ourworldindata.org/grapher/food-emissions-supply-chain>
46. GBD 2021 Diseases and Injuries Collaborators. Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability-adjusted life-years (DALYs), and healthy life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet*. 2024 May 18;403(10440):2133–61.
47. Institut Montaigne. Institut Montaigne. 2024 [cited 2025 May 5]. Fracture alimentaire : maux communs, remède collectif. Available from: <https://www.institutmontaigne.org/publications/fracture-alimentaire-maux-communs-remede-collectif>
48. Agurs-Collins T, Alvidrez J, ElShourbagy Ferreira S, Evans M, Gibbs K, Kowtha B, et al. Perspective: Nutrition Health Disparities Framework: A Model to Advance Health Equity. *Adv Nutr*. 2024 Apr;15(4):100194.
49. WHO. European Food and Nutrition Action Plan 2015–2020 [Internet]. 2015 [cited 2025 May 7]. Available from: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289051231>
50. ANSES. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. 2025 [cited 2025 Jul 12]. Rapport d'activité 2024. Available from: <https://www.anses.fr/fr/content/rapport-dactivite-2024>
51. 2024 EFSA Annual Report Emerging Risks and Horizon Scanning Activities | EFSA [Internet]. 2025 [cited 2025 Jul 12]. Available from: <https://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/en-9475>
52. Baudry J, Rebouillat P, Samieri C, Berlivet J, Kesse-Guyot E. Dietary pesticide exposure and non-communicable diseases and mortality: a systematic review of prospective studies among adults. *Environ Health*. 2023 Oct 31;22(1):76.
53. The 2023 European Union report on pesticide residues in food | EFSA [Internet]. 2025 [cited 2025 Jul 12]. Available from: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/9398>
54. Pesticide residues in food: 2023: toxicological evaluations / Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues [Internet]. [cited 2025 Jul 12]. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240099302>
55. World Health Organization. A conceptual framework for action on the social determinants of health. 2010;76.
56. Pineda E, Stockton J, Scholes S, Lassale C, Mindell JS. Food environment and obesity: a systematic review and meta-analysis. *BMJNPH* [Internet]. 2024 Apr 22 [cited 2025 May 7]; Available from: <https://nutrition.bmj.com/content/early/2024/04/21/bmjnph-2023-000663>

57. Giskes K, Avendaño M, Brug J, Kunst AE. A systematic review of studies on socioeconomic inequalities in dietary intakes associated with weight gain and overweight/obesity conducted among European adults. *Obesity Reviews*. 2010;11(6):413–29.
58. Bennett MK. Wheat in National Diets. *Wheat Studies* [Internet]. 1941 [cited 2024 Sep 25];18(02). Available from: <https://econpapers.repec.org/article/agsfrisws/142802.htm>
59. Insee Références. Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires. 2024 edition.
60. Hassett K, Nauges C, Giner C, Koetse M, Tikoudis I, Bystrom O. Household food choices: New empirical evidence and policy implications for sustainable behaviour [Internet]. 255th ed. 2025 Jan [cited 2025 May 7]. (OECD Environment Working Papers). Available from: https://www.oecd.org/en/publications/household-food-choices_97c4041a-en.html
61. Maillot M, Vieux F, Delaere F, Lluch A, Darmon N. Dietary changes needed to reach nutritional adequacy without increasing diet cost according to income: An analysis among French adults. Adams J, editor. *PLoS ONE*. 2017 Mar 30;12(3):e0174679.
62. Bai, Alemu, Block. Cost and affordability of nutritious diets at retail prices: Evidence from 177 countries. 2021;
63. Bai, Alemu, Block. Cost and affordability of nutritious diets at retail prices: Evidence from 177 countries. 2021;
64. Caillavet F, Darmon N, Lhuissier A, Régnier F. L'alimentation des populations défavorisées en France. Synthèse des travaux dans les domaines économique, sociologique et nutritionnel. 2005;44.
65. Biscontin A. Habitudes alimentaires: évolution, caractéristiques, impact sur la santé et génétique nutritionnelle. 2018;238.
66. GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020 Oct 17;396(10258):1223–49.
67. Key J, Burnett D, Babu JR, Geetha T. The Effects of Food Environment on Obesity in Children: A Systematic Review. *Children*. 2023 Jan;10(1):98.
68. Baudry, Pointereau, Seconda. Improvement of diet sustainability with increased level of organic food in the diet: findings from the BioNutriNet cohort. 2019;
69. Roux. Consommation, distribution et prix des fruits et légumes issus de l'agriculture biologique en France [Internet]. 2013 [cited 2022 Sep 14]. Available from: <https://docplayer.fr/20771478-Consommation-distribution-et-prix-des-fruits-et-legumes-issus-de-l-agriculture-biologique-en-france.html>
70. Gohary A, Madani F, Lie DS, Chan EY. Does rejecting inequality enhance green consumption? The effect of power distance belief on organic food consumption. *Appetite*. 2025 Feb;206:107764.
71. United Nations Food Systems Coordination Hub. BIENNIAL WORK PLAN 2024-2026. 2024.
72. FAO. The State of Food and Agriculture 2024 [Internet]. FAO; 2024 [cited 2025 May 12]. Available from: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd2616en>

Références bibliographiques

73. Alliot C, Mc Adams-Marin D, Borniotto D, Baret PV. The social costs of pesticide use in France. *Front Sustain Food Syst* [Internet]. 2022 Nov 17 [cited 2025 Jul 11];6. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2022.1027583/full>
74. EAT [Internet]. 2019 [cited 2025 May 8]. EAT-Lancet Commission Summary Report. Available from: <https://eatforum.org/eat-lancet-commission/eat-lancet-commission-summary-report/>
75. Farm to Fork Strategy - European Commission [Internet]. 2020 [cited 2025 May 8]. Available from: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
76. UN Food Systems Coordination Hub. Food Systems and Agriculture at COP29. 2024;
77. Burlingame B, Dernini S. Sustainable diets and biodiversity: directions and solutions for policy, research and action: proceedings of the international scientific symposium Biodiversity and sustainable diets united against hunger, 3-5 november 2010, FAO headquarters, Rome. Rome: FAO; 2012.
78. Epthinktank [Internet]. 2024 [cited 2025 May 9]. EU 'farm to fork' strategy: State of play. Available from: <https://epthintank.eu/2024/02/13/eu-farm-to-fork-strategy-state-of-play/>
79. LOI n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets (1). 2021-1104 Aug 22, 2021.
80. Ilec [Internet]. [cited 2025 Jul 18]. Alimentation durable : réflexions et pistes d'action. Available from: <https://www.ilec.asso.fr/tribunes/22823>
81. ADEME. Alimentation durable : enjeux et priorités de l'ADEME [Internet]. [cited 2025 May 12]. Available from: <https://economie-circulaire.ademe.fr/alimentation-durable>
82. FAO and WHO. Sustainable healthy diets: Guiding principles. 2019. 42 p.
83. Fernqvist F, Spendrup S, Tellström R. Understanding food choice: A systematic review of reviews. *Heliyon* [Internet]. 2024 Jun 30 [cited 2025 May 12];10(12). Available from: [https://www.cell.com/heliyon/abstract/S2405-8440\(24\)08523-2](https://www.cell.com/heliyon/abstract/S2405-8440(24)08523-2)
84. Li S, Kallas Z. Meta-analysis of consumers' willingness to pay for sustainable food products. *Appetite*. 2021 Aug 1;163:105239.
85. Cheng L, Cui H, Zhang Z, Yang M, Zhou Y. Study on consumers' motivation to buy green food based on meta-analysis. *Front Sustain Food Syst* [Internet]. 2024 Jun 5 [cited 2025 May 12];8. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2024.1405787/full>
86. Blare T, Roman S, del Pozo Loayza C, Borja RM, Oyarzun PJ, Alem Zabalaga M. The role of demand in the agroecological transition: an analysis of recent literature. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2023 Dec 1;65:101378.
87. Mustapa MAC, Kallas Z. Meta-Analysis of Consumer Willingness to Pay for Short Food Supply Chain Products. *Global Challenges*. 2025;9(3):2400154.
88. Sholihah DD, Rizqan A, Bascha UF, Asrul SAB, Astutik RD, Anugerah AM. Generation Z and Consumer Awareness in Sustainable Consumption: A Bibliometric Analysis. In *Atlantis Press*; 2025 [cited 2025 May 12]. p. 27–38. Available from: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/icombo-24/126010350>

89. Gonzalez Fischer C, Garnett T. Assiettes, pyramides et planète [Internet]. FAO ; 2018 [cited 2025 May 9]. Available from: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5640fr>
90. James-Martin G, Baird DL, Hendrie GA, Bogard J, Anastasiou K, Brooker PG, et al. Environmental sustainability in national food-based dietary guidelines: a global review. *The Lancet Planetary Health*. 2022 Dec 1;6(12):e977–86.
91. Aguirre-Sánchez L, Teschner R, Lalchandani NK, El Maohub Y, Suggs LS. Climate Change Mitigation Potential in Dietary Guidelines: A Global Review. *Sustainable Production and Consumption*. 2023 Sep;40:558–70.
92. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 [Internet]. FAO ; IFAD ; UNICEF ; WFP ; WHO ; 2024 [cited 2025 May 14]. Available from: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd1254en>
93. Kenny TA, Woodside JV, Perry IJ, Harrington JM. Consumer attitudes and behaviors toward more sustainable diets: a scoping review. *Nutrition Reviews*. 2023 Dec 1;81(12):1665–79.
94. Principato L, Pice G, Pezzi A. Understanding food choices in sustainable healthy diets – A systematic literature review on behavioral drivers and barriers. *Environmental Science & Policy*. 2025 Jan 1;163:103975.
95. Scalco A, Noventa S, Sartori R, Ceschi A. Predicting organic food consumption: A meta-analytic structural equation model based on the theory of planned behavior. *Appetite*. 2017 May 1;112:235–48.
96. Fatemi SF, Tehrani H, Khosravi M, Doosti H, Rasaei N, Sobhani SR. Influencing factors of adherence to sustainable diets: a systematic review of behavioral theories. *Front Sustain Food Syst*. 2025 Feb 10;9:1465622.
97. Marty L, de Lauzon-Guillain B, Labesse M, Nicklaus S. Food choice motives and the nutritional quality of diet during the COVID-19 lockdown in France. *Appetite*. 2021 Feb 1;157:105005.
98. Siraj A, Taneja S, Zhu Y, Jiang H, Luthra S, Kumar A. Hey, did you see that label? It's sustainable!: Understanding the role of sustainable labelling in shaping sustainable purchase behaviour for sustainable development. *Business Strategy and the Environment*. 2022;31(7):2820–38.
99. Alliot C, Feige-Muller M, Mc Adams-Marin, D, Gissinger A, Benoit G, Segré H, et al. ÉTUDE DE DÉMARCHES DE DURABILITÉ DANS LE DOMAINE ALIMENTAIRE RAPPORT D'ANALYSE TRANSVERSE [Internet]. Paris, France: Le Basic; 2021 p. 1–58. Available from: https://lebasic.com/wp-content/uploads/2021/09/GREENPEACE_WWF_BASIC_RAPPORT_TRANSVERSE_20220209.pdf
100. Marty L, Chambaron S, de Lauzon-Guillain B, Nicklaus S. The motivational roots of sustainable diets: Analysis of food choice motives associated to health, environmental and socio-cultural aspects of diet sustainability in a sample of French adults. *Cleaner and Responsible Consumption*. 2022 Jun 1;5:100059.
101. Fenta ET, Tiruneh MG, Anagaw TF. Exploring Enablers and Barriers of Healthy Dietary Behavior Based on the Socio-Ecological Model, a Qualitative Systematic Review. *NDS*. 2023 Mar 10;15:13–23.
102. Johnston JL, Fanzo JC, Cogill B. Understanding Sustainable Diets: A Descriptive Analysis of the Determinants and Processes That Influence Diets and Their Impact on Health, Food Security, and Environmental Sustainability. *Advances in Nutrition*. 2014 Jul 1;5(4):418–29.

103. Zorell CV, Kim A, Neuman N. Studying factual versus social cues as triggers of change in food behaviour. *Journal of Nutritional Science*. 2024 Jan;13:e88.
104. Fox EL, Davis C, Downs SM, McLaren R, Fanzo J. A focused ethnographic study on the role of health and sustainability in food choice decisions. *Appetite*. 2021 Oct 1;165:105319.
105. Springmann M, Clark MA, Rayner M, Scarborough P, Webb P. The global and regional costs of healthy and sustainable dietary patterns: a modelling study. *The Lancet Planetary Health*. 2021 Nov 1;5(11):e797–807.
106. Afshin A, Peñalvo JL, Del Gobbo L, Silva J, Michaelson M, O’Flaherty M, et al. The prospective impact of food pricing on improving dietary consumption: A systematic review and meta-analysis. Adams J, editor. *PLoS ONE*. 2017 Mar 1;12(3):e0172277.
107. Jurado-Gonzalez P, Xavier Medina F, Bach-Faig A. Barriers to home food preparation and healthy eating among university students in Catalonia. *Appetite*. 2024 Mar 1;194:107159.
108. Baur I, Stylianou KS, Ernstoff A, Hansmann R, Jolliet O, Binder CR. Drivers and Barriers Toward Healthy and Environmentally Sustainable Eating in Switzerland: Linking Impacts to Intentions and Practices. *Front Sustain Food Syst* [Internet]. 2022 Mar 16 [cited 2025 May 13];6. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2022.808521/full>
109. Mengi Çelik Ö, Aytekin Şahin G, Gürel S. Do cooking and food preparation skills affect healthy eating in college students? *Food Science & Nutrition*. 2023;11(10):5898–907.
110. Hermosa-Bosano C, López-Gil JF. Low Self-Perceived Cooking Skills Are Linked to Greater Ultra-Processed Food Consumption Among Adolescents: The EHDLA Study. *Nutrients*. 2025 Jan;17(7):1168.
111. Françoise CARTRON, Jean-Luc FICHET. Sénat. 2020 [cited 2025 May 14]. Vers une alimentation durable : Un enjeu sanitaire, social, territorial et environnemental majeur pour la France. Available from: <https://www.senat.fr/rap/r19-476/r19-476.html>
112. Millot A. L’impact des déterminants commerciaux de la santé. Le cas du lobbying de l’industrie de l’alcool et de l’industrie du tabac en France [Internet] [These de doctorat]. Rennes, École des hautes études en santé publique; 2023 [cited 2025 May 14]. Available from: <https://theses.fr/2023HESP0004>
113. Manzanaro SS. L’UE a besoin d’un cadre commun pour prendre le chemin de la durabilité, plaide un représentant de l’industrie alimentaire [Internet]. *Euractiv FR*. 2024 [cited 2025 May 14]. Available from: <https://www.euractiv.fr/section/agriculture-alimentation/news/lue-a-besoin-dun-cadre-commun-pour-prendre-le-chemin-de-la-durabilite-plaide-le-representant-de-lindustrie-alimentaire/>
114. Marianne Kerfriden, Elena DeBre (Lighthouse). Le lobbying agricole de la FNSEA à la loupe [Internet]. *Splann ! | ONG d’enquêtes journalistiques en Bretagne*. 2024 [cited 2025 May 14]. Available from: <https://splann.org/lobby-agricole-fnsea/>
115. La déclaration de dublin des scientifiques sur le rôle sociétal de l’élevage [Internet]. [cited 2025 May 14]. Available from: <https://www.dublin-declaration.org/fr/>
116. Cellule investigation de Radio France. *France Inter*. 2024 [cited 2025 May 14]. Quand le lobby de la viande influence des scientifiques pour servir ses intérêts. Available from:

<https://www.radiofrance.fr/franceinter/podcasts/l-info-de-france-inter/l-info-de-france-inter-3564170>

117. Bricas N, Conaré D, Walser M, editors. Une écologie de l'alimentation [Internet]. éditions Quae; 2021 [cited 2025 May 14]. Available from: <https://www.quae-open.com/extract/646>
118. Barré R, Jollivet M. Interdisciplinarité et recherche participative : deux régimes de recherche pour la transition écologique et solidaire. Une mise en perspective programmatique. *Nat Sci Soc*. 2023 Jan 1;31(1):110–9.
119. Leydon CL, Leonard UM, McCarthy SN, Harrington JM. Aligning Environmental Sustainability, Health Outcomes, and Affordability in Diet Quality: A Systematic Review. *Advances in Nutrition*. 2023 Nov 1;14(6):1270–96.
120. Tao Y, Wall M, Larson N, Neumark-Sztainer D, Winpenny EM. Changes in diet quality across life transitions from adolescence to early adulthood: a latent growth analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2024 Nov 1;120(5):1215–24.
121. Fanelli Kuczmarowski M, Beydoun MA, Georgescu MF, Noren Hooten N, Mode NA, Evans MK, et al. Diet Quality Trajectories over Adulthood in a Biracial Urban Sample from the Healthy Aging in Neighborhoods of Diversity across the Life Span Study. *Nutrients*. 2023 Jan;15(14):3099.
122. Perignon M, Darmon N. Advantages and limitations of the methodological approaches used to study dietary shifts towards improved nutrition and sustainability. *Nutrition Reviews*. 2022 Mar 1;80(3):579–97.
123. Eme PE, Douwes J, Kim N, Foliaki S, Burlingame B. Review of Methodologies for Assessing Sustainable Diets and Potential for Development of Harmonised Indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019 Jan;16(7):1184.
124. Lamine C, Marsden T. Unfolding sustainability transitions in food systems: Insights from UK and French trajectories. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2023 Nov 21;120(47):e2206231120.
125. Ruben R, Cavatassi R, Lipper L, Smaling E, Winters P. Towards food systems transformation—five paradigm shifts for healthy, inclusive and sustainable food systems. *Food Sec*. 2021 Dec 1;13(6):1423–30.
126. Mehlig K, Blomqvist I, Klingberg S, Bianchi M, Sjoms J, Hunsberger M, et al. Secular trends in diet-related greenhouse gas emission estimates since 2000 - a shift towards sustainable diets in Sweden. *Public Health Nutr*. 2021 Aug;24(12):3916–21.
127. Biesbroek S, Verschuren WM, Boer JM, Van Der Schouw YT, Sluijs I, Temme EH. Are our diets getting healthier and more sustainable? Insights from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition – Netherlands (EPIC-NL) cohort. *Public Health Nutr*. 2019 Nov;22(16):2931–40.
128. Bodirsky BL, Dietrich JP, Martinelli E, Stenstad A, Pradhan P, Gabrysch S, et al. The ongoing nutrition transition thwarts long-term targets for food security, public health and environmental protection. *Sci Rep*. 2020 Nov 18;10(1):19778.
129. Strid A, Johansson I, Bianchi M, Sonesson U, Hallström E, Lindahl B, et al. Diets benefiting health and climate relate to longevity in northern Sweden. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2021 Aug 1;114(2):515–29.

130. Kalmouropourzidou A, Biasini B, Rosi A, Scazzina F. Environmental Impact of Current Diets and Alternative Dietary Scenarios Worldwide: A Systematic Review. *Nutrition Reviews* [Internet]. 2025 Mar 10 [cited 2025 Jul 11]; Available from: <https://academic.oup.com/nutritionreviews/advance-article/doi/10.1093/nutrit/nuae215/8155800>
131. Kesse-Guyot E, Lairon D, Allès B, Seconda L, Rebouillat P, Brunin J, et al. Key Findings of the French BioNutriNet Project on Organic Food-Based Diets: Description, Determinants, and Relationships to Health and the Environment. *Advances in Nutrition*. 2022 Jan 1;13(1):208–24.
132. Seconda L, Baudry J, Allès B, Boizot-Szantai C, Soler LG, Galan P, et al. Comparing nutritional, economic, and environmental performances of diets according to their levels of greenhouse gas emissions. *Climatic Change*. 2018 May;148(1–2):155–72.
133. Seconda L, Baudry J, Allès B, Soler LG, Hercberg S, Langevin B, et al. Identification of sustainable dietary patterns by a multicriteria approach in the NutriNet-Santé cohort. *Journal of Cleaner Production*. 2018 Sep;196:1256–65.
134. Seconda L, Baudry J, Pointereau P, Lacour C, Langevin B, Hercberg S, et al. Development and validation of an individual sustainable diet index in the NutriNet-Santé study cohort. *British Journal of Nutrition*. 2019 May;121(10):1166–77.
135. Seconda L, Baudry J, Allès B, Touvier M, Hercberg S, Pointereau P, et al. Prospective associations between sustainable dietary pattern assessed with the Sustainable Diet Index (SDI) and risk of cancer and cardiovascular diseases in the French NutriNet-Santé cohort. *Eur J Epidemiol*. 2020 May;35(5):471–81.
136. Seconda L, Egnell M, Julia C, Touvier M, Hercberg S, Pointereau P, et al. Association between sustainable dietary patterns and body weight, overweight, and obesity risk in the NutriNet-Santé prospective cohort. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2020 Jul 1;112(1):138–49.
137. Seconda LL. Identification de nouveaux profils alimentaires: Estimation des impacts environnementaux et individuels. 2019;
138. Hjorth T, Huseinovic E, Hallström E, Strid A, Johansson I, Lindahl B, et al. Changes in dietary carbon footprint over ten years relative to individual characteristics and food intake in the Västerbotten Intervention Programme. *Sci Rep*. 2020 Jan 8;10(1):20.
139. Musicus AA, Wang DD, Janiszewski M, Eshel G, Blondin SA, Willett W, et al. Health and environmental impacts of plant-rich dietary patterns: a US prospective cohort study. *The Lancet Planetary Health*. 2022 Nov 1;6(11):e892–900.
140. Lv Y, Wu M, Liu W, Liu K, Wang Y, Cui Z, et al. Plant-Based Diet Indices with Greenhouse Gas Emissions and Risk of Cardiometabolic Diseases and All-Cause Mortality: Longitudinal China Cohort Study. *Nutrients*. 2025 Jan;17(7):1152.
141. Cai H, Talsma EF, Chang Z, Wen X, Fan S, van't Veer P, et al. Health outcomes, environmental impacts, and diet costs of adherence to the EAT-Lancet Diet in China in 1997–2015: a health and nutrition survey. *The Lancet Planetary Health*. 2024 Dec 1;8(12):e1030–42.
142. Tan LJ, Shin S. Low Greenhouse Gas Emission Self-Selective Diets and Risk of Metabolic Syndrome in Adults 40 and Older: A Prospective Cohort Study in South Korea. *Environ Health Perspect*. 2023 Nov 17;131(11):117010.

143. Frontiers | Dietary greenhouse gas emissions and resource use among Bavarian adults: associations with sociodemographics and food choices [Internet]. [cited 2025 Jul 15]. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2025.1542254/full>
144. Strid A, Hallström E, Lindroos AK, Lindahl B, Johansson I, Winkvist A. Adherence to the Swedish dietary guidelines and the impact on mortality and climate in a population-based cohort study. *Public Health Nutrition*. 2023 Nov;26(11):2333–42.
145. Muet PA. *Les théories contemporaines de la croissance*. 1993;
146. Iddri et I4CE. TRAMe2035, Scénario pour une Transition des Régimes Alimentaires des Ménages, Livret 1 [Internet]. 2025 [cited 2025 Jun 3]. Available from: <https://www.i4ce.org/wp-content/uploads/2025/01/TRAMe2035-Scenario-pour-une-Transition-des-Regimes-Alimentaires-des-Menages.pdf>
147. Paul A. Sabatier. Top-down and Bottom-up Approaches to Implementation Research: A Critical Analysis and Suggested Synthesis [Internet]. 1986. Available from: <https://www.jstor.org/stable/3998354?seq=1>
148. pulzl H, Treib O. Implementing Public Policy. In: Fischer F, Miller G, Sidney M, editors. *Public Administration and Public Policy* [Internet]. CRC Press; 2006 [cited 2025 May 31]. p. 89–107. Available from: <http://www.crcnetbase.com/doi/10.1201/9781420017007.ch7>
149. Weatherley R, Lipsky M. Street-Level Bureaucrats and Institutional Innovation: Implementing Special-Education Reform. *Harvard Educational Review*. 1977 Jul 1;47(2):171–97.
150. Shahi HB. Significance of Bottom-Up Approach for Policy Implementation. *PAAN Journal*. 2024 May 23;30(1):1748–52.
151. Rogers EM. *Diffusion of innovations*. 3rd ed. New York : London: Free Press ; Collier Macmillan; 1983. 453 p.
152. Dearing JW. Applying Diffusion of Innovation Theory to Intervention Development. *Research on Social Work Practice*. 2009 Sep;19(5):503–18.
153. Aoki M. The Gap Between Early Adopters and Early Majority in the Diffusion of Environmentally Friendly Farming. *Sociology Study*. 2014;
154. Burnett E. Essential elements of self-organization illustrated through localized agri-food systems. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2023 May 28;47(5):745–70.
155. Erwin A, Silva CA, Ma Z. Self-organization for community resilience in an invisible agricultural community. *Front Sustain Food Syst* [Internet]. 2023 Sep 27 [cited 2025 May 28];7. Available from: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2023.1160109/full>
156. Lulovicova A, Bouissou S. Les Projets Alimentaires Territoriaux (PAT) et la Transition Ecologique des Territoires : Analyse Quantitative et Systémique d’un Cas d’Etude Territorial. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*. 2024 Jun;83:69–88.
157. FAO. *Théorie du changement pour des programmes transformatifs sensibles au genre pour la sécurité alimentaire, la nutrition et l’agriculture durable – Note technique*. 2025;

Références bibliographiques

158. Conti C, Hall A, Moallemi EA, Laila A, Bene C, Fanzo J, et al. Top-down vs bottom-up processes: A systematic review clarifying roles and patterns of interactions in food system transformation. *Global Food Security*. 2025 Mar;44:100833.
159. Aschemann-Witzel J, Mulders MDGH, Mouritzen SLT. Outside-in and bottom-up: Using sustainability transitions to understand the development phases of mainstreaming plant-based in the food sector in a meat and dairy focused economy. *Technological Forecasting and Social Change*. 2023 Dec 1;197:122906.
160. Reuzé A. Rééquilibrage de consommation entre produits d'origine animale et d'origine végétale: approche épidémiologique des facteurs motivationnels et sociodémographiques influençant le processus de changement vers des comportements plus durables. 2023;
161. Deng Z, Hu Y, Wang X, Li C, Wang J, He P, et al. Transitioning to healthy and sustainable diets has higher environmental and affordability trade-offs for emerging and developing economies. *Nat Commun*. 2025 Apr 27;16(1):3948.
162. Hercberg S, Castetbon K, Czernichow S, Malon A, Mejean C, Kesse E, et al. The Nutrinet-Santé Study: a web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC Public Health*. 2010 May 11;10:242.
163. Vergnaud AC, Touvier M, Méjean C, Kesse-Guyot E, Pollet C, Malon A, et al. Agreement between web-based and paper versions of a socio-demographic questionnaire in the NutriNet-Santé study. *Int J Public Health*. 2011 Aug 1;56(4):407–17.
164. General Assembly of the World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *J Am Coll Dent*. 2014;81(3):14–8.
165. Lassale C, Péneau S, Touvier M, Julia C, Galan P, Hercberg S, et al. Validity of web-based self-reported weight and height: results of the Nutrinet-Santé study. *J Med Internet Res*. 2013 Aug 8;15(8):e152.
166. Touvier M, Méjean C, Kesse-Guyot E, Pollet C, Malon A, Castetbon K, et al. Comparison between web-based and paper versions of a self-administered anthropometric questionnaire. *Eur J Epidemiol*. 2010 May;25(5):287–96.
167. Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc*. 2003 Aug;35(8):1381–95.
168. Kesse-Guyot E, Castetbon K, Touvier M, Hercberg S, Galan P. Relative validity and reproducibility of a food frequency questionnaire designed for French adults. *Ann Nutr Metab*. 2010;57(3–4):153–62.
169. Baudry J, Méjean C, Allès B, Péneau S, Touvier M, Hercberg S, et al. Contribution of Organic Food to the Diet in a Large Sample of French Adults (the NutriNet-Santé Cohort Study). *Nutrients*. 2015 Oct 21;7(10):8615–32.
170. NutriNet-Santé. Table de Composition Des Aliments ETUDE NUTRINET SANTE - Economica. <https://www.economica.fr/livre-table-de-composition-des-aliments-etude-nutrinet-sante-c2x32211075>. 2013.

171. Wiley.com [Internet]. [cited 2024 Nov 4]. Student Solutions Manual to accompany Simulation and the Monte Carlo Method, 2nd Edition | Wiley. Available from: <https://www.wiley.com/en-cn/Student+Solutions+Manual+to+accompany+Simulation+and+the+Monte+Carlo+Method%2C+2nd+Edition-p-9780470285312>
172. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr*. 1985;39 Suppl 1:5–41.
173. INSEE. Définition - Nombre d'unités de Consommation Du Ménage Fiscal | Insee. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1001>. 2009.
174. Kantar. Kantar | Consumer Panel | Consumer Behaviour Insights | Consumer Panels - Kantar Worldpanel. <https://www.kantarworldpanel.com/global>. 2012.
175. Baudry J, Pointereau P, Seconda L, Vidal R, Taupier-Letage B, Langevin B, et al. Improvement of diet sustainability with increased level of organic food in the diet: findings from the BioNutriNet cohort. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2019 Apr;109(4):1173–88.
176. Seconda L, Baudry J, Allès B, Hamza O, Boizot-Szantai C, Soler LG, et al. Assessment of the Sustainability of the Mediterranean Diet Combined with Organic Food Consumption: An Individual Behaviour Approach. *Nutrients*. 2017 Jan 12;9(1):61.
177. Chaltiel D, Adjibade M, Deschamps V, Touvier M, Hercberg S, Julia C, et al. Programme National Nutrition Santé – guidelines score 2 (PNNS-GS2): development and validation of a diet quality score reflecting the 2017 French dietary guidelines. *Br J Nutr*. 2019 Aug;122(03):331–42.
178. HCSP. Statement related to the revision of the 2017-2021 French Nutrition and Health Programme's dietary guidelines for adults [Internet]. Rapport de l'HCSP. Paris: Haut Conseil de la Santé Publique; 2017 Feb [cited 2025 Apr 18]. Available from: <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=653>
179. Kesse-Guyot E, Chaltiel D, Fezeu LK, Baudry J, Druesne-Pecollo N, Galan P, et al. Association between adherence to the French dietary guidelines and the risk of type 2 diabetes. *Nutrition*. 2021 Apr;84:111107.
180. Keaver L, Ruan M, Chen F, Du M, Ding C, Wang J, et al. Plant- and animal-based diet quality and mortality among US adults: a cohort study. *Br J Nutr*. 2021 Jun 28;125(12):1405–15.
181. de Gavelle E, Huneau JF, Fouillet H, Mariotti F. The Initial Dietary Pattern Should Be Considered when Changing Protein Food Portion Sizes to Increase Nutrient Adequacy in French Adults. *The Journal of Nutrition*. 2019 Mar;149(3):488–96.
182. Verger EO, Mariotti F, Holmes BA, Paineau D, Huneau JF. Evaluation of a Diet Quality Index Based on the Probability of Adequate Nutrient Intake (PANDiet) Using National French and US Dietary Surveys. Cameron DW, editor. *PLoS ONE*. 2012 Aug 3;7(8):e42155.
183. Murray CJL, Aravkin AY, Zheng P, Abbafati C, Abbas KM, Abbasi-Kangevari M, et al. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*. 2020 Oct;396(10258):1223–49.
184. Murray CJ, Ezzati M, Flaxman AD, Lim S, Lozano R, Michaud C, et al. GBD 2010: design, definitions, and metrics. *The Lancet*. 2012 Dec;380(9859):2063–6.

185. Scarborough P, Harrington RA, Mizdrak A, Zhou LM, Doherty A. The Preventable Risk Integrated ModEl and Its Use to Estimate the Health Impact of Public Health Policy Scenarios. *Scientifica*. 2014;2014(1):748750.
186. Moreira PVL, Baraldi LG, Moubarac JC, Monteiro CA, Newton A, Capewell S, et al. Comparing Different Policy Scenarios to Reduce the Consumption of Ultra-Processed Foods in UK: Impact on Cardiovascular Disease Mortality Using a Modelling Approach. *PLoS ONE*. 2015 Feb 13;10(2):e0118353.
187. Grieger JA, Johnson BJ, Wycherley TP, Golley RK. Evaluation of Simulation Models that Estimate the Effect of Dietary Strategies on Nutritional Intake: A Systematic Review. *J Nutr*. 2017 May;147(5):908–31.
188. Murray CJL, Lopez AD. Measuring the Global Burden of Disease. *New England Journal of Medicine*. 2013 Aug 1;369(5):448–57.
189. Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, et al. Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*. 2019 Feb 2;393(10170):447–92.
190. Steinmetz JD, Seeher KM, Schiess N, Nichols E, Cao B, Servili C, et al. Global, regional, and national burden of disorders affecting the nervous system, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Neurology*. 2024 Apr 1;23(4):344–81.
191. Évolution et structure de la population en 2014 | Insee [Internet]. [cited 2024 Oct 29]. Available from: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2862200>
192. James SL, Abate D, Abate KH, Abay SM, Abbafati C, Abbasi N, et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*. 2018 Nov 10;392(10159):1789–858.
193. Classification internationale des maladies (CIM) | CépiDc [Internet]. [cited 2024 Oct 29]. Available from: <https://www.cepiddc.inserm.fr/causes-medicales-de-deces/classification-internationale-des-maladies-cim>
194. Barendregt JJ, van Oortmarsen GJ, Vos T, Murray CJ. A generic model for the assessment of disease epidemiology: the computational basis of DisMod II. *Population Health Metrics*. 2003 Apr 14;1(1):4.
195. Briggs ADM, Cobiac LJ, Wolstenholme J, Scarborough P. PRIMETIME CE: a multistate life table model for estimating the cost-effectiveness of interventions affecting diet and physical activity. *BMC Health Services Research*. 2019 Jul 16;19(1):485.
196. Pointereau P, Langevin B, Gimaret M. DIALECTE, a comprehensive and quick tool to assess the agro-environmental performance of farms. Producing and reproducing farming systems New modes of organisation for sustainable food systems of tomorrow 10th European IFSA Symposium, Aarhus, Denmark, 1-4 July 2012 [Internet]. 2012 [cited 2023 Mar 14]; Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133410218>
197. Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M. ReCiPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. 2013;

198. Kramer GF, Tyszler M, Veer P van't, Blonk H. Decreasing the overall environmental impact of the Dutch diet: how to find healthy and sustainable diets with limited changes. *Public Health Nutr.* 2017 Jun;20(9):1699–709.
199. Støhle L, Wold S. Analysis of variance (ANOVA). *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems.* 1989 Nov 1;6(4):259–72.
200. KHAMMAR A, YARAHMADI M, MADADIZADEH F. What Is Analysis of Covariance (ANCOVA) and How to Correctly Report Its Results in Medical Research? *Iran J Public Health.* 2020 May;49(5):1016–7.
201. Willett, Stampfer. Total energy intake: implications for epidemiologic analyses. *American journal of epidemiology* [Internet]. 1986 Jul [cited 2022 Sep 15];124(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3521261/>
202. Vanheuverzwyn A, Roy G. Redressement par la macro CALMAR : applications et pistes d'amélioration. 2001 Jan 1;
203. Recensement 2009 : résultats sur un territoire, bases de données et fichiers détail | Insee [Internet]. [cited 2025 Jul 3]. Available from: <https://www.insee.fr/fr/information/2876034>
204. Hotelling H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology.* 1933 Sep;24(6):417–41.
205. Jolliffe IT, Cadima J. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2016 Apr 13;374(2065):20150202.
206. Sasirekha K, Baby P. Agglomerative Hierarchical Clustering Algorithm- A Review. 2013;3(3).
207. Nagin DS, Jones BL, Passos VL, Tremblay RE. Group-based multi-trajectory modeling. *Stat Methods Med Res.* 2018 Jul;27(7):2015–23.
208. Harvard University Press [Internet]. [cited 2024 Aug 27]. Group-Based Modeling of Development. Available from: <https://www.hup.harvard.edu/books/9780674016866>
209. Detry MA, Ma Y. Analyzing Repeated Measurements Using Mixed Models. *JAMA.* 2016 Jan 26;315(4):407.
210. Dussiot A, Fouillet H, Wang J, Salomé M, Huneau JF, Kesse-Guyot E, et al. Modeled healthy eating patterns are largely constrained by currently estimated requirements for bioavailable iron and zinc—a diet optimization study in French adults. *The American Journal of Clinical Nutrition.* 2022 Mar;115(3):958–69.
211. Ferrant C, Plessz M. Structure des budgets alimentaires dans l'enquête Budget de famille 2011 [Internet]. 2015 [cited 2022 Nov 22]. Available from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01247408>
212. deHaan E. Using and Interpreting Fixed Effects Models [Internet]. Rochester, NY: Social Science Research Network; 2021 [cited 2025 Jul 3]. Available from: <https://papers.ssrn.com/abstract=3699777>
213. Mariotti, Gardner. Dietary Protein and Amino Acids in Vegetarian Diets—A Review. *Nutrients.* 2019 Nov 4;11(11):2661.
214. Nott J. “No one may starve in the British Empire”: Kwashiorkor, Protein and the Politics of Nutrition Between Britain and Africa. *Social History of Medicine.* 2021 May 28;34(2):553–76.

Références bibliographiques

215. IPES-Food. The politics of protein: examining claims about livestock, fish, 'alternative proteins' and sustainability. 2022.
216. Chatellier V, Dupraz P. Les performances économiques de l'élevage européen : de la "compétitivité coût" à la "compétitivité hors coût." INRAE Productions Animales. 2019 Apr 25;32(2):171–88.
217. Bloomberg Intelligence. Bloomberg Intelligence. Plant-Based Foods Poised for Explosive Growth. Bloomberg Professional Services, August, 2021. <https://www.bloomberg.com/professional/bi-research/?dyn=plant-based-food>, 2021.
218. Sobiecki JG, Appleby PN, Bradbury KE, Key TJ. High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition–Oxford study. Nutrition Research. 2016 May;36(5):464–77.
219. Vergnaud AC, Norat T, Romaguera D, Mouw T, May AM, Travier N, et al. Meat consumption and prospective weight change in participants of the EPIC-PANACEA study. The American Journal of Clinical Nutrition. 2010 Aug;92(2):398–407.
220. Fogelholm M, Kanerva N, Männistö S. Association between red and processed meat consumption and chronic diseases: the confounding role of other dietary factors. Eur J Clin Nutr. 2015 Sep;69(9):1060–5.
221. WHO-EURO-2021-4007-43766-61591-eng.pdf [Internet]. [cited 2023 Oct 9]. Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/349086/WHO-EURO-2021-4007-43766-61591-eng.pdf?sequence=1>
222. Statista Daily Data [Internet]. 2024 [cited 2024 Sep 26]. Infographie: Quelle est la popularité des régimes sans viande ? Available from: <https://fr.statista.com/infographie/28645/pourcentage-de-personnes-qui-suivent-un-regime-vegan-ou-vegetarien-par-pays>
223. Évolution de la consommation des ménages selon l'âge de 2009 à 2019 – Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires | Insee [Internet]. [cited 2024 Sep 26]. Available from: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728875?sommaire=7728903>
224. Clark M, Hill J, Tilman D. The Diet, Health, and Environment Trilemma. Annual Review of Environment and Resources. 2018;
225. Clark MA, Springmann M, Hill J, Tilman D. Multiple health and environmental impacts of foods. Proc Natl Acad Sci USA. 2019 Nov 12;116(46):23357–62.
226. Auestad N, Fulgoni VL. What Current Literature Tells Us about Sustainable Diets: Emerging Research Linking Dietary Patterns, Environmental Sustainability, and Economics. Advances in Nutrition. 2015 Jan;6(1):19–36.
227. Springmann M, Wiebe K, Mason-D'Croz D, Sulser TB, Rayner M, Scarborough P. Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: a global modelling analysis with country-level detail. The Lancet Planetary Health. 2018 Oct 1;2(10):e451–61.
228. Crippa M, Solazzo E, Guizzardi D, Monforti-Ferrario F, Tubiello FN, Leip A. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. Nat Food. 2021 Mar 8;2(3):198–209.

229. Poore J, Nemecek T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*. 2018 Jun;360(6392):987–92.
230. Xu X, Sharma P, Shu S, Lin TS, Ciais P, Tubiello FN, et al. Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nature Food*. 2021 Sep;2(9):724–32.
231. Reganold JP, Wachter JM. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*. 2016 Feb 3;2(2):1–8.
232. Średnicka-Tober D, Golba J, Kazimierczak R, Hallmann E, Strok T, Rembiałkowska E. Evaluation of the nutritional quality of selected fruit and vegetables depending on the time after farm conversion to organic production methods. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2016;61(4):197–203.
233. Baudry J, Assmann KE, Touvier M, Allès B, Seconda L, Latino-Martel P, et al. Association of Frequency of Organic Food Consumption With Cancer Risk: Findings From the NutriNet-Santé Prospective Cohort Study. *JAMA Intern Med*. 2018 Dec 1;178(12):1597.
234. Barański M, Średnicka-Tober D, Volakakis N, Seal C, Sanderson R, Stewart GB, et al. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *Br J Nutr*. 2014 Sep 14;112(5):794–811.
235. Rahman A, Baharlouei P, Koh EHY, Pirvu DG, Rehmani R, Arcos M, et al. A Comprehensive Analysis of Organic Food: Evaluating Nutritional Value and Impact on Human Health. *Foods*. 2024 Jan 9;13(2):208.
236. Darmon N, Drewnowski A. Contribution of food prices and diet cost to socioeconomic disparities in diet quality and health: a systematic review and analysis. *Nutr Rev*. 2015 Oct;73(10):643–60.
237. Observatoire des inégalités. Rapport sur les inégalités en France, édition 2021 [Internet]. [cited 2025 Jun 27]. Available from: <https://www.inegalites.fr/Rapport-sur-les-inegalites-en-France-edition-2021>
238. Biesbroek S, Kok FJ, Tufford AR, Bloem MW, Darmon N, Drewnowski A, et al. Toward healthy and sustainable diets for the 21st century: Importance of sociocultural and economic considerations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2023 Jun 27;120(26):e2219272120.
239. Onni AT, Balakrishna R, Perillo M, Amato M, Javadi Arjmand E, Thomassen LM, et al. Umbrella Review of Systematic Reviews and Meta-analyses on Consumption of Different Food Groups and Risk of All-cause Mortality. *Advances in Nutrition*. 2025 Apr 1;16(4):100393.
240. Liu J, Shen Q, Wang X. Emerging EAT-Lancet planetary health diet is associated with major cardiovascular diseases and all-cause mortality: A global systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition*. 2024 Dec 1;43(12):167–79.
241. Huseinovic E, Hörnell A, Johansson I, Esberg A, Lindahl B, Winkvist A. Changes in food intake patterns during 2000–2007 and 2008–2016 in the population-based Northern Sweden Diet Database. *Nutr J*. 2019 Jul 12;18(1):36.

Références bibliographiques

242. SYN-VIA-Conso viande Fce2022.pdf [Internet]. [cited 2023 Oct 9]. Available from: <https://www.franceagrimer.fr/content/download/71709/document/SYN-VIA-Conso%20viande%20fce2022.pdf>
243. Testut-Neves M. LES ETUDES de FranceAgriMer 2018 / ÉLEVAGE/Viande bovine/Tome1/.
244. Perraud S. Evolutions de la consommation de protéines par sources alimentaires entre 2010 et 2019 selon les profils de consommateurs. 2020 Dec 16 [cited 2023 Oct 4]; Available from: <https://zenodo.org/record/4327397>
245. Consumption Monitor | Freshfel [Internet]. [cited 2023 Oct 17]. Available from: <https://freshfel.org/what-we-do/consumption-monitor/>
246. Thorpe MG, Milte CM, Crawford D, McNaughton SA. Education and lifestyle predict change in dietary patterns and diet quality of adults 55 years and over. *Nutr J*. 2019 Nov 7;18(1):67.
247. Vari R, Scazzocchio B, Papa SD. Dietary habits and gender differences.
248. Li KK, Concepcion RY, Lee H, Cardinal BJ, Ebbeck V, Woekel E, et al. An Examination of Sex Differences in Relation to the Eating Habits and Nutrient Intakes of University Students. *Journal of Nutrition Education and Behavior*. 2012 May;44(3):246–50.
249. Wardle J, Haase AM, Steptoe A, Nillapun M, Jonwutiwes K, Bellisle F. Gender differences in food choice: the contribution of health beliefs and dieting. *Ann Behav Med*. 2004 Apr;27(2):107–16.
250. Satija A, Hu FB. Plant-based diets and cardiovascular health. *Trends in Cardiovascular Medicine*. 2018 Oct;28(7):437–41.
251. Derbyshire EJ. Flexitarian Diets and Health: A Review of the Evidence-Based Literature. *Front Nutr*. 2017 Jan 6;3:55.
252. Nakagawa S, Hart C. Where’s the Beef? How Masculinity Exacerbates Gender Disparities in Health Behaviors. *Socius*. 2019 Jan 1;5:2378023119831801.
253. Stoll-Kleemann S, Schmidt UJ. Reducing meat consumption in developed and transition countries to counter climate change and biodiversity loss: a review of influence factors. *Reg Environ Change*. 2017 Jun 1;17(5):1261–77.
254. Tobler C, Visschers VHM, Siegrist M. Eating green. Consumers’ willingness to adopt ecological food consumption behaviors. *Appetite*. 2011 Dec;57(3):674–82.
255. Burke DT, Bennett AE, Hynds P, Priyadarshini A. Identifying Novel Data-Driven Dietary Patterns via Dimensionality Reduction and Associations with Socioeconomic Profile and Health Outcomes in Ireland. *Nutrients*. 2023 Jan;15(14):3256.
256. Nilsen L, Hopstock LA, Grimsgaard S, Carlsen MH, Lundblad MW. Intake of Vegetables, Fruits and Berries and Compliance to “Five-a-Day” in a General Norwegian Population—The Tromsø Study 2015–2016. *Nutrients*. 2021 Jul;13(7):2456.
257. Hiza HAB, Casavale KO, Guenther PM, Davis CA. Diet Quality of Americans Differs by Age, Sex, Race/Ethnicity, Income, and Education Level. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2013 Feb 1;113(2):297–306.
258. Garriguet D. Diet quality in Canada. *Health Rep*. 2009 Sep;20(3):41–52.

259. Andrade SC de, Previdelli ÁN, Cesar CLG, Marchioni DML, Fisberg RM. Trends in diet quality among adolescents, adults and older adults: A population-based study. *Preventive Medicine Reports*. 2016 Dec 1;4:391–6.
260. Chaltiel D, Adjibade M, Deschamps V, Touvier M, Hercberg S, Julia C, et al. Programme National Nutrition Santé - guidelines score 2 (PNNS-GS2): development and validation of a diet quality score reflecting the 2017 French dietary guidelines. *Br J Nutr*. 2019 Aug 14;122(3):331–42.
261. Naska A, Fouskakis D, Oikonomou E, Almeida MDV, Berg MA, Gedrich K, et al. Dietary patterns and their socio-demographic determinants in 10 European countries: data from the DAFNE databank. *Eur J Clin Nutr*. 2006 Feb;60(2):181–90.
262. Worsley A. Nutrition knowledge and food consumption: can nutrition knowledge change food behaviour? *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 2002;11(s3):S579–85.
263. Deschamps V. FRÉQUENCES NATIONALES ET RÉGIONALES DE CONSOMMATIONS ALIMENTAIRES PAR RAPPORT AUX RECOMMANDATIONS NUTRITIONNELLES DES ADULTES FRANÇAIS : RÉSULTATS DES BAROMÈTRES 2021 HEXAGONAL ET DROM DE SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / NATIONAL AND REGIONAL FOOD CONSUMPTION FREQUENCIES IN RELATION TO DIETARY GUIDELINES FOR FRENCH ADULTS: RESULTS FROM THE 2021 SANTÉ PUBLIQUE FRANCE HEALTH BAROMETER FOR MAINLAND AND OVERSEAS FRANCE.
264. Dinda S. Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*. 2004 Aug;49(4):431–55.
265. Vranken L, Avermaete T, Petalios D, Mathijs E. Curbing global meat consumption: Emerging evidence of a second nutrition transition. *Environmental Science & Policy*. 2014 May 1;39:95–106.
266. Huebbe P, Rimbach G. Historical Reflection of Food Processing and the Role of Legumes as Part of a Healthy Balanced Diet. *Foods*. 2020 Aug;9(8):1056.
267. Voisin AS, Guéguen J, Huyghe C, Jeuffroy MH, Magrini MB, Meynard JM, et al. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agron Sustain Dev*. 2014 Apr 1;34(2):361–80.
268. Semba RD, Ramsing R, Rahman N, Kraemer K, Bloem MW. Legumes as a sustainable source of protein in human diets. *Global Food Security*. 2021 Mar 1;28:100520.
269. Havemeier S, Erickson J, Slavin J. Dietary guidance for pulses: the challenge and opportunity to be part of both the vegetable and protein food groups. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2017;1392(1):58–66.
270. Henn K, Goddyn H, Olsen SB, Bredie WLP. Identifying behavioral and attitudinal barriers and drivers to promote consumption of pulses: A quantitative survey across five European countries. *Food Quality and Preference*. 2022 Jun 1;98:104455.
271. Albala K. *Beans: A History*. Bloomsbury Publishing; 2017. 270 p.
272. Fouillet H, Dussiot A, Perraud E, Wang J, Huneau JF, Kesse-Guyot E, et al. Plant to animal protein ratio in the diet: nutrient adequacy, long-term health and environmental pressure [Internet]. *Nutrition*; 2022 May [cited 2023 Feb 21]. Available from: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2022.05.20.22275349>

273. Katz DL, Doughty KN, Geagan K, Jenkins DA, Gardner CD. Perspective: The Public Health Case for Modernizing the Definition of Protein Quality. *Advances in Nutrition*. 2019 Sep;10(5):755–64.
274. Auclair O, Burgos SA. Protein consumption in Canadian habitual diets: usual intake, inadequacy, and the contribution of animal- and plant-based foods to nutrient intakes. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2021 May;46(5):501–10.
275. Perraud E, Wang J, Salomé M, Mariotti F, Kesse-Guyot E. Dietary protein consumption profiles show contrasting impacts on environmental and health indicators [Internet]. *Nutrition*; 2022 Jul [cited 2023 Mar 14]. Available from: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2022.07.07.22277350>
276. Mariotti F. Protéines animales et végétales : quels effets sur la santé cardio-métabolique ? *Médecine des Maladies Métaboliques*. 2019 May;13(3):245–51.
277. Giromini C, Givens DI. Benefits and Risks Associated with Meat Consumption during Key Life Processes and in Relation to the Risk of Chronic Diseases. *Foods*. 2022 Jul 12;11(14):2063.
278. Daniel CR, Cross AJ, Koebnick C, Sinha R. Trends in meat consumption in the USA. *Public Health Nutr*. 2011 Apr;14(4):575–83.
279. Salter AM. The effects of meat consumption on global health: -EN- -FR- Les effets de la consommation de viande sur la santé dans le monde -ES- Efectos del consumo de carne en la salud mundial. *Rev Sci Tech OIE*. 2018 Apr 1;37(1):47–55.
280. Malik VS, Li Y, Tobias DK, Pan A, Hu FB. Dietary Protein Intake and Risk of Type 2 Diabetes in US Men and Women. *Am J Epidemiol*. 2016 Apr 15;183(8):715–28.
281. Tian S, Xu Q, Jiang R, Han T, Sun C, Na L. Dietary Protein Consumption and the Risk of Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies. *Nutrients*. 2017 Sep 6;9(9):982.
282. Selinger E, Neuenschwander M, Koller A, Gojda J, Kühn T, Schwingshackl L, et al. Evidence of a vegan diet for health benefits and risks – an umbrella review of meta-analyses of observational and clinical studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023 Nov 17;63(29):9926–36.
283. Key TJ, Papier K, Tong TYN. Plant-based diets and long-term health: findings from the EPIC-Oxford study. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2022 May;81(2):190–8.
284. Weindl I, Ost M, Wiedmer P, Schreiner M, Neugart S, Klopsch R, et al. Sustainable food protein supply reconciling human and ecosystem health: A Leibniz Position. *Global Food Security*. 2020 Jun;25:100367.
285. Aleksandrowicz L, Green R, Joy EJM, Smith P, Haines A. The Impacts of Dietary Change on Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, and Health: A Systematic Review. Wiley AS, editor. *PLoS ONE*. 2016 Nov 3;11(11):e0165797.
286. Sobiecki JG, Appleby PN, Bradbury KE, Key TJ. High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition-Oxford study. *Nutr Res*. 2016 May;36(5):464–77.
287. Monsivais P, Scarborough P, Lloyd T, Mizdrak A, Luben R, Mulligan AA, et al. Greater accordance with the Dietary Approaches to Stop Hypertension dietary pattern is associated with lower diet-related greenhouse gas production but higher dietary costs in the United Kingdom¹². *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2015 Jul 1;102(1):138–45.

288. Temme EH, Toxopeus IB, Kramer GF, Brosens MC, Drijvers JM, Tyszler M, et al. Greenhouse gas emission of diets in the Netherlands and associations with food, energy and macronutrient intakes. *Public Health Nutrition*. 2015 Sep;18(13):2433–45.
289. Topcu B. 10-Year Changes of Food Consumption and Carbon Footprint in Ontario. University of Waterloo; 2018.
290. Bassi C, Maysels R, Anex R. Declining greenhouse gas emissions in the US diet (2003–2018): Drivers and demographic trends. *Journal of Cleaner Production*. 2022 Jun 1;351:131465.
291. Aleksandrowicz L, Green R, Joy EJM, Smith P, Haines A. The Impacts of Dietary Change on Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, and Health: A Systematic Review. *PLOS ONE*. 2016 Nov 3;11(11):e0165797.
292. Kesse-Guyot E, Fouillet H, Baudry J, Dussiot A, Langevin B, Allès B, et al. Halving food-related greenhouse gas emissions can be achieved by redistributing meat consumption: Progressive optimization results of the NutriNet-Santé cohort. *Science of The Total Environment*. 2021 Oct 1;789:147901.
293. Kesse-Guyot E, Allès B, Brunin J, Langevin B, Fouillet H, Dussiot A, et al. Environmental pressures and pesticide exposure associated with an increase in the share of plant-based foods in the diet. *Sci Rep*. 2023 Nov 7;13(1):19317.
294. Dussiot A, Fouillet H, Perraud E, Salomé M, Huneau JF, Mariotti F, et al. How to best reshape diets to be healthier with lower or no ruminant meat, and implications for environmental pressures. *Journal of Cleaner Production*. 2023 Aug 15;414:137600.
295. Toujgani H, Brunin J, Perraud E, Allès B, Touvier M, Lairon D, et al. The nature of protein intake as a discriminating factor of diet sustainability: a multi-criteria approach. *Sci Rep*. 2023 Oct 19;13(1):17850.
296. Masset G, Vieux F, Verger EO, Soler LG, Touazi D, Darmon N. Reducing energy intake and energy density for a sustainable diet: a study based on self-selected diets in French adults¹²³. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2014 Jun 1;99(6):1460–9.
297. Rippin HL, Cade JE, Berrang-Ford L, Benton TG, Hancock N, Greenwood DC. Variations in greenhouse gas emissions of individual diets: Associations between the greenhouse gas emissions and nutrient intake in the United Kingdom. *PLOS ONE*. 2021 Nov 23;16(11):e0259418.
298. Hallström E, Håkansson N, Åkesson A, Wolk A, Sonesson U. Climate impact of alcohol consumption in Sweden. *Journal of Cleaner Production*. 2018 Nov 10;201:287–94.
299. Clark, Hill, Tilman. The Diet, Health, and Environment Trilemma [Internet]. 2018 [cited 2022 Aug 24]. Available from: https://cloud.etude-nutrinet-sante.fr/index.php/apps/files/?dir=/2_BIBLIO/R%C3%A9gimes/R%C3%A9gime%20Mediterraneen/Durabilit%C3%A9%20au%20global&fileid=1271145
300. Weindl, Ost, Wiedmer. Sustainable food protein supply reconciling human and ecosystem health: A Leibniz Position [Internet]. 2020 [cited 2022 Sep 11]. Available from: https://cloud.etude-nutrinet-sante.fr/index.php/apps/files/?dir=/2_BIBLIO/%20Durabilit%C3%A9-Environnement/Syst%C3%A8mes_durables_transition&fileid=289928

Références bibliographiques

301. Springmann, Mason-D’Croze, Wiebe. Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts [Internet]. 2018 [cited 2022 Aug 24]. Available from: https://cloud.etude-nutrinet-sante.fr/index.php/apps/files/?dir=/2_BIBLIO/%2BDurabilit%C3%A9-Environnement/Durabilit%C3%A9%20-%20Sant%C3%A9&fileid=276872
302. Mariotti F. Protéines animales et végétales : quels effets sur la santé cardio-métabolique ? *Médecine des Maladies Métaboliques*. 2019 May;13(3):245–51.
303. Baudry J, Touvier M, Allès B, Péneau S, Méjean C, Galan P, et al. Typology of eaters based on conventional and organic food consumption: results from the NutriNet-Santé cohort study. *Br J Nutr*. 2016 Aug 28;116(4):700–9.
304. Lacour C, Seconda L, Allès B, Hercberg S, Langevin B, Pointereau P, et al. Environmental Impacts of Plant-Based Diets: How Does Organic Food Consumption Contribute to Environmental Sustainability? *Front Nutr*. 2018 Feb 9;5:8.
305. l’Agence BIO. LA BIO EN FRANCE des Producteurs aux Consommateurs [Internet]. 2016 Deuxième édition [cited 2024 Jul 30]. Available from: https://abiodoc.docressources.fr/doc_num.php?explnum_id=5707
306. Livret-chiffres-BIO-2023-PRESSE-2023-210x297-.pdf [Internet]. [cited 2024 Jul 29]. Available from: <https://www.agencebio.org/wp-content/uploads/2024/06/Livret-chiffres-BIO-2023-PRESSE-2023-210x297-.pdf>
307. Muller A, Schader C, El-Hage Scialabba N, Brüggemann J, Isensee A, Erb KH, et al. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nat Commun*. 2017 Nov 14;8(1):1290.
308. Birkhofer K, Smith HG, Rundlöf M. Environmental Impacts of Organic Farming. In: *eLS* [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2016 [cited 2025 Apr 24]. p. 1–7. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470015902.a0026341>
309. Rodale Institute. Regenerative-Organic-Agriculture-White-Paper.pdf [Internet]. 2024 [cited 2025 Apr 24]. Available from: <https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/Regenerative-Organic-Agriculture-White-Paper.pdf>
310. Lorenz K, Lal R. Environmental Impact of Organic Agriculture. In: *Advances in Agronomy* [Internet]. Elsevier; 2016 [cited 2025 Apr 24]. p. 99–152. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S006521131630061X>
311. Mie A, Andersen HR, Gunnarsson S, Kahl J, Kesse-Guyot E, Rembiałkowska E, et al. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environ Health*. 2017 Dec;16(1):111.
312. Maillot M, Vieux F, Delaere F, Lluch A, Darmon N. Dietary changes needed to reach nutritional adequacy without increasing diet cost according to income: An analysis among French adults. Adams J, editor. *PLoS ONE*. 2017 Mar 30;12(3):e0174679.
313. Neufingerl N, Eilander A. Nutrient Intake and Status in Adults Consuming Plant-Based Diets Compared to Meat-Eaters: A Systematic Review. *Nutrients*. 2021 Dec 23;14(1):29.

314. Milfont TL, Satherley N, Osborne D, Wilson MS, Sibley CG. To meat, or not to meat: A longitudinal investigation of transitioning to and from plant-based diets. *Appetite*. 2021 Nov 1;166:105584.
315. Strässner AM, Wirth W. Shades and shifts in flexitarian and meat-oriented consumer profiles in a German panel study. *Appetite*. 2024 Jun 1;197:107298.
316. UNEP, FAO, UNDP, editors. Rethinking our food systems: a guide for multi-stakeholder collaboration. Nairobi: UNEP; 2023. 1 p.

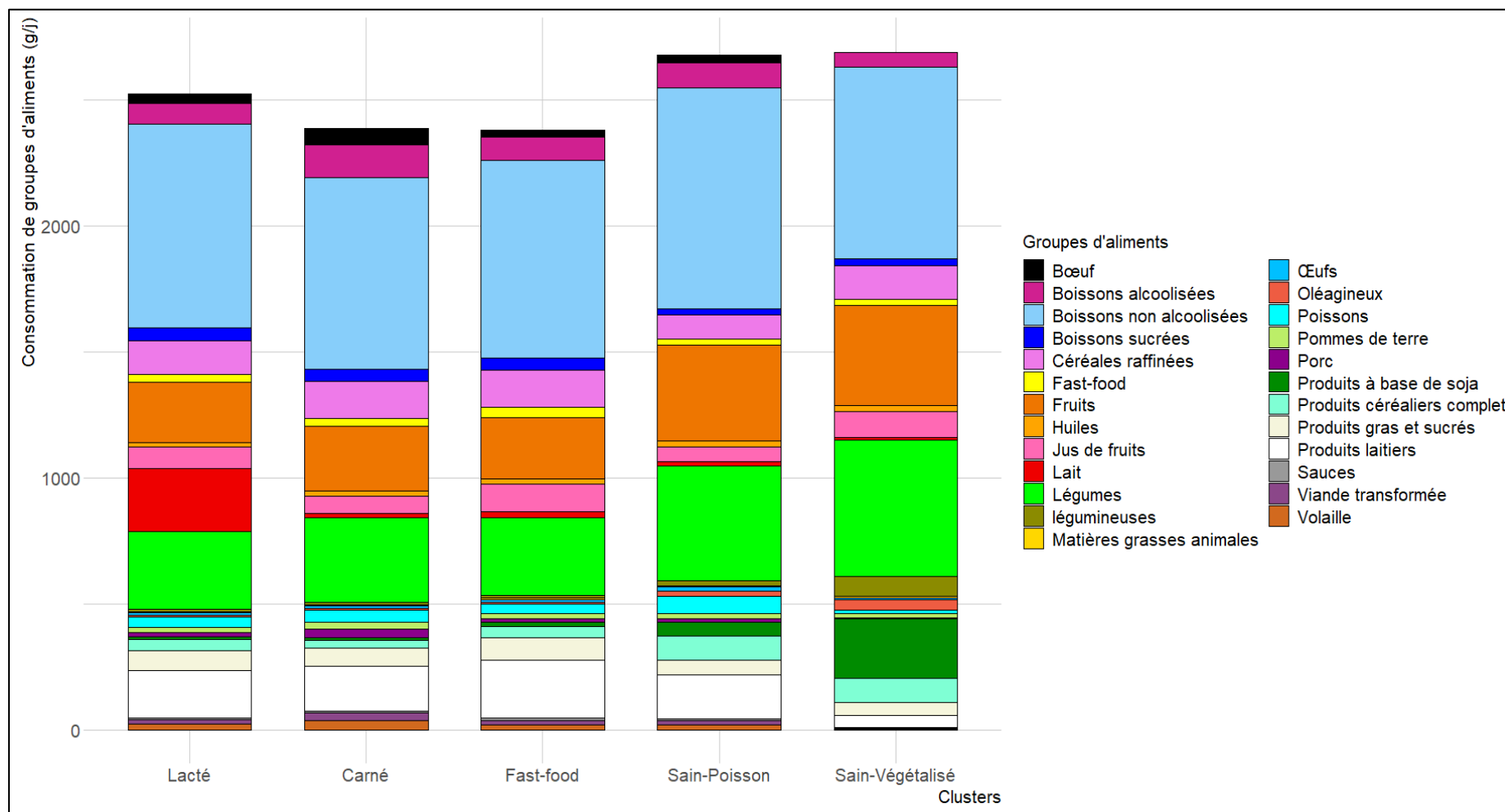
Annexes

Annexes

Annexe 1 : Variables alimentaires caractéristiques des clusters¹

Lacté	v-test	Carné	v-test	Fast-food	v-test	Sain-poisson	v-test	Sain-végétalisé	v-test
n = 4 966 (17%)		n = 7 569 (26%)		n = 8 469 (29%)		n = 7 189 (25%)		n = 1 017 (3%)	
Lait	115,88	Viande rouge	80,53	« Fast-food »	48,84	Produits C. complets	65,88	Produits à base de soja	95,26
Boissons non alcoolisées	98,70	Volaille	43,23	Céréales raffinées	44,47	Poissons	53,42	Légumineuses	90,70
Produits laitiers	-15,87	V. transformée	39,82	PGS	44,40	Oléagineux	38,85	Oléagineux	58,63
Produits C. complets	-17,47	Pommes de terre	31,22	MG animales	41,99	Produits laitiers	28,25	Légumes	56,88
Fruits	-17,75	Céréales raffinées	20,26	Jus de fruits	41,84	Légumes	27,44	Fruits	31,45
Légumineuses	-18,14	Légumineuses	-15,28	Sauces	40,60	Œufs	24,21	Produits C. complets	15,41
Produits à base de soja	-20,28	Œufs	-16,90	V. transformée	18,71	Fruits	22,31	Volaille	-29,38
Poissons	-20,99	Jus de fruits	-17,54	Produits à base de soja	-16,10	Produits à base de soja	18,69	V. transformée	-29,87
Oléagineux	-21,82	Fruits	-19,45	Oléagineux	-17,72	Pommes de terre	-18,51	Poissons	-30,47
Légumes	-26,92	Produits laitiers	-19,47	Boissons non alcoolisées	-18,13	Jus de fruits	-21,88	Produits laitiers	-33,76
		Légumes	-22,10	Viande rouge	-18,82	Sauces	-23,82	Viande rouge	-38,89
		Poissons	-23,23	Lait	-24,75	MG animales	-24,04		
		Produits à base de soja	-23,41	Produits C. complets	-25,94	« Fast-food »	-29,80		
		Boissons non alcoolisées	-25,24			PGS	-33,88		
		Lait	-28,58			V. transformée	-34,83		
		Oléagineux	-30,85			Viande rouge	-37,56		
		Produits C. complets	-43,22			Boissons non alcoolisées	-39,51		
						Lait	-43,85		
						Céréales raffinées	-54,83		

Abréviations : V.transformée, Viande transformée ; PGS, Produits Gras et Sucrés ; MG, matières grasses; Produits C. complets, Produits céréaliers complets ; v-test, valeur test. ¹Seuls les groupes d'aliments présentant une valeur absolue de v-test supérieure à 15 ont été inclus dans ce tableau.

Annexe 2: Consommation des groupes d'aliments selon les clusters (g/j)¹

¹ Les valeurs correspondent aux moyennes ajustées sur l'énergie des apports en groupes d'aliments (g/j), estimées à l'aide d'un modèle ANCOVA.

Les groupes d'aliments sont définis comme suit : les légumes incluent tous les légumes ainsi que les soupes ; les fruits comprennent les fruits frais, les fruits au sirop et en compote, les fruits secs et les graines ; les poissons comprennent tous les produits de la mer ; les produits laitiers incluent les yaourts, fromages frais et fromages affinés ; les pommes de terre regroupent les autres tubercules ; les céréales raffinées incluent les céréales de petit-déjeuner peu sucrées, le pain, la semoule, le riz et les pâtes ; les

Annexes

produits gras et sucrés (PGS) comprennent les croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel et confiture, gâteaux, chips, oléagineux salés, biscuits salés ; les fast-food incluent les sandwichs et les plats préparés tels que pizzas, hamburgers, raviolis, paninis, crêpes salées, etc. ; les produits à base de soja regroupent tofu, substituts de viande à base de soja, galettes végétales, yaourts et boissons à base de soja ; les matières grasses animales incluent le beurre et le saindoux ; les sauces comprennent la crème aigre, ainsi que toutes les sauces grasses et assaisonnements prêts à l'emploi (mayonnaise, sauces à base de crème) ; les huiles correspondent aux huiles d'origine végétale ; Pour cette partie de la description des clusters, les nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre) ont été classés dans le groupe d'aliments « Boissons sucrées » ; les boissons non alcoolisées incluent dans cette partie de la description des clusters les boissons végétales (hors soja), café et thé (y compris consommés avec du lait), hors jus de fruits 100%.

Annexe 3 : Consommations (g/j) des groupes d'aliments selon les clusters^{1,2,3}

Groupes d'aliments	Échantillon global n = 29 210	Lacté n = 4 966 (17%)	Carné n = 7 569 (26%)	Fast-food n = 8 469 (29%)	Sain-poisson n = 7 189 (25%)	Sain-végétalisé n = 1 017 (3%)	p
Bœuf	39,64 (39,8)	39,45 (0,46)	65,88 (0,37)	29,21 (0,35)	29,62 (0,38)	3,03 (1,03)	< 0,0001
Boissons alcoolisées	100,86 (148,9)	80,81 (2,03)	129,44 (1,64)	92,37 (1,55)	100,82 (1,68)	56,91 (4,48)	< 0,0001
Boissons non alcoolisées	803,61 (493,88)	806,63 (6,93)	760,44 (5,62)	784,2 (5,31)	876,1 (5,76)	759,13 (15,33)	< 0,0001
Boissons sucrées	42,01 (106,75)	53,49 (1,49)	45,95 (1,21)	48,55 (1,14)	24,21 (1,24)	27,66 (3,31)	< 0,0001
Céréales raffinées	131,47 (92,61)	132,77 (1,15)	148,13 (0,93)	147,24 (0,88)	94,12 (0,95)	133,85 (2,54)	< 0,0001
Fast-food	31,27 (33,98)	29,18 (0,45)	30,72 (0,37)	40,11 (0,35)	23,9 (0,38)	24,18 (0,1)	< 0,0001
Fruits	286,37 (255,72)	241,96 (3,35)	258,77 (2,71)	243,65 (2,56)	380,88 (2,78)	396,19 (7,41)	< 0,0001
Huiles	19,83 (15,75)	16,03 (0,2)	18,79 (0,16)	18,59 (0,15)	24,18 (0,16)	25,73 (0,44)	< 0,0001
Jus de fruits	83,09 (113,87)	87,43 (1,56)	68,72 (1,27)	111,68 (1,2)	58,72 (1,3)	103,13 (3,46)	< 0,0001
Lait	57,27 (133,9)	247,86 (1,42)	16,88 (1,15)	21,94 (1,09)	16,83 (1,18)	7,3 (3,15)	< 0,0001
Légumes	360,12 (240,04)	308,44 (3,04)	334,93 (2,46)	309,01 (2,33)	456,88 (2,53)	541,55 (6,73)	< 0,0001
Légumineuses	16,28 (30,32)	11,13 (0,38)	12,35 (0,3)	11,95 (0,29)	19,92 (0,31)	81 (0,84)	< 0,0001
Matières grasses animales	3,46 (4,75)	2,8 (0,06)	3,16 (0,05)	4,35 (0,05)	3,11 (0,05)	4,1 (0,14)	< 0,0001
Œufs	11,38 (11,89)	10,24 (0,16)	10,56 (0,13)	9,81 (0,12)	15,52 (0,13)	6,78 (0,35)	< 0,0001
Oléagineux	13,01 (21,49)	8,05 (0,27)	6,81 (0,22)	9,3 (0,2)	22,92 (0,22)	44,23 (0,6)	< 0,0001
Poissons	46,21 (43,64)	39,27 (0,56)	45,96 (0,45)	37,3 (0,43)	66,74 (0,46)	11,04 (1,24)	< 0,0001
Pommes de terre	21,79 (22,42)	19,73 (0,28)	29,42 (0,23)	18,64 (0,22)	19,16 (0,23)	19,82 (0,63)	< 0,0001
Porc	19,53 (24,74)	19,65 (0,3)	32,07 (0,25)	14,96 (0,23)	14,17 (0,25)	1,45 (0,68)	< 0,0001
Produits à base de soja	30,42 (95,5)	8,98 (1,2)	9,86 (0,97)	16,12 (0,92)	54,72 (1)	235,43 (2,66)	< 0,0001
Produits céréaliers complets	56,41 (70,51)	45,5 (0,9)	30,94 (0,73)	47,1 (0,69)	96,19 (0,75)	95,56 (1,99)	< 0,0001
Produits gras et sucrés	73,87 (56,98)	77,98 (0,7)	72,39 (0,56)	88,02 (0,53)	58,94 (0,58)	52,48 (1,55)	< 0,0001
Produits laitiers	189,79 (144,78)	187,39 (1,89)	179,69 (1,53)	229,28 (1,44)	175,72 (1,57)	47,38 (4,18)	< 0,0001
Sauces	7,17 (8,26)	6,35 (0,11)	7,45 (0,09)	8,53 (0,08)	6,06 (0,09)	5,73 (0,24)	< 0,0001
Viande transformée	20,92 (21,03)	20,16 (0,26)	29,48 (0,21)	20,34 (0,2)	15,8 (0,22)	2,04 (0,59)	< 0,0001
Volaille	23,85 (24,68)	21,94 (0,31)	36,86 (0,25)	18,24 (0,24)	21,07 (0,26)	2,74 (0,7)	< 0,0001

¹ Les valeurs sont des moyennes (écart type) pour l'échantillon global, et des moyennes ajustées sur l'apport énergétique total (erreur standard moyenne) selon les clusters (modèle ANCOVA).

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide de l'ANCOVA.

Annexe 4 : Apports en nutriments selon les clusters^{1,2,3}

Nutriments	Échantillon global	Lacté	Carné	Fast-food	Sain-poisson	Sain-végétalisé	p
Apport énergétique total (kcal/j)	2001 (629)	2019 (600)	2041 (654)	1983 (642)	1968 (602)	1998 (635)	< 0,0001
Apport total en protéines (g/j)	91,11 (33,98)	95,8 (0,25)	98,77 (0,20)	85,9 (0,19)	89,25 (0,21)	66,82 (0,56)	< 0,0001
Protéines d'origine végétale (g/j)	28,64 (12,41)	25,34 (0,11)	24,75 (0,09)	27,14 (0,08)	33,40 (0,09)	52,60 (0,24)	< 0,0001
Probabilité d'un apport protéique adéquat	0,95 (0,18)	0,97 (0,13)	0,96 (0,15)	0,93 (0,21)	0,94 (0,18)	0,83 (0,32)	< 0,0001
Glucides (% de l'apport énergétique total)	38,48 (7,63)	40,33 (0,10)	35,75 (0,08)	39,31 (0,07)	38,06 (0,08)	45,84 (0,22)	< 0,0001
Lipides (% de l'apport énergétique total)	39,98 (7,00)	37,70 (0,09)	40,45 (0,07)	40,48 (0,07)	40,64 (0,08)	38,87 (0,21)	< 0,0001
Acides gras polyinsaturés (g/j)	6,64 (2,48)	5,64 (0,03)	6,31 (0,02)	6,09 (0,02)	7,81 (0,02)	10,07 (0,07)	< 0,0001
Acides gras monoinsaturés (g/j)	15,9 (3,98)	14,50 (0,05)	16,11 (0,04)	15,68 (0,04)	16,79 (0,04)	16,63 (0,12)	< 0,0001
Acides gras saturés (g/j)	14,47 (3,54)	14,77 (0,04)	14,98 (0,03)	15,72 (0,03)	12,98 (0,03)	9,33 (0,10)	< 0,0001
Acides gras polyinsaturés n-3 totaux	0,95 (0,55)	0,76 (0,00)	0,85 (0,00)	0,81 (0,00)	1,29 (0,00)	1,31 (0,01)	< 0,0001
Acide alpha-linolénique	0,69 (0,49)	0,54 (0,00)	0,59 (0,00)	0,6 (0,00)	0,92 (0,00)	1,22 (0,01)	< 0,0001
Acide eicosapentaénoïque	0,08 (0,08)	0,07 (0,00)	0,08 (0,00)	0,07 (0,00)	0,12 (0,00)	0,02 (0,00)	< 0,0001
Acide docosahexaénoïque	0,11 (0,09)	0,09 (0,00)	0,11 (0,00)	0,09 (0,00)	0,16 (0,00)	0,03 (0,00)	< 0,0001
Acides gras polyinsaturés n-6 totaux	5,37 (2,19)	4,58 (0,02)	5,13 (0,02)	4,96 (0,02)	6,22 (0,02)	8,5 (0,06)	< 0,0001
Acide linoléique	5,31 (2,2)	4,52 (0,02)	5,05 (0,02)	4,9 (0,02)	6,16 (0,02)	8,48 (0,06)	< 0,0001
Acide arachidonique	0,06 (0,02)	0,06 (0,00)	0,08 (0,00)	0,05 (0,00)	0,06 (0,00)	0,01 (0,00)	< 0,0001
Fibres (g/j)	23,35 (8,66)	20,71 (0,10)	20,3 (0,08)	21,12 (0,08)	28,87 (0,08)	38,47 (0,23)	< 0,0001
Vitamine A (µg équivalents rétinol/j)	934,95 (741,02)	893,18 (10,48)	996,68 (8,49)	870,42 (8,02)	984,79 (8,71)	864,71 (23,16)	< 0,0001
Vitamine B1 (mg/j)	1,44 (0,43)	1,5 (0,00)	1,41 (0,00)	1,31 (0,00)	1,54 (0,00)	1,85 (0,01)	< 0,0001
Vitamine B2 (mg/j)	2,26 (0,59)	2,66 (0,00)	2,19 (0,00)	2,15 (0,00)	2,22 (0,00)	2,03 (0,01)	< 0,0001
Vitamine B-3/PP total (mg/j)	24,67 (7,10)	22,75 (0,09)	27,38 (0,07)	22,32 (0,07)	26,54 (0,07)	20,35 (0,20)	< 0,0001
Vitamine B5 (mg/j)	6,48 (1,38)	7,25 (0,01)	6,47 (0,01)	5,99 (0,01)	6,6 (0,01)	6,05 (0,04)	< 0,0001
Vitamine B6 (mg/j)	2,05 (0,50)	1,95 (0,00)	2,09 (0,00)	1,83 (0,00)	2,27 (0,00)	2,45 (0,01)	< 0,0001
Vitamine B9/ Acide folique (µg/j)	419,47 (142,81)	381,13 (1,84)	384,19 (1,49)	390,87 (1,41)	487,42 (1,53)	626,95 (4,08)	< 0,0001
Vitamine B12 (µg/j)	6,5 (5,08)	6,8 (0,07)	7,57 (0,05)	5,53 (0,05)	6,87 (0,05)	2,53 (0,15)	< 0,0001
Vitamine C (mg/j)	152,49 (82,57)	142,58 (1,14)	138,14 (0,92)	147,85 (0,87)	171,19 (0,95)	214,01 (2,53)	< 0,0001
Vitamine D (µg/j)	3,01 (1,77)	2,67 (0,02)	3 (0,01)	2,77 (0,01)	3,75 (0,02)	1,46 (0,05)	< 0,0001
Vitamine E (mg/j)	14,57 (5,45)	13,12 (0,07)	13,56 (0,05)	13,46 (0,05)	16,98 (0,05)	21,41 (0,15)	< 0,0001
Vitamine K (mg/j)	241,74 (174,94)	198,39 (2,37)	226,61 (1,92)	205,2 (1,81)	309,23 (1,97)	393,31 (5,24)	< 0,0001
Calcium (mg/j)	1115,11 (329,86)	1386,99 (4,22)	971,28 (3,42)	1150,46 (3,23)	1066,34 (3,50)	908,37 (9,32)	< 0,0001
Fer (mg/j)	15,48 (3,75)	14,92 (0,04)	14,70 (0,03)	14,05 (0,03)	17,7 (0,03)	20,22 (0,10)	< 0,0001

Annexes

Iode ($\mu\text{g}/\text{j}$)	255,81 (407,34)	236 (5,64)	198,76 (4,57)	212,58 (4,32)	327,38 (4,69)	631,33 (12,47)	< 0,0001
Magnésium (mg/j)	480,89 (138,95)	455,39 (1,85)	449,11 (1,50)	452,11 (1,41)	548,44 (1,54)	604,05 (4,09)	< 0,0001
Phosphore (mg/j)	1478,4 (278,16)	1615,73 (3,81)	1448,89 (3,08)	1415,39 (2,91)	1504,93 (3,16)	1364,61 (8,42)	< 0,0001
Potassium (mg/j)	3808,98 (865,73)	3954,63 (11,73)	3712,8 (9,51)	3492,34 (8,98)	4120,59 (9,75)	4247,52 (25,93)	< 0,0001
Sodium (mg/j)	2502,37 (546,78)	2503,17 (7,47)	2599,26 (6,06)	2580,54 (5,72)	2398,83 (6,21)	1858,26 (16,52)	< 0,0001
Cuivre (mg/j)	2,09 (0,88)	1,82 (0,01)	1,99 (0,00)	1,91 (0,00)	2,46 (0,00)	2,88 (0,02)	< 0,0001
Zinc (mg/j)	12,75 (2,61)	13,2 (0,03)	13,5 (0,02)	12,00 (0,02)	12,77 (0,02)	11,23 (0,07)	< 0,0001
Manganèse (mg/j)	5,17 (2,30)	4,49 (0,02)	4,16 (0,02)	4,75 (0,02)	6,74 (0,02)	8,43 (0,06)	< 0,0001
Sélénium ($\mu\text{g}/\text{j}$)	81,28 (21,25)	77,19 (0,29)	83,54 (0,23)	75,62 (0,22)	89,49 (0,24)	73,46 (0,64)	< 0,0001

¹ Valeurs moyennes (écart-type) pour l'échantillon global, et moyennes ajustées sur l'apport énergétique (erreur standard moyenne) selon les clusters (modèle ANCOVA).

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide de l'ANCOVA.

³ La prévalence d'un apport protéique adéquat a été calculée en pondérant selon le poids des individus : valeurs moyennes (écart-type) pour l'échantillon global et les clusters.

Annexe 5 : Caractéristiques sociodémographiques selon les vagues de l'étude^{1,2,3}

	2014	2018 Rép.	2018 Non-rép.	P	2022 Rép.	2022 Non-rép.	P	2014_2018 _2022 Rép.	2014_2018 _2022 Non-rép.	P
Effectif non-pondéré	17 187	15 548	1 639		10 734	6 453		9 095	8 092	
Sexe				<0,0001			0,10			0,10
Femmes	52,36	53,07	46,8		51,81	53,1		53,05	51,76	
Hommes	47,64	46,93	53,2		48,19	46,9		46,95	48,24	
Âge (années)	48,38 (15,97)	48,48 (16,02)	47,59 (15,47)	<0,0001	49,44 (14,43)	49,94 (18,13)	<0,0001	49,90 (14,19)	47,07 (17,63)	<0,0001
Niveau d'éducation				0,0008			<0,0001			<0,0001
Primaire	59,92	59,88	60,21		61,96	57,15		62,39	57,8	
Secondaire	15,19	15,52	12,63		12,38	19,01		12,32	17,65	
Post-secondaire	24,89	24,6	27,16		25,66	23,85		25,29	24,55	
Position professionnelle (%)				<0,0001			<0,0001			<0,0001
Indépendant/agriculteur	4,45	4,6	3,22		3,91	5,17		4,08	4,76	
Cadres / professions intellectuelles	9,10	8,69	12,26		10,74	6,87		10,36	8,02	
Chômeur	8,85	9,34	5,04		11,46	5,29		13,05	5,24	
Employé / ouvrier	31,19	30,52	36,3		28,67	34,59		26,78	34,96	
Étudiant	4,49	4,34	5,74		2,67	6,98		1,91	6,72	
Professions intermédiaires	14,50	13,94	18,83		15,1	13,68		14,18	14,77	
Retraité	27,42	28,56	18,6		27,44	27,41		29,63	25,54	
Revenu mensuel par unité de consommation (%)				<0,0001			<0,0001			<0,0001
Refus de répondre	6,58	6,83	4,65		6,44	6,77		6,88	6,32	
< 1200€/U.C.	24,42	25,27	17,87		24,44	24,4		26,07	23,01	
1200 - 1800€/ U.C.	30,91	29,16	44,51		29,13	33,33		25,33	35,7	
1800 - 2700€/ U.C.	23,39	23,84	19,91		23,54	23,19		24,44	22,5	
>2700€/ U.C.	14,70	14,91	13,07		16,46	12,31		17,29	12,47	
Lieu de résidence (%)				<0,0001			<0,0001			<0,0001
Commune rurale	23,99	24,61	19,16		24,39	23,43		25,69	22,52	
Unité urbaine (<20,000 habitants)	18,63	19,29	13,4		18,62	18,64		19,91	17,53	
Unité urbaine (20,000 to 200,000 habitants)	16,80	16,3	20,77		15,92	18		14,73	18,59	
Unité urbaine (>200,000 habitants)	40,58	39,8	46,67		41,06	39,93		39,68	41,36	

Abréviations : U.C. = Unité de Consommation ; Rép., Répondants ; Non-rép., Non-répondants.

Annexes

¹ Les valeurs sont exprimées en moyenne (écart-type) ou en pourcentage selon le cas ; toutes les données sont pondérées

² Les valeurs de p, calculées à l'aide d'analyses de variance (ANOVA) ou du test du Chi², indiquent la significativité des différences entre répondants et non-répondants pour chaque vague de l'étude.

Annexe 6 : Paramètres des modèles mixtes modélisant les trajectoires d'évolution des 23 groupes d'aliments (2014-2022), n = 17 187, étude NutriNet-Santé^{1,2}

Groupes d'aliments	Intercept	Âge	AET	Temps	Sexe (Homme vs Femme)	Temps x Sexe	Temps x Temps
Beurre	-9,14 (-9,68;-8,6)	0,03 (0,02;0,04)	0 (0;0)	7,91 (7,49;8,32)	-0,79 (-1,1;-0,47)	0,48 (0,32;0,65)	-1,6 (-1,71;-1,5)
Boissons alcoolisées	-38,22 (-48,25;-28,19)	1,18 (1,03;1,33)	0,03 (0,03;0,03)	-9,03 (-14,22;-3,84)	102,44 (96,5;108,39)	-5,81 (-7,95;-3,67)	1,3 (-0,01;2,6)
Boissons chaudes	432,4 (384,52;480,29)	2,94 (2,5;3,39)	0,1 (0,09;0,11)	81,3 (36,39;126,21)	-159,98 (-178,98;-140,98)	11,56 (2,91;20,21)	-20,54 (-31,82;-9,27)
Boissons sucrées	57 (48,22;65,79)	-0,85 (-0,94;-0,77)	0,02 (0,02;0,02)	-10,29 (-17,92;-2,67)	2,99 (-1,83;7,81)	2,69 (0,61;4,76)	1,47 (-0,45;3,38)
Céréales raffinées	104,36 (98,07;110,64)	-1,27 (-1,35;-1,19)	0,05 (0,05;0,05)	-25,81 (-30,2;-21,43)	30,45 (26,47;34,43)	-0,83 (-2,58;0,92)	3,66 (2,56;4,76)
Fruits	-221,42 (-241,22;-201,63)	4,06 (3,84;4,28)	0,13 (0,13;0,13)	67,3 (51,45;83,15)	-90,26 (-102,2;-78,32)	-7,6 (-12,46;-2,75)	-14,37 (-18,34;-10,39)
Fruits à coque	-11,54 (-12,99;-10,1)	0,03 (0,01;0,05)	0,01 (0,01;0,01)	8,79 (7,81;9,76)	-4,45 (-5,31;-3,6)	-0,63 (-1,05;-0,2)	-1,52 (-1,76;-1,27)
Jus de fruits	95,53 (87,45;103,61)	-0,51 (-0,6;-0,42)	0,02 (0,02;0,02)	-31,54 (-37,39;-25,69)	10,72 (4,33;17,1)	0,89 (-1,94;3,71)	3,68 (2,22;5,14)
Lait	54,05 (43,4;64,7)	-0,37 (-0,5;-0,24)	0,03 (0,03;0,03)	-50,06 (-57,74;-42,39)	1,76 (-4,71;8,23)	0,84 (-2,02;3,71)	11,48 (9,55;13,41)
Légumes	-74,64 (-91,21;-58,06)	3,06 (2,87;3,25)	0,13 (0,12;0,13)	39,42 (26,57;52,27)	-75,06 (-85,65;-64,48)	-2,99 (-8,47;2,5)	-8,02 (-11,25;-4,79)
Légumineuses	3,09 (0,66;5,53)	-0,23 (-0,26;-0,2)	0,01 (0,01;0,01)	8,68 (6,76;10,59)	1,5 (0,03;2,97)	-0,16 (-0,83;0,5)	-1,71 (-2,19;-1,23)
MG végétales	-3,76 (-5,39;-2,12)	0,08 (0,06;0,1)	0,02 (0,02;0,02)	0,6 (-0,69;1,88)	-9,13 (-10,05;-8,22)	-0,07 (-0,52;0,37)	0,07 (-0,26;0,39)
Œufs	-9,31 (-10,49;-8,13)	0,1 (0,09;0,11)	0 (0;0,01)	7,16 (6,22;8,1)	-2,3 (-2,93;-1,67)	-0,11 (-0,44;0,22)	-1,24 (-1,48;-1)
PGSS	17,9 (13,97;21,83)	-0,3 (-0,35;-0,25)	0,04 (0,04;0,04)	-8 (-10,66;-5,33)	4,87 (2,48;7,26)	1,54 (0,48;2,6)	2,18 (1,51;2,85)
Poissons	-10,07 (-13,28;-6,87)	0,46 (0,42;0,5)	0,02 (0,02;0,02)	-3,52 (-5,76;-1,28)	-0,77 (-2,73;1,18)	-0,44 (-1,25;0,37)	0,61 (0,05;1,18)
Pommes de terre	-0,97 (-2,67;0,73)	0,07 (0,05;0,09)	0,01 (0,01;0,01)	-5,85 (-7,13;-4,57)	7,74 (6,72;8,77)	0,08 (-0,42;0,57)	1,5 (1,18;1,82)
PPC	18,21 (15,71;20,71)	-0,45 (-0,48;-0,42)	0,02 (0,02;0,02)	3,59 (1,81;5,37)	4,24 (2,21;6,28)	0,44 (-0,55;1,43)	-0,33 (-0,77;0,11)
Produits céréaliers complets	-4,49 (-10,95;1,96)	-0,04 (-0,11;0,04)	0,04 (0,04;0,04)	-7,84 (-12,75;-2,94)	-10,16 (-13,94;-6,38)	2,14 (0,48;3,8)	2,42 (1,19;3,65)

Annexes

Produits laitiers	1,5 (-9,67;12,66)	0,58 (0,43;0,73)	0,09 (0,08;0,09)	-0,69 (-7,92;6,54)	-61,27 (-68,16;-54,38)	8,44 (5,65;11,23)	-1,85 (-3,66;-0,03)
Substituts végétaux	10,23 (2,39;18,06)	-0,33 (-0,43;-0,23)	0,02 (0,01;0,02)	10,32 (4,86;15,77)	-10,95 (-15,45;-6,45)	-1,03 (-3,08;1,03)	-1,72 (-3,1;-0,35)
Viande transformée	-15,15 (-16,97;-13,33)	-0,14 (-0,16;-0,12)	0,01 (0,01;0,01)	23,16 (21,76;24,55)	-0,36 (-1,34;0,61)	3,19 (2,71;3,68)	-5,28 (-5,63;-4,93)
Viandes rouges	2,72 (-0,76;6,21)	0,22 (0,17;0,26)	0,03 (0,03;0,03)	-17,54 (-20;-15,09)	12,94 (10,66;15,22)	0,52 (-0,51;1,55)	2,95 (2,34;3,57)
Volaille	18,62 (16,5;20,74)	-0,24 (-0,27;-0,22)	0,01 (0,01;0,01)	-2,91 (-4,56;-1,26)	0,41 (-0,88;1,71)	0,32 (-0,31;0,95)	0,3 (-0,12;0,71)

¹ Abréviations : AET, apport énergétique total dans le temps s; MG, Matières grasses ; PGSS, Produits Gras Salés et/ou Sucrés ; PPC, Plats Préparés et/ou Composés.

² Les valeurs correspondent aux coefficients β (intervalle de confiance à 95 %) des modèles mixtes des trajectoires d'évolution des groupes d'aliments. Les modèles sont ajustés sur le sexe, l'âge et l'apport énergétique total.

Annexe 7 : Paramètres des modèles mixtes modélisant les déterminants socioéconomiques de la consommation dans le temps (2014-2022), pour les 4 groupes d'aliments fortement associés au risque de mortalité (viandes rouges, viande transformée, légumineuses, produits céréaliers complets), n =17 187, étude NutriNet-Santé ^{1,2}

	Viandes rouges		Viande transformée		Légumineuses		Produits céréaliers complets	
	Coeff. estimé	P-valeur	Coeff. estimé	P-valeur	Coeff. estimé	P-valeur	Coeff. estimé	P-valeur
Intercept	4,17 (-1,78;10,12)	0,16	-16,58 (-19,47;-13,68)	< 0,0001	-1,09 (-4,95;2,77)	0,58	-1,12 (-11,51;9,26)	0,83
Temps	-11,61 (-14,25;-8,97)	< 0,0001	26,35 (24,81;27,9)	< 0,0001	8 (5,88;10,12)	< 0,0001	-17,8 (-22,93;-12,67)	< 0,0001
Âge	0,1 (0,03;0,17)	0,01	-0,19 (-0,22;-0,15)	< 0,0001	-0,14 (-0,18;-0,09)	< 0,0001	0,13 (0,01;0,25)	0,04
Apport énergétique total	0,03 (0,03;0,03)	< 0,0001	0,01 (0,01;0,01)	< 0,0001	0,01 (0,01;0,01)	< 0,0001	0,04 (0,04;0,04)	< 0,0001
Sexe (Hommes vs Femmes)	13,29 (10,97;15,62)	< 0,0001	-0,09 (-1,11;0,92)	0,86	0,99 (-0,56;2,55)	0,21	-12,36 (-16,43;-8,29)	< 0,0001
Temps x Sexe (Hommes vs Femmes)	0,34 (-0,62;1,31)	0,48	3,19 (2,69;3,7)	< 0,0001	0,23 (-0,47;0,93)	0,52	3,02 (1,23;4,81)	< 0,0001
Revenu								
< 1200€/U.C.	-8,39 (-12,29;-4,48)	< 0,0001	1,57 (-0,14;3,28)	0,07	3,58 (0,97;6,2)	0,01	2,84 (-3,99;9,68)	0,41
1200 - 1800€/ U.C.	-2,82 (-5,69;0,06)	0,05	1,72 (0,45;2,98)	0,01	1,65 (-0,27;3,58)	0,09	4,6 (-0,44;9,64)	0,07
1800 - 2700€/ U.C.	-3,57 (-6,17;-0,98)	0,01	0,98 (-0,16;2,12)	0,09	1,4 (-0,34;3,13)	0,11	5,58 (1,04;10,12)	0,02
>2700€/ U.C.	ref		ref		ref		ref	
Temps x Revenu								
< 1200€/U.C.	1,71 (0,07;3,35)	0,04	-0,47 (-1,33;0,39)	0,29	-0,08 (-1,28;1,11)	0,89	-1,77 (-4,81;1,27)	0,25
1200 - 1800€/ U.C.	0,44 (-0,78;1,65)	0,48	-0,13 (-0,77;0,5)	0,68	0,1 (-0,78;0,99)	0,82	-1,99 (-4,24;0,26)	0,08
1800 - 2700€/ U.C.	1,26 (0,16;2,35)	0,02	-0,25 (-0,82;0,33)	0,40	-0,36 (-1,15;0,44)	0,38	-1,95 (-3,98;0,08)	0,06
>2700€/ U.C.	ref		ref		ref		ref	
Niveau d'éducation								
Primaire	8,05 (5,28;10,82)	< 0,0001	2,3 (1,09;3,51)	0,0001	-0,55 (-2,4;1,3)	0,56	-9,62 (-14,47;-4,78)	< 0,0001
Secondaire	2,16 (-0,92;5,23)	0,17	0,52 (-0,83;1,87)	0,45	-0,93 (-2,99;1,13)	0,38	-5,78 (-11,17;-0,39)	0,03
Supérieur	ref		ref		ref		ref	
Temps x Education								
Primaire	-0,16 (-1,31;0,99)	0,78	-0,31 (-0,91;0,29)	0,31	-1,29 (-2,13;-0,45)	0,002	0,37 (-1,76;2,51)	0,73
Secondaire	1,04 (-0,26;2,34)	0,12	0,31 (-0,37;0,99)	0,38	0 (-0,95;0,95)	0,10	0,23 (-2,18;2,65)	0,85
Supérieur	ref		ref		ref		ref	

Annexes

Profession								
Employé/ouvrier	3,45 (-0,23;7,13)	0,07	1,01 (-0,62;2,64)	0,22	-2,05 (-4,49;0,38)	0,10	-16,34 (-22,76;-9,92)	< 0,0001
Professions intermédiaires	3,12 (-0,32;6,55)	0,07	1,5 (-0,02;3,02)	0,05	-2,55 (-4,82;-0,28)	0,02	-14,38 (-20,36;-8,39)	< 0,0001
Cadres et professions intellectuelles	1,37 (-1,84;4,59)	0,40	0,02 (-1,41;1,45)	0,97	-0,73 (-2,84;1,39)	0,50	-5,22 (-10,81;0,37)	0,07
Chômeur	-3,29 (-7,61;1,03)	0,13	-1,31 (-3,23;0,6)	0,18	2,37 (-0,51;5,25)	0,11	2,32 (-5,23;9,87)	0,55
Indépendant/agriculteur	2,86 (-5,56;11,28)	0,50	0,65 (-3,01;4,3)	0,73	-0,43 (-6,06;5,19)	0,88	3,38 (-11,35;18,1)	0,65
Étudiant	-0,32 (-11,12;10,47)	0,95	-2,02 (-6,77;2,73)	0,40	4,75 (-2,46;11,96)	0,20	-11,04 (-29,94;7,86)	0,25
Retraité	ref		ref		ref		ref	
Temps x profession								
Employé/ouvrier	-0,93 (-2,38;0,51)	0,20	-0,66 (-1,42;0,09)	0,08	1,33 (0,28;2,39)	0,01	8,21 (5,54;10,89)	< 0,0001
Professions intermédiaires	-1,47 (-2,81;-0,13)	0,03	-0,88 (-1,58;-0,18)	0,01	2,02 (1,04;2,99)	< 0,0001	8,32 (5,84;10,81)	< 0,0001
Cadres et professions intellectuelles	-1,67 (-2,9;-0,43)	0,01	-0,89 (-1,54;-0,25)	0,01	1,16 (0,27;2,06)	0,01	6,34 (4,05;8,62)	< 0,0001
Chômeur	0,35 (-1,45;2,15)	0,70	0,16 (-0,78;1,11)	0,73	0,57 (-0,74;1,88)	0,40	1,02 (-2,31;4,36)	0,55
Indépendant/agriculteur	-2,43 (-5,88;1,01)	0,17	-0,73 (-2,52;1,07)	0,43	1,92 (-0,59;4,43)	0,13	-1,09 (-7,48;5,3)	0,74
Étudiant	-3,68 (-8,08;0,72)	0,10	-2,9 (-5,21;-0,59)	0,01	1,52 (-1,71;4,74)	0,36	13,68 (5,49;21,87)	< 0,0001
Retraité	ref		ref		ref		ref	
Temps x Temps								
	1,45 (0,84;2,06)	< 0,0001	-5,95 (-6,32;-5,59)	< 0,0001	-1,67 (-2,16;-1,17)	< 0,0001	4,19 (3;5,38)	< 0,0001

¹ Les valeurs correspondent aux coefficients β (intervalle de confiance à 95 %) des modèles mixtes des trajectoires d'évolution des groupes d'aliments. Les modèles sont ajustés sur le sexe, l'âge, l'apport énergétique total et les variables socioéconomiques (revenu, niveau d'éducation et statut professionnel).

² Les valeurs de ρ correspondent aux coefficients β .

Annexe 8 : Coefficients budgétaires alimentaires (%) selon les clusters^{1,2}

Groupes d'aliments (g/d)	Échantillon global	Lacté	Carné	Fast-food	Sain-poisson	Sain-végétalisé	p
Régime global	12,13 (8,52)	11,07 (0,11)	12,27 (0,08)	11,36 (0,08)	12,88 (0,09)	17,74 (0,24)	< 0,0001
Boissons alcoolisées	5,48 (6,94)	4,76 (0,10)	6,64 (0,08)	5,34 (0,07)	5,24 (0,08)	3,04 (0,22)	< 0,0001
Boissons non alcoolisées	10,85 (6,99)	12,72 (0,09)	10,62 (0,07)	10,96 (0,07)	9,96 (0,08)	8,6 (0,21)	< 0,0001
Céréales raffinées	5,76 (4,09)	6,12 (0,05)	5,86 (0,04)	6,7 (0,04)	4,08 (0,04)	7,13 (0,12)	< 0,0001
Fast-food	3,07 (3,01)	3,04 (0,04)	2,79 (0,03)	4,12 (0,03)	2,2 (0,03)	2,72 (0,09)	< 0,0001
Fruits	11,92 (10,13)	10,57 (0,14)	10,15 (0,11)	10,68 (0,11)	15,56 (0,12)	16,53 (0,32)	< 0,0001
Huiles	1,39 (1,28)	1,15 (0,01)	1,19 (0,01)	1,34 (0,01)	1,72 (0,01)	2,14 (0,04)	< 0,0001
Jus de fruits	3,56 (5,14)	3,84 (0,07)	2,63 (0,05)	5,04 (0,05)	2,42 (0,06)	4,72 (0,16)	< 0,0001
Lait	0,73 (1,80)	3,25 (0,02)	0,18 (0,01)	0,27 (0,01)	0,18 (0,01)	0,1 (0,04)	< 0,0001
Légumes	15,45 (9,69)	13,65 (0,13)	13,62 (0,10)	13,9 (0,10)	19,15 (0,11)	25,22 (0,30)	< 0,0001
Légumineuses	0,68 (1,41)	0,43 (0,01)	0,42 (0,01)	0,49 (0,01)	0,85 (0,01)	4,25 (0,04)	< 0,0001
Matières grasses animales	0,18 (0,25)	0,15 (0,00)	0,15 (0,00)	0,24 (0,00)	0,16 (0,00)	0,25 (0,00)	< 0,0001
Œufs	0,76 (0,83)	0,72 (0,01)	0,65 (0,00)	0,68 (0,00)	1,04 (0,01)	0,49 (0,02)	< 0,0001
Oléagineux	1,8 (2,96)	1,13 (0,03)	0,9 (0,03)	1,34 (0,03)	3,12 (0,03)	6,5 (0,08)	< 0,0001
PGS	7,15 (4,91)	7,72 (0,06)	6,44 (0,05)	8,69 (0,05)	5,81 (0,05)	6,11 (0,15)	< 0,0001
Poissons	8,77 (7,37)	7,81 (0,10)	8,47 (0,08)	7,36 (0,07)	12,33 (0,08)	2,3 (0,22)	< 0,0001
Pommes de terre	0,69 (0,78)	0,67 (0,01)	0,87 (0,00)	0,62 (0,00)	0,57 (0,00)	0,67 (0,02)	< 0,0001
Produits à base de soja	1,54 (4,4)	0,55 (0,05)	0,48 (0,04)	0,91 (0,04)	2,44 (0,04)	13,52 (0,12)	< 0,0001
Produits céréaliers complets	3,23 (4,29)	2,73 (0,05)	1,66 (0,04)	2,81 (0,04)	5,48 (0,04)	5,2 (0,13)	< 0,0001
Produits laitiers	10,91 (7,31)	10,34 (0,09)	9,6 (0,08)	14,5 (0,07)	9,47 (0,08)	3,49 (0,22)	< 0,0001
Sauces	0,53 (0,65)	0,51 (0,00)	0,56 (0,00)	0,62 (0,00)	0,43 (0,00)	0,38 (0,02)	< 0,0001
Viande rouge	10,55 (8,17)	11,28 (0,10)	16,73 (0,08)	8,2 (0,07)	7,65 (0,08)	0,78 (0,22)	< 0,0001
Viande transformée	3,35 (3,05)	3,41 (0,04)	4,38 (0,03)	3,45 (0,03)	2,51 (0,03)	0,36 (0,09)	< 0,0001
Volaille	3,24 (3,09)	3,22 (0,04)	4,74 (0,03)	2,61 (0,03)	2,81 (0,03)	0,37 (0,09)	< 0,0001

Abréviations : PGS, Produits Gras et Sucrés.

¹ Valeurs moyennes (écart-type) pour l'échantillon global, et moyennes ajustées sur l'apport énergétique (erreur standard moyenne) selon les clusters (modèle ANCOVA).

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide de l'ANCOVA.

Annexe 9 : Coefficients budgétaires des aliments biologiques (%) selon les clusters^{1,2}

Groupes d'aliments	Échantillon global	Lacté	Carné	Fast-food	Sain-poisson	Sain-végétalisé	p
Régime global	28,71 (26,54)	21,15 (0,35)	20,4 (0,29)	25,83 (0,27)	40,49 (0,29)	69,94 (0,79)	< 0,0001
Boissons alcoolisées	2,82 (8,21)	2,4 (0,12)	3,25 (0,1)	2,92 (0,09)	2,68 (0,10)	1,58 (0,27)	< 0,0001
Boissons non alcoolisées	5,12 (10,24)	5,24 (0,15)	4,67 (0,12)	5,5 (0,11)	5,08 (0,12)	5,04 (0,33)	< 0,0001
Céréales raffinées	5,28 (10,69)	5,18 (0,16)	5,47 (0,13)	5,92 (0,12)	4,22 (0,13)	6,44 (0,35)	< 0,0001
Fast-food	1,58 (4,39)	1,35 (0,06)	1,37 (0,05)	2,13 (0,05)	1,27 (0,05)	1,89 (0,14)	< 0,0001
Fruits	11,9 (14,32)	11,25 (0,21)	10,69 (0,17)	11,36 (0,16)	14,03 (0,17)	13,64 (0,47)	< 0,0001
Huiles	2,22 (7,17)	2,05 (0,1)	2,17 (0,08)	2,2 (0,08)	2,41 (0,09)	2,44 (0,23)	< 0,0001
Jus de fruits	3,89 (9,23)	4,16 (0,13)	3,28 (0,11)	5,36 (0,1)	2,58 (0,11)	4,07 (0,30)	< 0,0001
Lait	0,92 (5,06)	3,89 (0,07)	0,29 (0,06)	0,43 (0,05)	0,23 (0,06)	0,12 (0,16)	< 0,0001
Légumes	15,52 (16,53)	14,3 (0,24)	14,49 (0,19)	14,52 (0,18)	17,83 (0,20)	21,49 (0,54)	< 0,0001
Légumineuses	0,77 (2,38)	0,5 (0,03)	0,5 (0,03)	0,59 (0,03)	0,99 (0,03)	4,35 (0,07)	< 0,0001
Matières grasses animales	0,23 (2,58)	0,2 (0,04)	0,25 (0,03)	0,24 (0,03)	0,24 (0,03)	0,28 (0,08)	< 0,0001
Œufs	2,86 (9,81)	3,09 (0,14)	3,01 (0,12)	2,97 (0,11)	2,71 (0,12)	0,58 (0,32)	< 0,0001
Oléagineux	2,58 (7,55)	1,95 (0,11)	1,64 (0,09)	2,07 (0,08)	4,06 (0,09)	6,65 (0,24)	< 0,0001
PGS	6,23 (11,15)	6,87 (0,16)	6,14 (0,13)	7 (0,12)	5,17 (0,14)	4,69 (0,36)	< 0,0001
Poissons	5,13 (10,32)	4,4 (0,15)	5,31 (0,12)	4,55 (0,11)	6,68 (0,13)	1,21 (0,34)	< 0,0001
Pommes de terre	0,71 (3,17)	0,77 (0,05)	0,92 (0,04)	0,65 (0,04)	0,54 (0,04)	0,56 (0,10)	< 0,0001
Produits à base de soja	2,53 (8,46)	1,39 (0,12)	1,25 (0,1)	1,84 (0,09)	3,68 (0,10)	15,74 (0,26)	< 0,0001
Produits céréaliers complets	3,98 (9,03)	3,38 (0,13)	2,35 (0,11)	3,56 (0,1)	6,45 (0,11)	5,15 (0,29)	< 0,0001
Produits laitiers	7,05 (11,23)	6,19 (0,16)	6,41 (0,13)	8,85 (0,12)	6,82 (0,14)	2,47 (0,36)	< 0,0001
Sauces	0,47 (3,59)	0,48 (0,05)	0,54 (0,04)	0,53 (0,04)	0,35 (0,04)	0,3 (0,12)	< 0,0001
Viande rouge	5,8 (10,75)	5,63 (0,15)	9,05 (0,12)	4,81 (0,12)	4,38 (0,13)	0,37 (0,34)	< 0,0001
Viande transformée	1,89 (4,86)	1,72 (0,07)	2,48 (0,06)	1,89 (0,05)	1,6 (0,06)	0,22 (0,16)	< 0,0001
Volaille	3,95 (8,91)	3,99 (0,13)	5,48 (0,1)	3,66 (0,1)	3,12 (0,11)	0,41 (0,29)	< 0,0001

Abréviations : PGS, Produits Gras et Sucrés.

¹ Les valeurs sont des moyennes (écart-type) pour l'échantillon global, et des moyennes ajustées sur l'apport énergétique total (erreur standard moyenne) des coefficients budgétaires en aliments biologiques selon les clusters (modèle ANCOVA). Les coefficients budgétaires des aliments conventionnels sont les valeurs complémentaires à 100 %.

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide de l'ANCOVA.

Annexe 10: Coefficients budgétaires de l'apport protéique (%) selon les clusters^{1,2}

Groupes d'aliments	Échantillon global	Lacté	Carné	Fast-food	Sain-poisson	Sain-végétalisé	p
Régime global	9,31 (2,91)	9,07 (0,03)	10,72 (0,03)	8,78 (0,03)	9,16 (0,03)	5,46 (0,08)	< 0,0001
Boissons alcoolisées	0 (0,01)	0 (0,00)	0,01 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	< 0,0001
Boissons non alcoolisées	0,02 (0,03)	0,06 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0 (0,00)	< 0,0001
Céréales raffinées	0,34 (0,26)	0,38 (0,00)	0,35 (0,00)	0,4 (0,00)	0,22 (0,00)	0,37 (0,00)	< 0,0001
Fast-food	0,32 (0,32)	0,31 (0,00)	0,29 (0,00)	0,43 (0,00)	0,22 (0,00)	0,27 (0,01)	< 0,0001
Fruits	0,08 (0,08)	0,07 (0,00)	0,07 (0,00)	0,07 (0,00)	0,11 (0,00)	0,11 (0,00)	< 0,0001
Huiles	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	< 0,0001
Jus de fruits	0,02 (0,03)	0,02 (0,00)	0,01 (0,00)	0,03 (0,00)	0,01 (0,00)	0,02 (0,00)	< 0,0001
Lait	0,02 (0,06)	0,12 (0,00)	0 (0,00)	0,01 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	< 0,0001
Légumes	0,19 (0,12)	0,16 (0,00)	0,16 (0,00)	0,17 (0,00)	0,23 (0,00)	0,33 (0,00)	< 0,0001
Légumineuses	0,05 (0,10)	0,03 (0,00)	0,03 (0,00)	0,03 (0,00)	0,06 (0,00)	0,31 (0,00)	< 0,0001
Matières grasses animales	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	0 (0,00)	< 0,0001
Œufs	0,09 (0,10)	0,08 (0,00)	0,08 (0,00)	0,08 (0,00)	0,12 (0,00)	0,06 (0,00)	< 0,0001
Oléagineux	0,29 (0,54)	0,18 (0,00)	0,13 (0,00)	0,21 (0,00)	0,52 (0,00)	1,1 (0,01)	< 0,0001
PGS	0,35 (0,28)	0,38 (0,00)	0,32 (0,00)	0,44 (0,00)	0,27 (0,00)	0,34 (0,00)	< 0,0001
Poissons	1,86 (1,59)	1,65 (0,02)	1,79 (0,01)	1,56 (0,01)	2,64 (0,01)	0,49 (0,04)	< 0,0001
Pommes de terre	0,01 (0,01)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	< 0,0001
Produits à base de soja	0,08 (0,27)	0,03 (0,00)	0,02 (0,00)	0,05 (0,00)	0,12 (0,00)	0,76 (0,00)	< 0,0001
Produits céréaliers complets	0,28 (0,39)	0,24 (0,00)	0,14 (0,00)	0,25 (0,00)	0,48 (0,00)	0,38 (0,01)	< 0,0001
Produits laitiers	1,1 (1,08)	0,94 (0,01)	0,94 (0,01)	1,56 (0,01)	0,93 (0,01)	0,43 (0,03)	< 0,0001
Sauces	0,01 (0,01)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	0,01 (0,00)	< 0,0001
Viande rouge	2,66 (2,08)	2,84 (0,02)	4,24 (0,02)	2,06 (0,01)	1,93 (0,02)	0,19 (0,05)	< 0,0001
Viande transformée	0,67 (0,62)	0,69 (0,00)	0,88 (0,00)	0,69 (0,00)	0,5 (0,00)	0,07 (0,01)	< 0,0001
Volaille	0,77 (0,74)	0,77 (0,01)	1,13 (0,00)	0,62 (0,00)	0,67 (0,00)	0,08 (0,02)	< 0,0001

Abréviations : PGS, Produits Gras et Sucrés.

¹ Les valeurs sont des moyennes (écart-type) pour l'échantillon global, et des moyennes ajustées sur l'apport énergétique total (erreur standard moyenne) des coefficients budgétaires de l'apport protéique selon les clusters (modèle ANCOVA).

² Les valeurs de p ont été calculées à l'aide de l'ANCOVA.

Annexe 11 : Estimation de l'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense en alimentation globale

Pour analyser les clivages potentiels liés à la dépense du régime global, nous avons cherché à comprendre si l'adoption d'un type de régime alimentaire (appartenance à un cluster protéique) nécessitait l'allocation d'une dépense plus ou moins importante. Pour ce faire, le modèle économétrique de régression à effets fixes, ci-après, a été spécifié, afin d'estimer l'impact d'adopter un régime alimentaire sur la dépense du régime global, tenant compte du revenu et du niveau d'éducation :

$$Dépense\ du\ régime\ global_i = \alpha_i + \beta_1 Revenu_i + \beta_2 Educ_i + \beta_3 AET_i + EF_{régime}$$

Où :

i : désigne les individus ;

$Revenu_i$: le revenu moyen journalier de l'individu i ;

$Educ_i$: le niveau d'éducation de l'individu i , correspondant au nombre d'années d'études ;

AET_i : apport énergétique total de l'individu i ;

$EF_{régime}$: effet fixe du régime alimentaire, correspondant à l'effet de l'adoption du régime alimentaire (qui est celui adopté par l'individu i) sur la dépense protéique totale.

Les résultats du modèle que nous avons développés sont présentés dans le **tableau 24** ci-après :

Tableau 24 : Estimation du modèle du coût de l'alimentation globale

Variables	Paramètres estimés	Erreur-type	Valeur t	p-value
Revenu	0,0050	0,0002	18,7123	< 0,0001
Educ	-0,0228	0,0036	-6,2765	< 0,0001
AET	0,0645	0,0003	177,2978	< 0,0001
Cluster « Lacté »	0,6785	0,0685	9,8944	< 0,0001
Cluster « Carné »	1,4096	0,0662	21,2733	< 0,0001
Cluster « Fast-food »	1,5685	0,0641	24,4457	< 0,0001
« Sain-poisson »	2,5853	0,0644	40,1090	< 0,0001
« Sain-végétalisé »	4,5511	0,0867	52,4806	< 0,0001

Annexe 12 : Estimation de l'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense en apport protéique

L'impact de l'adoption de chacun des régimes sur la dépense protéique totale individuel, en tenant compte du revenu et du niveau d'éducation, a été estimée selon le modèle économétrique de régression à effets fixes suivant :

$$\begin{aligned} \text{Dépense protéique totale}_i &= \alpha_i + \beta_1 \text{Revenu}_i + \beta_2 \text{Educ}_i + \beta_3 \text{Revenu}_i^2 + \beta_4 \text{Educ}_i^2 + \beta_5 \text{AET}_i + \beta_6 \text{APT}_i \\ &+ \text{EF}_{\text{régime}} \end{aligned}$$

Où :

i : désigne les individus ;

Revenu_i : le revenu moyen journalier de l'individu i ;

Educ_i : le niveau d'éducation de l'individu i , correspondant au nombre d'années d'études ;

AET_i : apport énergétique total de l'individu i ;

APT_i : apport protéique total de l'individu i .

EF_{régime} : effet fixe du régime alimentaire, correspondant à l'effet de l'adoption du régime alimentaire (qui est celui adopté par l'individu i) sur la dépense protéique totale.

Les résultats du modèle que nous avons développés sont présentés dans le **tableau 25** ci-après :

Tableau 25 : Estimation de la dépense protéique totale

Variables du modèle	Paramètres estimés	Erreur-type	Valeur t	p- value
Revenu	0,0013	0,0001	12,229	0,0001
Education	0,0036	0,0016	2,2070	0,0273
Revenu ²	-0,0001	0,0001	-7,7280	0,0001
Education ²	-0,0002	0,0001	-2,5750	0,0100
AET	-0,0001	0,0001	-24,5220	0,0001
Apport protéique total	0,0104	0,0001	159,615	0,0001
Cluster « Lacté »	-0,2845	0,0113	-8,7040	0,0001
Cluster « Carné »	-0,0984	0,0113	-15,3810	0,0001
Cluster « Fast-food »	-0,1732	0,0113	-7,2600	0,0001
« Sain-poisson »	-0,0821	0,0113	-24,9750	0,0001
« Sain-végétalisé »	-0,1452	0,0125	-11,5820	0,0001

Annexe 13 : Structure du coût protéique en fonction de la catégorie sociale

Groupes d'aliments	Echantillon total	Classe populaire		Classe moyenne		Classe aisée		P ³
	Brut ¹	Brut ¹	% ²	Brut ¹	% ²	Brut ¹	% ²	
Régime global	0,71 (0,36)	0,66 (0,36)	-8,10	0,7 (0,37)	-1,78	0,74 (0,36)	3,80	0,0001
Boissons alcoolisées	0 (0)	0 (0)	-23,17	0 (0)	-9,85	0 (0)	15,22	0,0001
Boissons non alcoolisées	0 (0)	0 (0)	4,06	0 (0)	0,45	0 (0)	-1,5	0,236
Céréales raffinées	0,02 (0,01)	0,02 (0,01)	6,4	0,02 (0,01)	-0,28	0,02 (0,01)	-1,46	0,0001
Fast food	0,02 (0,02)	0,02 (0,02)	11,84	0,02 (0,02)	0,74	0,02 (0,02)	-3,85	0,0001
Fruits	0 (0)	0 (0,01)	1,96	0 (0)	-1,24	0 (0)	0,61	0,377
Huiles	0 (0)	0 (0)	0	0 (0)	0	0 (0)	0	0,0001
Jus de fruits	0 (0)	0 (0)	-3,07	0 (0)	-5,04	0 (0)	5,43	0,0001
Lait	0 (0)	0 (0)	8,28	0 (0)	2,93	0 (0)	-4,9	0,0001
Légumes	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	2,05	0,01 (0,01)	-0,36	0,01 (0,01)	-0,22	0,418
Légumineuses	0 (0,01)	0 (0,01)	29,91	0 (0,01)	0,76	0 (0)	-8,73	0,0001
Matières grasses animales	0 (0)	0 (0)	4,33	0 (0)	1,23	0 (0)	-2,28	0,0001
Œufs	0 (0)	0 (0)	3,22	0 (0)	1,4	0 (0)	-2,15	0,0001
Oléagineux	0,02 (0,04)	0,02 (0,05)	8,23	0,02 (0,04)	0,61	0,02 (0,04)	-2,76	0,0001
Poissons	0,14 (0,15)	0,11 (0,13)	-20,05	0,13 (0,14)	-5,4	0,16 (0,15)	10,32	0,0001
Pommes de terre	0 (0)	0 (0)	11,99	0 (0)	1	0 (0)	-4,13	0,0001
Produits à base de soja	0 (0,02)	0 (0,03)	34,5	0 (0,02)	2,94	0 (0,02)	-11,95	0,0001
Produits céréaliers complets	0,02 (0,03)	0,01 (0,03)	-13,13	0,02 (0,03)	-3,01	0,02 (0,03)	6,28	0,0001
Produits gras et sucrés	0,02 (0,02)	0,02 (0,02)	4,16	0,02 (0,02)	-0,66	0,02 (0,02)	-0,52	0,0001
Produits laitiers	0,08 (0,1)	0,08 (0,1)	-5,93	0,08 (0,09)	-3,34	0,09 (0,1)	4,64	0,0001
Sauces	0 (0)	0 (0)	-1,75	0 (0)	-0,78	0 (0)	1,18	0,268
Viande rouge	0,2 (0,2)	0,17 (0,19)	-14,46	0,2 (0,21)	-1,64	0,22 (0,19)	5,38	0,0001
Viande transformée	0,05 (0,05)	0,04 (0,05)	-1,51	0,05 (0,05)	3,29	0,04 (0,04)	-2,6	0,0001
Volaille	0,05 (0,06)	0,05 (0,06)	-2,31	0,05 (0,06)	0,53	0,05 (0,06)	0,14	0,377

¹ Les valeurs sont des moyennes des dépenses protéiques (ET).

² Les valeurs sont des pourcentages relatifs à la population totale.

³ Les p-values sont basées sur des test ANOVA sur les catégories sociales.

⁴ Les valeurs arrondies à 0 (0) résultent d'un affichage au centime d'euro, alors que les dépenses protéiques journalières pour certains groupes d'aliments sont de l'ordre de 10⁻³ €.

Annexe 14 : Structure du coût protéique dans les régimes alimentaires selon les catégories sociales pour les groupes d'aliments significatifs

	Echantillon total		Classe populaire		Classe moyenne		Classe aisée		p ³
	Brut ¹		Brut ¹	% ²	Brut ¹	% ²	Brut ¹	% ²	
Régime global									
« Lacté »	0,63 (0,29)		0,59 (0,31)	-6,79	0,62 (0,29)	-2,01	0,66 (0,28)	3,90	0,0001
« Carné »	0,86 (0,41)		0,8 (0,4)	-7,32	0,86 (0,43)	-0,41	0,88 (0,39)	2,24	0,0001
« Fast-food »	0,63 (0,32)		0,6 (0,34)	-4,25	0,6 (0,3)	-3,88	0,66 (0,32)	4,81	0,0001
« Sain-poisson »	0,75 (0,35)		0,7 (0,34)	-7,23	0,74 (0,36)	-1,22	0,77 (0,35)	2,53	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,46 (0,24)		0,44 (0,25)	-3,05	0,46 (0,25)	1,10	0,46 (0,23)	1,20	0,5660
Viande rouge									
« Lacté »	0,2 (0,16)		0,18 (0,16)	-9,12	0,19 (0,16)	-2,43	0,21 (0,16)	4,97	0,0001
« Carné »	0,35 (0,27)		0,31 (0,25)	-9,52	0,34 (0,28)	-0,13	0,35 (0,25)	2,55	0,0001
« Fast-food »	0,14 (0,12)		0,13 (0,13)	-9,77	0,14 (0,12)	-4,30	0,15 (0,13)	6,70	0,0001
« Sain-poisson »	0,15 (0,14)		0,12 (0,13)	-19,28	0,15 (0,14)	-3,23	0,17 (0,14)	6,72	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,01 (0,05)		0,01 (0,05)	-14,84	0,01 (0,04)	2,47	0,01 (0,05)	9,53	0,6440
Produits céréaliers complets									
« Lacté »	0,01 (0,02)		0,01 (0,01)	-28,96	0,01 (0,02)	-4,27	0,01 (0,02)	12,50	0,0001
« Carné »	0,01 (0,01)		0,01 (0,02)	-4,76	0,01 (0,01)	-1,10	0,01 (0,01)	2,22	0,4650
« Fast-food »	0,01 (0,02)		0,01 (0,02)	-14,72	0,01 (0,02)	-3,90	0,01 (0,02)	7,68	0,0001
« Sain-poisson »	0,03 (0,03)		0,03 (0,04)	-7,97	0,03 (0,04)	-1,01	0,03 (0,03)	2,51	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,03 (0,03)		0,02 (0,03)	-10,85	0,03 (0,03)	1,40	0,03 (0,03)	7,49	0,1560
Poissons									
« Lacté »	0,11 (0,1)		0,1 (0,1)	-15,23	0,11 (0,09)	-4,61	0,12 (0,1)	8,84	0,0001
« Carné »	0,14 (0,12)		0,11 (0,11)	-20,90	0,13 (0,12)	-5,65	0,16 (0,12)	10,51	0,0001
« Fast-food »	0,11 (0,1)		0,09 (0,09)	-15,68	0,1 (0,09)	-9,12	0,12 (0,11)	12,85	0,0001
« Sain-poisson »	0,22 (0,21)		0,19 (0,19)	-11,71	0,21 (0,21)	-2,20	0,23 (0,22)	4,27	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,04 (0,08)		0,03 (0,07)	-22,27	0,04 (0,09)	12,48	0,04 (0,08)	3,06	0,0930
Produits à base de soja									
« Lacté »	0 (0,01)		0 (0)	-7,66	0 (0,01)	-2,14	0 (0,01)	4,27	0,8770
« Carné »	0 (0)		0 (0)	9,16	0 (0,01)	8,15	0 (0)	-9,81	0,2400

	Echantillon total	Classe populaire		Classe moyenne		Classe aisée		p ³
	Brut ¹	Brut ¹	% ²	Brut ¹	% ²	Brut ¹	% ²	
« Fast-food »	0 (0,01)	0 (0,01)	3,65	0 (0,01)	-0,61	0 (0,01)	-0,43	0,9400
« Sain-poisson »	0,01 (0,03)	0,01 (0,03)	23,61	0,01 (0,03)	7,18	0 (0,02)	-10,87	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,06 (0,08)	0,05 (0,07)	-9,22	0,06 (0,09)	5,26	0,06 (0,07)	1,15	0,3540
Légumineuses								
« Lacté »	0 (0)	0 (0)	1,92	0 (0)	0,94	0 (0)	-1,45	0,8430
« Carné »	0 (0)	0 (0)	-2,60	0 (0)	1,02	0 (0)	-0,28	0,8190
« Fast-food »	0 (0)	0 (0)	6,73	0 (0)	-1,58	0 (0)	-0,35	0,3390
« Sain-poisson »	0 (0)	0 (0)	16,91	0 (0)	5,21	0 (0)	-7,84	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,02 (0,04)	0,02 (0,02)	5,14	0,02 (0,06)	1,26	0,02 (0,02)	-6,02	0,7440
Lait								
« Lacté »	0,01 (0)	0 (0)	1,03	0 (0)	1,04	0 (0)	-1,29	0,6550
« Carné »	0 (0)	0 (0)	13,07	0 (0)	2,51	0 (0)	-5,64	0,2980
« Fast-food »	0 (0)	0 (0)	19,29	0 (0)	3,81	0 (0)	-8,84	0,0001
« Sain-poisson »	0 (0)	0 (0)	31,72	0 (0)	5,00	0 (0)	-10,79	0,0001
« Sain-végétalisé »	0 (0)	0 (0)	-40,70	0 (0)	-3,89	0 (0)	39,81	0,2410
Fast food								
« Lacté »	0,02 (0,01)	0,02 (0,02)	6,88	0,02 (0,01)	0,44	0,02 (0,01)	-2,42	0,0800
« Carné »	0,02 (0,02)	0,02 (0,02)	9,46	0,02 (0,02)	0,08	0,02 (0,01)	-2,49	0,0001
« Fast-food »	0,02 (0,03)	0,03 (0,03)	15,54	0,03 (0,04)	1,33	0,02 (0,03)	-5,49	0,0001
« Sain-poisson »	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	6,46	0,01 (0,01)	0,36	0,01 (0,01)	-1,66	0,1410
« Sain-végétalisé »	0,02 (0,02)	0,02 (0,03)	14,12	0,02 (0,02)	-7,16	0,02 (0,02)	-2,90	0,1380
Céréales raffinées								
« Lacté »	0,02 (0,01)	0,02 (0,01)	7,62	0,02 (0,01)	-1,21	0,02 (0,01)	-1,05	0,0001
« Carné »	0,02 (0,01)	0,02 (0,01)	-2,40	0,02 (0,01)	-0,65	0,02 (0,01)	1,21	0,2680
« Fast-food »	0,02 (0,01)	0,02 (0,01)	5,82	0,02 (0,01)	-0,54	0,02 (0,01)	-1,07	0,0001
« Sain-poisson »	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	6,31	0,01 (0,01)	1,51	0,01 (0,01)	-2,57	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,02 (0,02)	0,03 (0,02)	13,40	0,02 (0,02)	-6,46	0,02 (0,02)	-3,19	0,0001

¹ Les valeurs sont les moyennes des dépenses protéiques (ET).

Annexes

² Les valeurs sont des pourcentages relatifs à la population totale du cluster (régime alimentaire).

³ Les p-values sont basées sur des test ANOVA sur les catégories sociales.

⁴ Les valeurs arrondies à 0 (0) résultent d'un affichage au centime d'euro, alors que les dépenses protéiques journalières pour certains groupes d'aliments sont de l'ordre de 10^{-3} .

Annexe 15 : Structure du coût protéique en fonction du niveau d'éducation

Groupes d'aliments	Echantillon total	« Primaire/Secondaire »		« Supérieur »		p ³
	Brut ¹	Brut ¹	% ²	Brut ¹	% ²	
Régime global	0,71 (0,36)	0,74 (0,38)	2,77	0,71 (0,36)	-1,52	0,0001
Boissons alcoolisées	0 (0)	0 (0)	-1,62	0 (0)	0,89	0,226
Boissons non alcoolisées	0 (0)	0 (0)	5,84	0 (0)	-3,2	0,0001
Céréales raffinées	0,02 (0,01)	0,02 (0,02)	-2,4	0,02 (0,02)	1,31	0,0001
Fast-food	0,02 (0,02)	0,02 (0,02)	-11,72	0,02 (0,03)	6,42	0,0001
Fruits	0 (0)	0,01 (0,01)	14,52	0,01 (0,01)	-7,96	0,0001
Huiles	0 (0)	0 (0)	0	0 (0)	0	0,0001
Jus de fruits	0 (0)	0 (0)	-9,34	0 (0)	5,12	0,0001
Lait	0 (0)	0 (0)	-3,03	0 (0)	1,66	0,112
Légumes	0,01 (0,01)	0,02 (0,01)	2,8	0,01 (0,01)	-1,53	0,0001
Légumineuses	0 (0,01)	0 (0,01)	-8,85	0 (0,01)	4,85	0,0001
Matières grasses animales	0 (0)	0 (0)	-3,24	0 (0)	1,78	0,0001
Œufs	0 (0)	0,01 (0,01)	3,53	0,01 (0,01)	-1,94	0,0001
Oléagineux	0,02 (0,04)	0,02 (0,05)	-3,88	0,02 (0,05)	2,13	0,0001
Poissons	0,14 (0,15)	0,15 (0,16)	2,85	0,15 (0,15)	-1,56	0,0001
Pommes de terre	0 (0)	0 (0)	9,35	0 (0)	-5,12	0,0001
Produits à base de soja	0 (0,02)	0,01 (0,02)	-7,3	0,01 (0,03)	4	0,0001
Produits céréaliers complets	0,02 (0,03)	0,02 (0,03)	-4,76	0,02 (0,03)	2,61	0,0001
Produits gras et sucrés	0,02 (0,02)	0,03 (0,02)	-1,66	0,03 (0,02)	0,91	0,0001
Produits laitiers	0,08 (0,1)	0,09 (0,1)	-1,29	0,09 (0,1)	0,71	0,177
Sauces	0 (0)	0 (0)	-2,53	0 (0)	1,39	0,0001
Viande rouge	0,2 (0,2)	0,23 (0,22)	9,84	0,2 (0,19)	-5,39	0,0001
Viande transformée	0,05 (0,05)	0,05 (0,05)	2,82	0,05 (0,05)	-1,54	0,0001
Volaille	0,05 (0,06)	0,06 (0,06)	-0,36	0,06 (0,06)	0,19	0,678

¹ Les valeurs sont des moyennes des coûts protéiques (ET) ;

² Les valeurs sont des pourcentages relatifs à la population totale ;

³ Les p-values sont basées sur des test ANOVA sur les niveaux d'éducation.

Annexes

⁴ Les valeurs arrondies à 0 (0) résultent d'un affichage au centime d'euro, alors que les dépenses protéiques journalières pour certains groupes d'aliments sont de l'ordre de 10^{-3} €.

Annexe 16 : Structure du coût protéique dans les régimes alimentaires selon les niveaux d'éducation pour les groupes d'aliments significatifs

	Echantillon total	« Primaire/Secondaire »		« Supérieur »		p ³
	Brut ¹	Brut ¹	% ²	Brut ¹	% ²	
Régime global						
« Lacté »	0,63 (0,29)	0,66 (0,31)	3,34	0,63 (0,29)	-1,73	0,0001
« Carné »	0,86 (0,41)	0,88 (0,43)	1,23	0,86 (0,4)	-0,80	0,0810
« Fast-food »	0,63 (0,32)	0,64 (0,33)	0,74	0,63 (0,32)	-0,34	0,3780
« Sain-poisson »	0,75 (0,35)	0,76 (0,36)	0,65	0,75 (0,36)	-0,39	0,3860
« Sain-végétalisé »	0,46 (0,24)	0,51 (0,28)	9,87	0,44 (0,23)	-4,05	0,0001
Viande rouge						
« Lacté »	0,2 (0,16)	0,22 (0,18)	9,68	0,19 (0,16)	-5,02	0,0001
« Carné »	0,35 (0,27)	0,37 (0,28)	4,53	0,34 (0,26)	-2,94	0,0001
« Fast-food »	0,14 (0,12)	0,16 (0,14)	7,29	0,14 (0,12)	-3,36	0,0001
« Sain-poisson »	0,15 (0,14)	0,17 (0,15)	7,83	0,15 (0,14)	-4,69	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,01 (0,05)	0,02 (0,07)	32,82	0,01 (0,04)	-13,46	0,0001
Poissons						
« Lacté »	0,11 (0,1)	0,12 (0,11)	3,90	0,12 (0,1)	-2,02	0,0001
« Carné »	0,14 (0,12)	0,15 (0,13)	-0,02	0,15 (0,12)	0,01	0,9870
« Fast-food »	0,11 (0,1)	0,11 (0,11)	-0,39	0,11 (0,1)	0,18	0,7960
« Sain-poisson »	0,22 (0,21)	0,23 (0,22)	0,56	0,22 (0,22)	-0,34	0,7130
« Sain-végétalisé »	0,04 (0,08)	0,06 (0,1)	30,64	0,04 (0,08)	-12,57	0,0001
Produits à base de soja						
« Lacté »	0 (0,01)	0 (0,02)	1,71	0 (0,01)	-0,89	0,8800
« Carné »	0 (0)	0 (0,01)	6,98	0 (0,01)	-4,54	0,2940
« Fast-food »	0 (0,01)	0 (0,02)	-6,27	0 (0,01)	2,89	0,2740
« Sain-poisson »	0,01 (0,03)	0,01 (0,02)	-11,36	0,01 (0,03)	6,81	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,06 (0,08)	0,07 (0,08)	8,19	0,06 (0,08)	-3,36	0,2000
Légumineuses						
« Lacté »	0 (0)	0 (0)	-1,73	0 (0)	0,90	0,5860
« Carné »	0 (0)	0 (0)	-5,59	0 (0)	3,63	0,0001

Annexes

	Echantillon total	« Primaire/Secondaire »		« Supérieur »		p ³
	Brut ¹	Brut ¹	% ²	Brut ¹	% ²	
« Fast-food »	0 (0)	0 (0)	-11,14	0 (0)	5,14	0,0001
« Sain-poisson »	0 (0)	0 (0,01)	-14,09	0,01 (0,01)	8,45	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,02 (0,04)	0,03 (0,07)	9,39	0,03 (0,03)	-3,85	0,2930
Céréales raffinées						
« Lacté »	0,02 (0,01)	0,02 (0,02)	-3,57	0,03 (0,02)	1,85	0,0001
« Carné »	0,02 (0,01)	0,03 (0,02)	0,25	0,03 (0,02)	-0,16	0,7910
« Fast-food »	0,02 (0,01)	0,03 (0,02)	-1,83	0,03 (0,02)	0,84	0,1200
« Sain-poisson »	0,01 (0,01)	0,02 (0,02)	-4,12	0,02 (0,02)	2,47	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,02 (0,02)	0,03 (0,02)	-0,83	0,03 (0,02)	0,34	0,8380
Produits complets						
« Lacté »	0,01 (0,02)	0,02 (0,03)	-4,16	0,02 (0,03)	2,15	0,1730
« Carné »	0,01 (0,01)	0,01 (0,02)	-6,87	0,01 (0,02)	4,47	0,0001
« Fast-food »	0,01 (0,02)	0,02 (0,03)	-6,00	0,02 (0,03)	2,77	0,0001
« Sain-poisson »	0,03 (0,03)	0,04 (0,04)	-3,78	0,04 (0,04)	2,26	0,0001
« Sain-végétalisé »	0,03 (0,03)	0,03 (0,04)	-5,05	0,03 (0,04)	2,07	0,3820

¹ Les valeurs sont des moyennes des coûts protéiques (ET).

² Les valeurs sont des pourcentages relatifs à la population totale du cluster (régime alimentaire).

³ Les p-values sont basées sur des test ANOVA sur les niveaux d'éducation.

⁴ Les valeurs arrondies à 0 (0) résultent d'un affichage au centime d'euro, alors que les dépenses protéiques journalières pour certains groupes d'aliments sont de l'ordre de 10⁻³ €.

Annexe 17 : Contraintes nutritionnelles utilisées dans les modèles d'optimisation

Nutriments	Unités	Hommes		Femmes	
		Borne inf	Borne sup	Borne inf	Borne sup
Apport énergétique total (AET)	Kcal/j	BE - 8%	BE + 8%	BE - 8%	BE + 8%
Protéines	kg du PC/j	0,83	2,3	0,83	2,3
Vitamine A	µg/j	750	3000	650	3000
Vitamine B1	µg /1000 kcal/j	0,3	-	0,3	-
Vitamine B2	µg /1000 kcal/j	0,55	-	0,55	-
Vitamine B3	µg /1000 kcal/j	5,44	900	5,44	900
Vitamine B5	mg/j	P5	-	P5	-
Vitamine B6	mg/j	1,7	25	1,6	25
Vitamine B9	µg/j	330	-	330	-
Vitamine B12	µg/j	4	-	4	-
Vitamine C	g/j	110	-	110	-
Vitamine E	g/j	P5	-	P5	-
Vitamine K	µg/j	P5	-	P5	-
Calcium	g/j	950	2500	950	2500
Cuivre	g/j	P5	5	P5	5
Fer biodisponible	mg/j	1,1	-	1,1	-
Iodine	µg/j	150	600	150	600
Magnésium	g/j	P5	-	P5	-
Manganèse	g/j	P5	-	P5	-
Phosphore	g/j	550	-	550	-
Potassium	g/j	3500	-	3500	-
Sélénium	µg/j	70	300	70	300
Sodium	mg/j	1500	2300	1500 mg	2300
Zinc biodisponible	mg/j	(0,642 + 0,038 kg du PC)		(0,642 + 0,038 kg du PC)	
Acides gras saturés	% AET/j	-	12	-	12
Acide linoléique	% AET/j	4	-	4	-
Acide alpha-linolénique	% AET/j	1	-	1	-
Acide linoléique/Acide alpha-linolénique	-	-	5	-	5
Acide eicosapentaénoïque + Acide docosahexaénoïque	g/j	0,5	-	0,5	-
Glucides hors lactose	g/j	-	100	-	100
Fibres	g/j	25	-	25	-

Abréviations : PC, Poids corporel ; BE, Besoin énergétique ; AET, Apport énergétique total ; P5, 5^{ème} percentile de l'échantillon.

Calcul du zinc et du fer biodisponibles**Zinc biodisponible**

L'absorption du zinc a été estimée selon l'équation développée et mise à jour par Miller et al. (317) :

ZB (mmol/j)

$$= 0.5 \left\{ 0.069 \left(1 + \frac{PhyI (1 - 0.017CI)}{0.44} \right) + 0.084 + ZI (1 + 0.012PI) \right. \\ \left. - \sqrt{\left(\left(0.069 \left(1 + \frac{PhyI (1 - 0.017CI)}{0.44} \right) + 0.084 + ZI (1 + 0.012PI) \right)^2 - 4 \times 0.084 ZI (1 + 0.012PI) \right)} \right\}$$

où :

ZB : zinc biodisponible (mmol/j),

Phyl : apport quotidien en phytates (mmol/j),

CI : apport en calcium (mmol/j),

ZI : apport en zinc (mmol/j),

PI : apport en protéines (g/j).

Fer biodisponible

La biodisponibilité du fer a été estimée en tenant compte du fer héminique et non héminique (318). Le taux d'absorption du fer héminique a été calculé selon la formule suivante (319) :

$$\text{Log (Absorption \%)} = 1.9897 - 0.3092 \times \log (FS)$$

où **FS** représente la ferritine sérique (en µg/L). Une situation contraignante a été considérée en fixant la ferritine sérique à 15 µg/L.

L'absorption du fer non héminique a été estimée selon la formule suivante (320) :

$$\text{Ln (\%)} = 6.294 - 0.709 \ln (FS) + 0.119 \ln (\text{VitCI}) + 0.006 \ln (\text{MFP} + 0.1) - 0.055 \ln (T + 0.1) - 0.247 \ln (\text{Phyl}) - 0.137 \ln (\text{Cal}) - 0.083 \ln (\text{NHI})$$

où :

FS : ferritine sérique (µg/L), fixée à 15 µg/L,

VitCI : apport en vitamine C (mg),

MFP : consommation de viande, poisson et volaille (g),

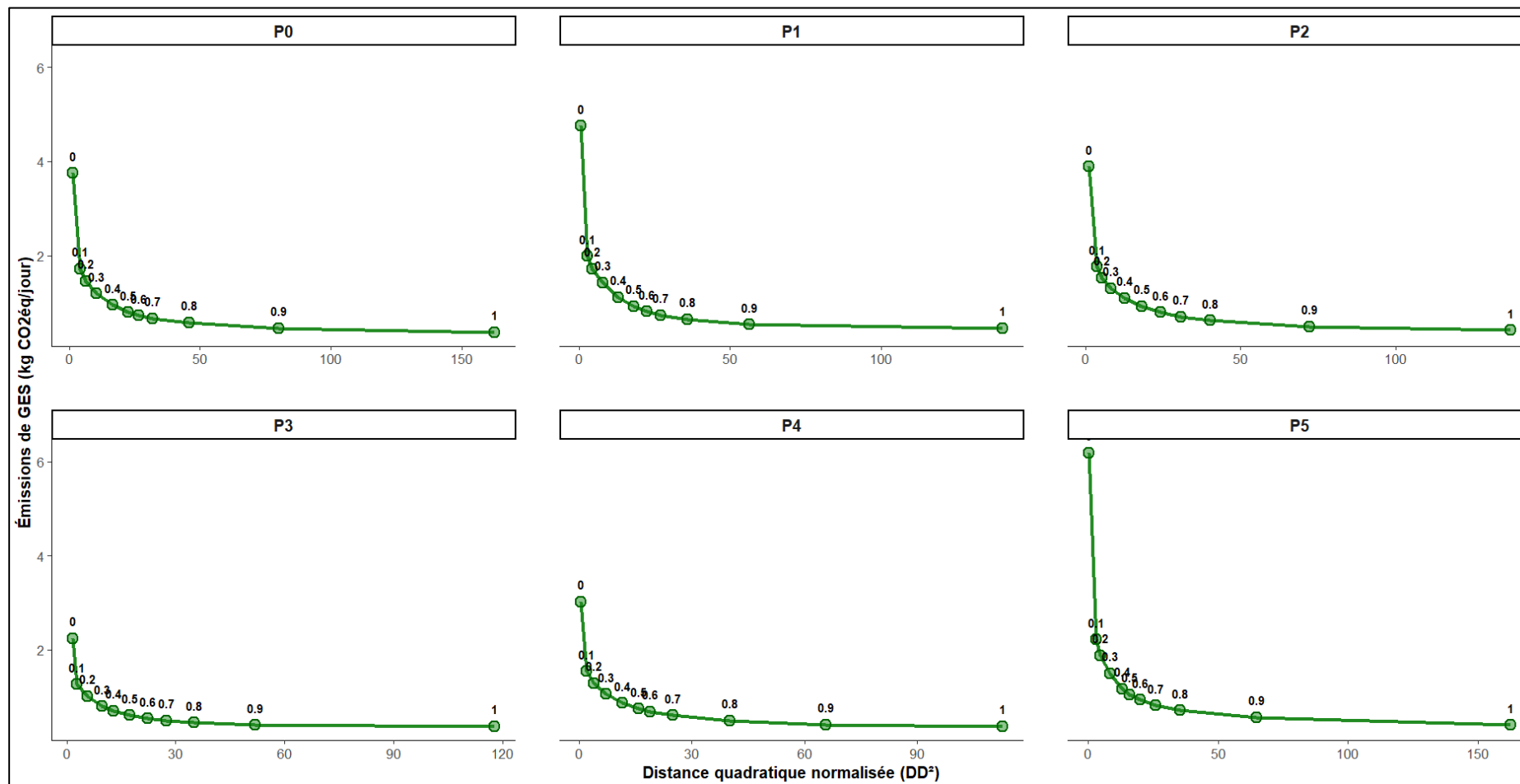
T : consommation de thé (nombre de tasses),

Phyl : apport en phytates (mg),

Cal : apport en calcium (mg),

NHI : apport en fer non héminique (mg).

Annexe 18 : Front de Pareto (GES vs DD²) selon les scénarios par profil



Abréviations : GES, Gaz à effet de serre ; P0 à P5 désignent les profils alimentaires 0 à 5.

¹ Les valeurs inscrites sur les points indiquent les pondérations λ appliquées dans l'optimisation multicritère.

² Les points correspondent aux valeurs optimisées finales pour différents niveaux de pondération de l'objectif environnemental (λ). Ces valeurs correspondent aux moyennes pondérées, calculées à partir d'optimisations menées séparément par profil et par sexe, en tenant compte d'un individu moyen (50 % ménopausées / 50 % non ménopausées pour les femmes) et des effectifs réels (hommes/femmes) observés par profil.

Annexe 19 : Emissions de GES selon les scénarios par profil¹**Profil P0**

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Emissions GES totales (Kg CO₂eq/j)	3,3926	3,7512	1,7159	1,461	1,1884	0,9508	0,7965	0,7255	0,6667	0,5731	0,4528	0,3685
Abats	0,0435	0,0473	0,0275	0,0153	0,0141	0,0155	0,0135	0,0167	0,0247	0,0362	0,0354	0,0032
Boissons alcoolisées	0,0192	0,0198	0,0172	0,0164	0,0154	0,0138	0,0118	0,0094	0,0075	0,0018	0	0
Boissons chaudes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boissons sucrées	0,0009	0,0009	0,0006	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0008	0,0008	0,001	0,0013	0,0053
Céréales raffinées	0,0695	0,0668	0,0605	0,0615	0,0622	0,0605	0,0534	0,0426	0,0369	0,0307	0,0246	0,0119
Fruits	0,0723	0,0771	0,0717	0,0691	0,066	0,0611	0,054	0,0424	0,0323	0,0137	0,0023	0
Fruits à coque	0,008	0,0095	0,0077	0,0079	0,008	0,0084	0,0088	0,0091	0,01	0,0115	0,0135	0,0143
Huiles	0,0734	0,0714	0,0473	0,046	0,0444	0,0399	0,0335	0,0266	0,0229	0,0222	0,0294	0,0336
Jus de fruits	0,0143	0,0147	0,0055	0,0055	0,0055	0,0054	0,0053	0,0051	0,0068	0,0114	0,0119	0,0076
Lait	0,031	0,0582	0,0559	0,0597	0,0617	0,0528	0,0427	0,0362	0,026	0	0	0
Légumes	0,1691	0,1574	0,089	0,0938	0,1028	0,1108	0,1193	0,1209	0,1173	0,1105	0,111	0,133
Légumineuses	0,0028	0,0029	0,003	0,003	0,0031	0,0032	0,0032	0,0032	0,0034	0,0037	0,0044	0,0098
MG animales	0,0103	0,0103	0,0093	0,009	0,0087	0,0083	0,0077	0,0067	0,0053	0,0022	0	0
Œufs	0,028	0,0315	0,0315	0,0311	0,0308	0,0306	0,0294	0,0258	0,0192	0,0073	0	0
PGSS	0,107	0,114	0,1077	0,1046	0,1005	0,0939	0,0817	0,0683	0,0653	0,0621	0,0405	0
Poissons	0,0921	0,1166	0,1281	0,1284	0,1293	0,1326	0,1295	0,1193	0,101	0,0683	0,0317	0,0376
Pommes de terre	0,0696	0,0696	0,0598	0,0475	0,0316	0,0107	0	0	0	0	0	0
Porc	0,1112	0,122	0,1041	0,0792	0,0469	0,0083	0	0	0	0	0	0
PPC	0,195	0,2019	0,1605	0,1126	0,0822	0,0525	0,0073	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	0,0232	0,0283	0,0271	0,0322	0,0381	0,0435	0,0476	0,05	0,055	0,0648	0,0692	0,0708
Produits laitiers	0,4217	0,5241	0,4048	0,3035	0,1822	0,1414	0,1338	0,1303	0,1224	0,1153	0,0623	0,0189
Substituts végétaux	0,0058	0,0103	0,0111	0,0115	0,0121	0,0127	0,0133	0,0121	0,0099	0,0104	0,0153	0,0225
Viande de ruminants	1,5089	1,6678	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	0,1931	0,1733	0,1428	0,1079	0,0639	0,0103	0	0	0	0	0	0
Volaille	0,1227	0,1555	0,1432	0,1147	0,0782	0,0339	0	0	0	0	0	0

Profil P1

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Emissions GES totales	4,5336	4,7566	1,9882	1,7204	1,4242	1,1159	0,9244	0,8111	0,7327	0,643	0,5349	0,4526
Abats	0,0763	0,0767	0,0535	0,0223	0,0311	0,0399	0,0385	0,0363	0,0375	0,0494	0,0518	0,0418
Boissons alcoolisées	0,0898	0,0929	0,08	0,0743	0,0666	0,0581	0,0506	0,0368	0,0248	0,0059	0	0
Boissons chaudes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boissons sucrées	0,001	0,0011	0,0008	0,0009	0,0011	0,001	0,0011	0,0012	0,0015	0,0019	0,0027	0,0094
Céréales raffinées	0,0619	0,06	0,0547	0,0563	0,0566	0,0569	0,0576	0,0564	0,0487	0,04	0,0331	0,0238
Fruits	0,065	0,0671	0,0625	0,0609	0,0597	0,0582	0,0557	0,0509	0,0445	0,0322	0,0057	0,0027
Fruits à coque	0,006	0,0065	0,0054	0,0057	0,006	0,0065	0,0071	0,0076	0,0089	0,0111	0,0135	0,0127
Huiles	0,0713	0,0665	0,0461	0,0445	0,0418	0,0393	0,0385	0,0362	0,0336	0,031	0,0365	0,0644
Jus de fruits	0,026	0,0257	0,01	0,01	0,0102	0,0104	0,0108	0,0111	0,0119	0,0132	0,0166	0,0125
Lait	0,0256	0,0535	0,0512	0,0563	0,064	0,0675	0,0541	0,0359	0,02	0	0	0
Légumes	0,1661	0,176	0,0867	0,0892	0,0968	0,1051	0,1109	0,1181	0,121	0,1151	0,125	0,1468
Légumineuses	0,0024	0,0024	0,0024	0,0025	0,0025	0,0026	0,0027	0,0027	0,0028	0,003	0,0032	0,0016
MG animales	0,0093	0,0093	0,0084	0,0082	0,0081	0,0079	0,0076	0,0071	0,0061	0,0041	0	0
Œufs	0,0252	0,0258	0,0261	0,026	0,0262	0,0265	0,026	0,0247	0,0226	0,0173	0,0009	0
PGSS	0,1216	0,1263	0,1209	0,1186	0,1157	0,112	0,1074	0,1005	0,0963	0,101	0,0931	0,0025
Poissons	0,1098	0,1114	0,124	0,1251	0,1285	0,1317	0,1282	0,1117	0,0935	0,0671	0,0416	0,0339
Pommes de terre	0,0879	0,0881	0,0793	0,0686	0,0542	0,0354	0,0096	0	0	0	0	0
Porc	0,1716	0,1771	0,1533	0,1212	0,0802	0,0401	0	0	0	0	0	0
PPC	0,2044	0,2166	0,1812	0,1326	0,0709	0,0195	0,006	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	0,026	0,0288	0,0282	0,0339	0,0396	0,0462	0,0522	0,0584	0,0633	0,069	0,0767	0,0833
Produits laitiers	0,4189	0,5699	0,4549	0,3638	0,2474	0,1342	0,105	0,0937	0,0856	0,079	0,031	0,0114
Substituts végétaux	0,0078	0,0152	0,0222	0,0234	0,0273	0,0313	0,0306	0,0218	0,0101	0,0027	0,0035	0,0058
Viande de ruminants	2,3682	2,3838	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	0,2693	0,248	0,2167	0,1734	0,1068	0,0303	0,0071	0	0	0	0	0
Volaille	0,1222	0,1279	0,1197	0,1027	0,0829	0,0553	0,0171	0	0	0	0	0

Profil P2

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Emissions GES totales	3,5378	3,8902	1,7625	1,5294	1,306	1,0913	0,9222	0,791	0,7023	0,623	0,4945	0,4149
Abats	0,0376	0,0419	0,0272	0,0239	0,0277	0,0305	0,0274	0,0207	0,0227	0,0285	0,03	0,0051
Boissons alcoolisées	0,0138	0,0139	0,0121	0,0119	0,0116	0,0111	0,0102	0,0087	0,0066	0,0023	0	0
Boissons chaudes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boissons sucrées	0,0032	0,0036	0,0026	0,0028	0,003	0,0033	0,0038	0,0044	0,0052	0,0069	0,0115	0,016
Céréales raffinées	0,0633	0,0645	0,0603	0,0624	0,0633	0,064	0,0628	0,0583	0,0495	0,0505	0,0509	0,0348
Fruits	0,0769	0,0766	0,0713	0,0682	0,0641	0,0587	0,052	0,043	0,0259	0,0125	0,0028	0
Fruits à coque	0,0075	0,0086	0,007	0,007	0,0073	0,0078	0,0083	0,0088	0,0091	0,0102	0,0127	0,0145
Huiles	0,0454	0,0445	0,0312	0,0315	0,0311	0,0296	0,0276	0,0249	0,0217	0,0186	0,0146	0,0246
Jus de fruits	0,0364	0,0331	0,0121	0,0119	0,0116	0,0113	0,0113	0,0119	0,0125	0,0142	0,0155	0,0028
Lait	0,1535	0,1783	0,1068	0,117	0,1179	0,0996	0,0746	0,0282	0	0	0	0
Légumes	0,1319	0,1241	0,0655	0,0695	0,0752	0,0814	0,089	0,1004	0,107	0,1062	0,1104	0,1401
Légumineuses	0,002	0,002	0,002	0,0021	0,0021	0,0022	0,0023	0,0023	0,0024	0,0024	0,0028	0,0085
MG animales	0,0086	0,0086	0,0077	0,0076	0,0075	0,0074	0,0071	0,0067	0,0059	0,0044	0,001	0
Œufs	0,0244	0,0267	0,0275	0,0274	0,0277	0,028	0,0275	0,0261	0,0226	0,0149	0	0
PGSS	0,1616	0,1673	0,1588	0,1538	0,1493	0,143	0,1298	0,117	0,0961	0,0837	0,0471	0
Poissons	0,0803	0,1145	0,134	0,137	0,1415	0,1456	0,1432	0,1258	0,1027	0,0772	0,0445	0,0569
Pommes de terre	0,0589	0,0593	0,055	0,0491	0,0418	0,032	0,0177	0	0	0	0	0
Porc	0,1047	0,1179	0,1057	0,0834	0,0555	0,0177	0	0	0	0	0	0
PPC	0,2377	0,2457	0,2011	0,1477	0,1009	0,0687	0,0211	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	0,0187	0,0225	0,0212	0,0245	0,0274	0,0308	0,0341	0,0382	0,0435	0,0465	0,0487	0,0529
Produits laitiers	0,4892	0,5059	0,3229	0,2155	0,1458	0,1348	0,138	0,1536	0,1561	0,1301	0,0839	0,04
Substituts végétaux	0,0051	0,0064	0,0074	0,0082	0,0089	0,0099	0,011	0,012	0,0128	0,0139	0,0181	0,0187
Viande de ruminants	1,4673	1,6807	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	0,2011	0,2045	0,1851	0,1468	0,0854	0,0033	0	0	0	0	0	0
Volaille	0,1087	0,1391	0,138	0,1202	0,0994	0,0706	0,0234	0	0	0	0	0

Profil P3

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Emissions GES totales	1,9505	2,2404	1,2684	1,0125	0,801	0,7004	0,6077	0,5382	0,4922	0,4499	0,4007	0,3717
Abats	0,0207	0,0211	0,0099	0,0055	0,0045	0,0039	0,0029	0	0	0	0	0
Boissons alcoolisées	0,0118	0,0118	0,0101	0,0097	0,0092	0,0087	0,008	0,0066	0,0048	0,0013	0	0
Boissons chaudes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boissons sucrées	0,0006	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0007	0,0009	0,0042
Céréales raffinées	0,0482	0,0489	0,0411	0,0373	0,0323	0,028	0,0268	0,0259	0,0247	0,0232	0,012	0,0033
Fruits	0,095	0,111	0,0956	0,0804	0,0642	0,0551	0,0425	0,0309	0,0216	0,0084	0,0046	0
Fruits à coque	0,0238	0,0111	0,0101	0,0103	0,0098	0,0095	0,0091	0,0086	0,0083	0,0074	0,005	0,0021
Huiles	0,0951	0,1057	0,0638	0,0602	0,056	0,054	0,0528	0,0495	0,0492	0,0547	0,07	0,0469
Jus de fruits	0,0086	0,0085	0,0033	0,0032	0,0032	0,0032	0,0033	0,0038	0,0058	0,0088	0,011	0,0226
Lait	0,0116	0,0186	0,0181	0,0208	0,0236	0,023	0,0212	0,0169	0,0091	0	0	0
Légumes	0,2803	0,3947	0,1997	0,2093	0,2115	0,1923	0,1627	0,1368	0,1275	0,1245	0,1128	0,1113
Légumineuses	0,0077	0,0082	0,0085	0,0087	0,0089	0,0093	0,0097	0,0103	0,0114	0,014	0,0204	0,0344
MG animales	0,0098	0,0094	0,0081	0,0074	0,0065	0,0054	0,0039	0,0015	0,0007	0,0003	0	0
Œufs	0,0408	0,0425	0,0385	0,0339	0,0275	0,017	0,0047	0,0029	0	0	0	0
PGSS	0,0653	0,0637	0,0568	0,0522	0,0461	0,044	0,0414	0,0375	0,0323	0,0253	0,0038	0
Poissons	0,09	0,1052	0,0973	0,0934	0,0905	0,0788	0,0602	0,0479	0,0436	0,0386	0,032	0,0317
Pommes de terre	0,0474	0,0458	0,0374	0,0277	0,0151	0,0051	0,0018	0	0	0	0	0
Porc	0,0296	0,0299	0,0217	0,0117	0,0027	0	0	0	0	0	0	0
PPC	0,1286	0,1346	0,0982	0,0536	0,0114	0,0061	0	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	0,0493	0,0566	0,0487	0,0502	0,0502	0,0484	0,0502	0,0586	0,0651	0,0667	0,0682	0,0818
Produits laitiers	0,2529	0,3327	0,2354	0,1441	0,08	0,0691	0,0669	0,0613	0,0524	0,0442	0,0289	0,0023
Substituts végétaux	0,0624	0,0859	0,0705	0,0567	0,0411	0,0377	0,0392	0,0387	0,0352	0,0318	0,0311	0,0311
Viande de ruminants	0,4342	0,4514	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	0,0669	0,0676	0,0499	0,0293	0,0063	0,0014	0	0	0	0	0	0
Volaille	0,0699	0,0749	0,0453	0,0065	0	0	0	0	0	0	0	0

Profil P4

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Emissions GES totales	2,8631	3,0187	1,5437	1,2944	1,0566	0,8677	0,7456	0,682	0,6083	0,4988	0,4077	0,3692
Abats	0,0445	0,0458	0,0267	0,0019	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001	0,0004	0,0088	0	0
Boissons alcoolisées	0,0141	0,014	0,0122	0,012	0,0115	0,0107	0,0094	0,0091	0,0078	0,0048	0,0009	0
Boissons chaudes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boissons sucrées	0,0006	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0007	0,001	0,0044
Céréales raffinées	0,0427	0,0432	0,0381	0,0379	0,0373	0,0366	0,0331	0,0302	0,0241	0,0192	0,0039	0
Fruits	0,1194	0,1248	0,1132	0,1076	0,0986	0,0834	0,0591	0,0439	0,0279	0,0077	0,0042	0
Fruits à coque	0,0156	0,013	0,0109	0,0113	0,0116	0,0119	0,0119	0,0119	0,0123	0,0125	0,0119	0,0097
Huiles	0,0811	0,0893	0,0578	0,0607	0,0625	0,0591	0,0537	0,0499	0,0486	0,0548	0,0729	0,0693
Jus de fruits	0,0131	0,0127	0,0048	0,0048	0,0048	0,0046	0,0044	0,005	0,007	0,0087	0,0089	0,0082
Lait	0,039	0,0418	0,0363	0,0387	0,0407	0,0295	0,0232	0,0156	0	0	0	0
Légumes	0,2366	0,2458	0,1229	0,1273	0,1322	0,1315	0,1351	0,1375	0,1406	0,1349	0,1387	0,1323
Légumineuses	0,0032	0,0033	0,0033	0,0034	0,0035	0,0035	0,0035	0,0036	0,0037	0,0039	0,0042	0,0064
MG animales	0,0092	0,009	0,0078	0,0076	0,0071	0,0065	0,0057	0,0048	0,003	0,0004	0,0001	0
Œufs	0,0364	0,0371	0,0361	0,0345	0,0327	0,0301	0,0263	0,0211	0,0105	0	0	0
PGSS	0,0791	0,078	0,0717	0,0694	0,0658	0,0602	0,0505	0,0513	0,0491	0,0408	0,0172	0
Poissons	0,1283	0,1474	0,1519	0,1466	0,1393	0,1317	0,1199	0,1058	0,0879	0,0444	0,0311	0,0306
Pommes de terre	0,0477	0,0465	0,0419	0,0363	0,0291	0,0196	0,0061	0,0011	0	0	0	0
Porc	0,0705	0,0722	0,0608	0,0465	0,028	0,0041	0,0007	0	0	0	0	0
PPC	0,1304	0,1321	0,1095	0,0814	0,0602	0,0359	0,0027	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	0,0352	0,0396	0,0356	0,0411	0,0475	0,0539	0,0581	0,0597	0,0633	0,0747	0,0779	0,0858
Produits laitiers	0,4823	0,5338	0,3836	0,26	0,1469	0,1368	0,1299	0,1207	0,1105	0,0692	0,0171	0
Substituts végétaux	0,0115	0,0127	0,0127	0,0129	0,0131	0,0129	0,0116	0,0102	0,0111	0,0133	0,0177	0,0225
Viande de ruminants	0,9873	1,0304	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	0,13	0,1334	0,1084	0,0784	0,0402	0,0023	0	0	0	0	0	0
Volaille	0,1053	0,1122	0,0971	0,0737	0,0435	0,0022	0	0	0	0	0	0

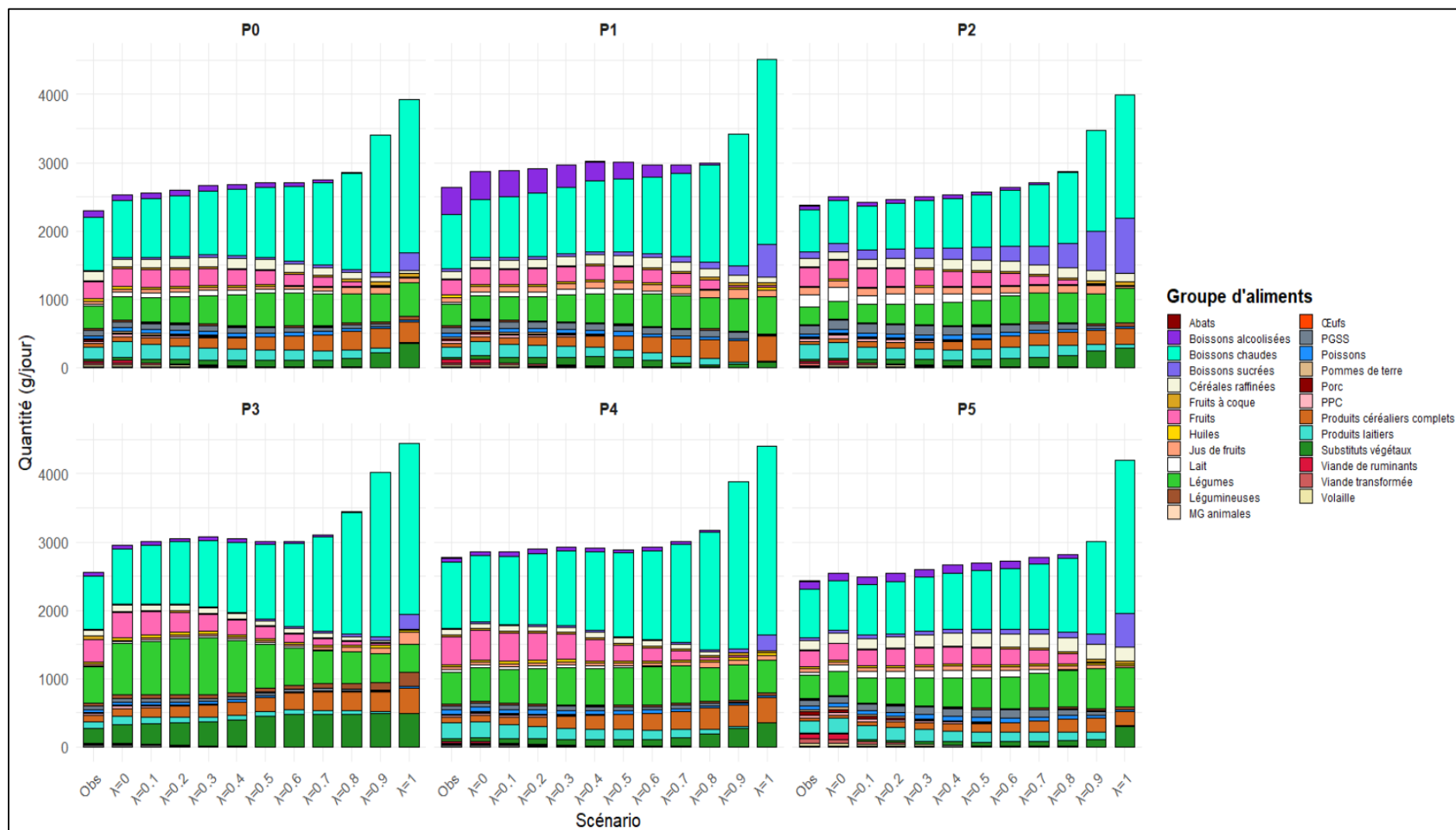
Profil P5

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Emissions GES totales	6,0692	6,1872	2,215	1,8789	1,4941	1,1739	1,0459	0,9348	0,8162	0,7099	0,5689	0,4022
Abats	0,0898	0,0899	0,0608	0,028	0,0173	0,0208	0,0181	0,015	0,0095	0,0129	0	0,0017
Boissons alcoolisées	0,0248	0,0248	0,0223	0,0229	0,0235	0,0237	0,0226	0,021	0,0177	0,0114	0	0
Boissons chaudes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boissons sucrées	0,0013	0,0013	0,0009	0,0009	0,0011	0,0012	0,0012	0,0013	0,0014	0,0016	0,0031	0,0098
Céréales raffinées	0,0806	0,0799	0,0714	0,0749	0,0791	0,0813	0,0793	0,0745	0,0642	0,0634	0,0645	0,0626
Fruits	0,067	0,0673	0,0639	0,0646	0,0655	0,0653	0,0631	0,0595	0,0526	0,0361	0,003	0
Fruits à coque	0,0057	0,0059	0,005	0,0054	0,006	0,0066	0,0069	0,0074	0,008	0,0086	0,0125	0,0127
Huiles	0,0606	0,0588	0,0413	0,0426	0,0443	0,0448	0,0441	0,0429	0,0401	0,0344	0,0295	0,0359
Jus de fruits	0,0163	0,0155	0,0062	0,0064	0,0067	0,0069	0,007	0,0071	0,0072	0,0071	0,007	0,0026
Lait	0,0449	0,0762	0,0793	0,0826	0,0856	0,0903	0,0833	0,0717	0,048	0,0142	0	0
Légumes	0,1794	0,183	0,0925	0,0952	0,1003	0,1065	0,1105	0,116	0,1267	0,1337	0,1477	0,1539
Légumineuses	0,003	0,0031	0,0032	0,0033	0,0034	0,0036	0,0038	0,0039	0,0041	0,0043	0,0046	0,0061
MG animales	0,0098	0,0098	0,0089	0,0089	0,0088	0,0087	0,0085	0,0081	0,0074	0,0059	0,0027	0
Œufs	0,031	0,0316	0,0316	0,0328	0,0344	0,0353	0,0345	0,0323	0,0283	0,0188	0	0
PGSS	0,1179	0,1205	0,1173	0,1236	0,1316	0,1363	0,1328	0,1256	0,1096	0,0936	0,0657	0
Poissons	0,1232	0,1235	0,1242	0,1383	0,1558	0,1687	0,1691	0,1551	0,1291	0,0981	0,0722	0,0326
Pommes de terre	0,1055	0,1057	0,0862	0,0649	0,037	0,0214	0,0141	0,0032	0	0	0	0
Porc	0,3024	0,3037	0,2369	0,1779	0,1008	0	0	0	0	0	0	0
PPC	0,2403	0,2497	0,2146	0,1738	0,126	0,1027	0,0735	0,0264	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	0,0215	0,0222	0,0198	0,0229	0,0265	0,0298	0,0311	0,0324	0,0369	0,045	0,0454	0,0499
Produits laitiers	0,4528	0,5541	0,4715	0,3895	0,2859	0,1657	0,1354	0,1239	0,1175	0,113	0,1013	0,0153
Substituts végétaux	0,006	0,0054	0,0055	0,006	0,0067	0,0072	0,007	0,0075	0,0079	0,0078	0,0097	0,0191
Viande de ruminants	3,428	3,4083	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	0,3983	0,3925	0,2788	0,174	0,0544	0	0	0	0	0	0	0
Volaille	0,2591	0,2545	0,1729	0,1395	0,0934	0,0471	0	0	0	0	0	0

Abréviations : GES, Gaz à effet de serre ; PGSS, produits gras sucrés et/ou salés ; PPC, plats préparés ou composés.

¹ Les valeurs correspondent aux moyennes pondérées, calculées à partir d'optimisations menées séparément par profil et par sexe, en tenant compte d'un individu moyen (50 % ménopausées / 50 % non ménopausées pour les femmes) et des effectifs réels (hommes/femmes) observés par profil.

Annexe 20 : Consommations alimentaires (g/jour) optimisées dans les profils de trajectoires alimentaires^{1,2}



Les groupes d'aliments sont définis comme suit : la viande de ruminants comprend le bœuf et l'agneau ; les produits laitiers incluent les yaourts, fromages frais et fromages affinés ; les substituts végétaux comprennent le tofu, les substituts de viande à base de soja et les galettes végétales, les yaourts et boissons à base de soja ; les légumes

Annexes

incluent tous les légumes ainsi que les soupes ; les fruits comprennent les fruits frais, les fruits au sirop et en compote, les fruits secs et les graines ; les poissons incluent les poissons gras et maigres, les mollusques et les crustacés ; les pommes de terre incluent les autres tubercules ; les céréales raffinées comprennent les céréales de petit-déjeuner peu sucrées, le pain, la semoule, le riz et les pâtes ; les produits gras sucrés, salés et (PGSS) incluent les croissants, viennoiseries, chocolat, biscuits, desserts lactés, glaces, miel et confiture, gâteaux, chips, oléagineux salés, biscuits salés ; les plats préparés/composés (PPC) incluent les sandwiches et les plats préparés tels que pizzas, hamburgers, raviolis, paninis, crêpes salées, etc. ; les huiles incluent les huiles d'origine végétale et les assaisonnements prêts à l'emploi comme les vinaigrettes, sauces à base de mayonnaise ou de crème, crème aigre et toutes les sauces grasses ; les boissons sucrées incluent les nectars de fruits, sirops, sodas (avec ou sans sucre), et boissons végétales.

¹ Abréviations : PGSS, produits gras sucrés et/ou salés ; PPC, plats préparés ou composés.

² Pour chacun des 25 groupes d'aliments, les valeurs présentées correspondent aux moyennes pondérées, calculées à partir d'optimisations menées séparément par profil et par sexe, en tenant compte d'un individu moyen (50 % ménopausées / 50 % non ménopausées pour les femmes) et des effectifs réels (hommes/femmes) observés par profil.

Annexe 21 : Consommations alimentaires (g/jour) selon les scénarios par profil¹**Profil P0**

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	1,52	1,65	0,96	0,54	0,49	0,54	0,47	0,59	0,86	1,27	1,24	0,11
Boissons alcoolisées	84,66	87,15	84,47	80,74	75,69	68,26	57,82	46,48	37,07	8,95	0	0
Boissons chaudes	778,96	826,69	858,89	894,06	934,23	974,34	1028,12	1100,01	1200,61	1406,28	2007,19	2241,58
Boissons sucrées	26,7	28,8	30,08	30,97	32,04	33,32	34,92	36,92	41,13	49,23	67,77	266,97
Céréales raffinées	126,33	119,58	127,66	136,73	146,04	150,15	141,98	126,57	115,19	92,89	73	41,35
Fruits	255,08	272,61	267,84	258,55	248,25	231,6	207,88	168,27	134,55	70,11	15,41	0
Fruits à coque	13,21	16,48	17,99	18,69	19,44	21,25	23,19	25,05	28,84	35,62	47,58	53,37
Huiles	30,5	30,37	29,7	28,72	27,43	25,11	21,37	16,95	14,02	12,69	15,34	17,77
Jus de fruits	42,43	45,25	44,94	44,82	45,03	44,19	43,11	41,9	55,52	93,4	97,36	61,65
Lait	35,3	66,9	69,48	74,29	76,82	65,66	53,11	45,02	32,31	0	0	0
Légumes	330,35	347,69	359,5	380,7	418,6	452,09	485,56	489,85	470,58	432,54	415,52	489,75
Légumineuses	16,52	17,03	17,53	17,96	18,45	18,85	19,16	19,54	20,39	21,86	26,09	58,92
MG animales	3,71	3,76	3,67	3,56	3,44	3,29	3,06	2,67	2,08	0,86	0	0
Œufs	14,25	15,78	16,09	15,88	15,73	15,63	15	13,16	9,81	3,74	0	0
PGSS	80,83	88,53	88,46	87,02	85,3	81,73	75,11	66,9	65,15	62,53	40,8	0
Poissons	40,26	50,62	55,54	55,79	56,21	57,68	56,48	52,46	45,38	32,82	20,36	24,97
Pommes de terre	23,25	23,16	20	15,89	10,55	3,57	0	0	0	0	0	0
Porc	15,86	17,11	14,85	11,29	6,69	1,18	0	0	0	0	0	0
PPC	38,16	39,42	34,33	27,83	21,82	13,93	1,94	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	53,36	68,92	93,84	116,43	142,69	168,22	190,07	207,31	230,61	270,52	286,92	297,84
Produits laitiers	173,94	231,81	216,83	201,12	178,92	158,22	150,65	146,71	137,78	129,8	70,13	21,22
Substituts végétaux	26,81	49,71	60,54	66,01	73,48	83,28	93,4	97,73	102,1	129,29	217,37	350
Viande de ruminants	31,67	34,89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	27,73	24,41	20,53	15,56	9,3	1,53	0	0	0	0	0	0
Volaille	20,21	25,22	23,56	18,89	12,88	5,58	0	0	0	0	0	0

Profil P1

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	2,67	2,68	1,87	0,78	1,09	1,4	1,35	1,27	1,31	1,73	1,81	1,46
Boissons alcoolisées	394,63	410,27	393,99	366,14	327,97	286,43	249,55	181,49	122,29	28,82	0	0
Boissons chaudes	793,7	848,72	881,01	921,22	973,63	1028,55	1065,58	1119,01	1219,05	1426,34	1924,7	2712,31
Boissons sucrées	34,42	37,36	40,68	43,17	46,5	51,24	56,01	61,51	73,2	94,47	138,77	479,86
Céréales raffinées	114,09	111,55	120,12	128,61	132,63	138,46	146,49	152,72	144,36	130,23	107,09	75,13
Fruits	226,09	231,32	229,75	224,25	220,24	215,29	208,32	193,87	174,51	134,1	30,54	18,12
Fruits à coque	10,18	11,25	12,66	13,61	15,03	16,83	18,88	21,23	26,09	34,53	45,34	47,48
Huiles	30,23	29,08	29,22	28,52	27,01	25,74	25,45	24,36	22,75	20,96	23,65	42,57
Jus de fruits	77,08	81,45	81,63	81,63	83,22	85,3	87,57	90,12	97,21	107,8	135,5	102,3
Lait	29,22	61,71	63,68	70,04	79,63	84,04	67,33	44,77	24,83	0	0	0
Légumes	317,25	339,09	347,3	358,62	389,18	422,62	446,11	475,14	483,73	454,44	477,96	540,53
Légumineuses	14,19	14,38	14,66	14,91	15,16	15,49	15,83	16,18	16,72	17,63	19,36	9,31
MG animales	3,35	3,39	3,33	3,26	3,2	3,12	3	2,79	2,43	1,64	0	0
Œufs	12,84	13,11	13,33	13,26	13,4	13,5	13,29	12,63	11,52	8,8	0,49	0
PGSS	86,67	91,98	93,13	92,6	92,93	93,42	93,45	91,63	94,21	99,99	93,82	2,49
Poissons	48,57	49,31	54,71	55,28	56,77	58,2	56,79	50	42,79	32,88	24,66	24,64
Pommes de terre	29,38	29,23	26,51	22,93	18,13	11,84	3,21	0	0	0	0	0
Porc	24,47	24,59	21,86	17,29	11,44	5,71	0	0	0	0	0	0
PPC	42,78	44,91	39,2	30,51	18,83	5,17	1,59	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	59,99	69,78	95,6	119,71	144,15	173,08	200,12	229,15	253,58	283,54	314,26	358,35
Produits laitiers	146,15	201,51	186,75	173,36	157,32	137,12	116,56	104,62	96,31	88,91	34,91	12,78
Substituts végétaux	28,65	56,52	88,41	94,29	111,1	129,28	129,01	97,61	55	32,22	46,54	85,53
Viande de ruminants	49,7	49,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	39,02	35,51	31,33	25,02	15,29	4,14	0,94	0	0	0	0	0
Volaille	20,12	20,51	19,71	16,91	13,65	9,11	2,82	0	0	0	0	0

Profil P2

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	1,32	1,46	0,95	0,84	0,97	1,07	0,96	0,72	0,79	1	1,05	0,18
Boissons alcoolisées	60,88	61,4	59,65	58,35	57,09	54,68	50,26	43,1	32,28	11,49	0	0
Boissons chaudes	614,53	628,87	644,13	664,39	688,71	719,54	760,5	818,81	901,21	1040,93	1471,65	1796,91
Boissons sucrées	101,45	116,17	132,57	141,27	152,56	169,01	191,85	223,04	263,81	349,76	581,92	810,78
Céréales raffinées	115,8	116,75	128,67	137,91	144,16	150,49	154,42	154,77	147,87	149,94	146,87	121,36
Fruits	272,14	272,08	268,09	257,33	243,17	225,15	203,79	175,21	119,02	63,89	18,68	0
Fruits à coque	11,93	14,45	15,89	16,34	17,69	19,84	21,96	23,87	26,08	30,74	44,37	54,26
Huiles	20,35	20,48	20,41	20,41	20,16	19,51	18,47	16,84	14,61	12,1	8,6	15,63
Jus de fruits	107,95	100,79	99	97,16	94,47	92,23	92,57	97,22	101,8	116,2	126,83	22,65
Lait	174,98	204,5	132,86	145,49	146,77	123,92	92,79	35,12	0	0	0	0
Légumes	259,96	261,02	267,89	285,62	309,03	334,63	365,69	411,85	437,62	431,56	437,71	515,85
Légumineuses	11,84	12,08	12,34	12,59	12,86	13,14	13,44	13,76	14,1	14,78	17,1	50,83
MG animales	3,11	3,12	3,08	3,02	2,98	2,92	2,82	2,66	2,36	1,74	0,39	0
Œufs	12,47	13,58	14	13,97	14,11	14,24	14,06	13,31	11,52	7,6	0	0
PGSS	125,8	131,4	132,05	129,89	128,92	127,12	121,43	112,67	95,06	84,33	47,47	0
Poissons	34,99	49,43	57,7	59,04	60,94	62,72	61,77	54,52	45,05	35,1	23,17	31,48
Pommes de terre	19,69	19,79	18,39	16,43	13,96	10,71	5,93	0	0	0	0	0
Porc	14,93	16,65	15,07	11,9	7,92	2,52	0	0	0	0	0	0
PPC	44,17	46,07	41,18	34,23	26,5	18,24	5,6	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	43,58	55,72	73,91	88,15	102,13	118,36	136,35	157,01	179,93	194,2	203,64	231,38
Produits laitiers	216,49	232,71	184,64	168,98	154,6	150,18	154,73	172,44	175,37	146,47	94,4	44,98
Substituts végétaux	25,79	38,26	52,39	60,78	71,37	84,9	100,28	116,77	137,04	172,21	249,8	289,89
Viande de ruminants	30,8	35,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	28,85	28,78	26,58	21,1	12,29	0,49	0	0	0	0	0	0
Volaille	17,9	22,73	22,72	19,78	16,35	11,63	3,85	0	0	0	0	0

Profil P3

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	0,72	0,74	0,35	0,19	0,16	0,13	0,1	0	0	0	0	0
Boissons alcoolisées	51,88	52,16	50,04	47,71	45,12	42,82	39,28	32,74	23,34	6,25	0	0
Boissons chaudes	775,89	809,99	855,42	911,41	974,14	1028,94	1100,29	1210,26	1393,66	1788,7	2407,87	2503,82
Boissons sucrées	18,24	18,72	19,24	19,72	20,22	20,82	21,61	23,16	26,21	32,3	48,59	216,64
Céréales raffinées	85,13	86,43	84,01	80,69	75,98	72,74	72,22	69,73	65,69	60,98	28,94	11,41
Fruits	330,11	370,3	343,98	299,93	250,73	218,84	175,57	131,74	91,62	45,72	26,75	0
Fruits à coque	43,96	15,02	16,46	17,36	16,35	15,97	15,18	14,43	15,94	16,41	16,96	7,85
Huiles	35,14	36,48	34,36	32,11	29,73	28,45	27,62	25,42	24,94	27,7	35,45	23,71
Jus de fruits	25,63	26,33	26,4	26,32	26,26	26,38	26,41	31,44	47,4	71,83	89,88	184,13
Lait	13,18	21,32	22,59	25,92	29,35	28,68	26,35	21,01	11,37	0	0	0
Légumes	525,13	754,18	789,41	828,06	837,2	763,71	650,33	541,32	481,22	459,57	415,3	409,97
Légumineuses	46,23	48,68	50,38	52,1	53,56	55,49	58,14	61,46	68,02	83,47	121,92	205,35
MG animales	3,54	3,44	3,2	2,93	2,58	2,16	1,56	0,61	0,28	0,13	0	0
Œufs	20,79	21,62	19,66	17,31	14	8,69	2,41	1,47	0	0	0	0
PGSS	49,9	50,07	48,47	46,58	44,05	42,74	40,89	37,23	32,39	25,43	3,8	0
Poissons	39,12	45,57	42,33	40,8	39,8	35,1	27,69	22,99	21,83	20,96	20,29	23,17
Pommes de terre	15,83	15,12	12,51	9,26	5,07	1,7	0,59	0	0	0	0	0
Porc	4,22	4,24	3,08	1,67	0,38	0	0	0	0	0	0	0
PPC	28,44	29,78	22,53	13,55	3,02	1,62	0	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	95,71	118,42	137,19	156,72	174,39	188,39	209,89	244,1	270,62	278,04	285,99	374,67
Produits laitiers	96,36	120,63	104,13	86,82	80,05	77,54	75,15	68,87	58,97	49,76	32,49	2,58
Substituts végétaux	216,46	272,66	302,45	328,91	347,06	382,35	440,05	470,1	470,79	476,15	483,28	483,28
Viande de ruminants	9,11	9,47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	9,56	9,52	7,14	4,21	0,9	0,19	0	0	0	0	0	0
Volaille	11,49	12,13	7,45	1,08	0	0	0	0	0	0	0	0

Profil P4

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	1,56	1,6	0,93	0,07	0	0,01	0,01	0	0,01	0,31	0	0
Boissons alcoolisées	61,82	62,05	60,28	58,8	56,3	52,78	46,17	44,85	38,51	23,31	4,35	0
Boissons chaudes	963,51	967,68	1000,36	1043,38	1098,73	1155,32	1225,73	1301,34	1441,68	1720,98	2452,38	2764,34
Boissons sucrées	19,09	19,51	20,15	20,88	21,69	22,62	23,3	25,59	28,78	34,89	48,35	224,5
Céréales raffinées	77,68	79,04	79,99	81,22	81,8	82,27	77,87	75,81	66	49,28	11,64	0
Fruits	415,54	435,05	418,43	399,41	368,83	318,12	233,49	191,49	133,06	43,21	26,19	0
Fruits à coque	26,47	20,66	21,72	23,42	25,26	27,17	28,18	28,67	31,19	34,7	40,12	36,01
Huiles	30,83	32,42	32,13	33,36	33,93	31,75	28,52	26,17	24,9	27,89	36,96	35,04
Jus de fruits	38,94	39,49	39,11	39,26	38,96	37,75	35,87	40,88	57,54	71,26	72,77	66,29
Lait	44,45	47,96	45,18	48,11	50,59	36,66	28,87	19,41	0	0	0	0
Légumes	464,47	490,16	500,13	518,14	538,25	536,93	551,74	554,82	554,13	502,12	514,41	487,09
Légumineuses	19,23	19,44	19,77	20,17	20,62	21,01	21,14	21,71	22,32	23,38	25,08	38,57
MG animales	3,31	3,23	3,12	2,99	2,82	2,58	2,25	1,89	1,2	0,18	0,04	0
Œufs	18,55	18,77	18,38	17,6	16,63	15,36	13,4	10,74	5,34	0	0	0
PGSS	62,52	62,33	61,08	60,02	58,01	54,45	47,97	50,39	48,61	40,91	17,38	0
Poissons	56,49	64,64	66,72	64,94	62,48	59,83	55,3	50,29	44,25	28,43	25,73	28,93
Pommes de terre	15,93	15,53	14	12,14	9,71	6,56	2,01	0,36	0	0	0	0
Porc	10,05	10,18	8,67	6,64	3,99	0,59	0,1	0	0	0	0	0
PPC	28,16	28,49	24,91	20,36	15,6	9,37	0,72	0	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	78,73	92,75	114,64	139,72	168,75	199,14	223,8	239,36	260,9	309,44	320,69	370,04
Produits laitiers	223,67	233,58	206,06	183,61	163,35	153,77	146,2	135,88	124,28	77,9	19,32	0
Substituts végétaux	50,94	57,84	66,73	74,38	82,89	90,8	94,27	102,58	128,34	183,06	274,36	350,09
Viande de ruminants	20,72	21,49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	18,48	18,65	15,4	11,17	5,76	0,35	0	0	0	0	0	0
Volaille	17,33	18,37	15,98	12,13	7,15	0,37	0	0	0	0	0	0

Profil P5

Groupes d'aliments	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	3,14	3,13	2,13	0,98	0,61	0,73	0,63	0,52	0,33	0,45	0	0,06
Boissons alcoolisées	108,85	109,63	110,11	113	116,13	116,47	111,16	103,12	87,31	56,25	0	0
Boissons chaudes	711,24	730,48	748,3	767,89	791,6	822,58	854,4	896,72	963,72	1085,35	1352,06	2242,64
Boissons sucrées	41,63	42,46	44,76	48,56	53,34	57,83	61,54	66,27	72,85	81,43	156,5	501,36
Céréales raffinées	143,52	144,07	151,05	163,84	179,37	191,85	196,65	199,77	199,57	208,85	211,91	199,1
Fruits	236,74	237,81	238,47	242,16	247,3	248,01	241,29	229,71	207,12	150,26	19,62	0
Fruits à coque	9,32	9,62	10,53	12,18	14,24	16,18	17,76	19,68	22,17	24,99	41,59	47,31
Huiles	26,93	26,54	26,89	27,81	28,97	29,45	29,17	28,64	27,11	23,73	17,74	24,5
Jus de fruits	48,28	49,29	50,4	52,14	54,56	56,51	57,03	57,88	58,43	57,81	57,5	21,49
Lait	51,22	87,04	98,75	102,83	106,61	112,34	103,67	89,2	59,76	17,69	0	0
Légumes	338,13	357,46	368,25	379,51	400,98	426,18	442,86	465,06	508,28	536,39	596,98	582,3
Légumineuses	17,99	18,23	18,72	19,58	20,62	21,64	22,37	23,19	24,29	25,67	27,43	36,21
MG animales	3,54	3,55	3,53	3,51	3,5	3,46	3,36	3,21	2,95	2,35	1,08	0
Œufs	15,79	16,03	16,11	16,71	17,55	18,02	17,61	16,48	14,44	9,6	0	0
PGSS	86,73	89,29	92,29	98,85	107,35	113,42	113,22	111,3	104,6	92	66,21	0
Poissons	53,88	54,02	54,43	60,53	68,13	73,8	74,21	68,51	57,86	47,12	40,51	25,67
Pommes de terre	35,26	35,24	28,8	21,68	12,36	7,15	4,72	1,05	0	0	0	0
Porc	43,12	42,85	33,79	25,37	14,38	0	0	0	0	0	0	0
PPC	44,45	45,6	41,63	37,22	31,94	27,24	19,49	6,98	0	0	0	0
Produits céréaliers complets	43,99	47,52	55,45	69,77	87,34	105,12	118,87	133,77	158,06	190,84	195,93	205,59
Produits laitiers	173,34	211,12	207,86	196,35	180,98	162,09	145,77	139	132,27	127,19	114,01	17,18
Substituts végétaux	17,78	19,65	22,84	29,6	38,47	47,29	54,22	61,27	71,72	84,52	106,63	296,97
Viande de ruminants	71,95	71,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Viande transformée	57,58	55,29	40,27	25,2	7,75	0	0	0	0	0	0	0
Volaille	42,65	41,46	28,45	22,97	15,38	7,75	0	0	0	0	0	0

Abréviations : PGSS, produits gras sucrés et/ou salés ; PPC, plats préparés ou composés.

¹ Les valeurs correspondent aux moyennes pondérées, calculées à partir d'optimisations menées séparément par profil et par sexe, en tenant compte d'un individu moyen (50 % ménopausées / 50 % non ménopausées pour les femmes) et des effectifs réels (hommes/femmes) observés par profil.

Annexe 22 : Apports en nutriments selon les scénarios par profil¹

Profil P0

Nutriments	Borne Inf.	Borne Sup.	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Acide alpha-linolénique	2,30		1,56	1,90	1,87	1,80	1,72	1,67	1,64	1,60	1,68	1,85	2,18	2,47
Acide eicosapentaénoïque + Acide docosahexaénoïque	0,50		0,40	0,46	0,49	0,49	0,48	0,47	0,44	0,41	0,38	0,33	0,25	0,29
Acide linoléique	9,20		13,01	15,51	15,47	15,01	14,38	13,92	13,67	13,36	14,03	15,43	18,18	20,62
Acide linoléique/ Acide alpha-linolénique		5,00	8,34	8,14	8,28	8,33	8,34	8,33	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34
Acides gras saturés (g/j)		27,61	35,08	33,72	29,91	26,86	23,37	20,93	19,00	17,60	16,90	16,02	13,89	10,66
Apport énergétique total (kcal/j)	2017,29	2353,42	1962,76	2070,96	2026,14	2009,20	1986,43	1942,82	1880,73	1809,30	1805,74	1805,74	1805,74	1805,74
Apport total en protéines (g/j)	56,02	155,24	83,76	89,21	80,82	78,49	75,60	72,26	70,21	69,36	68,82	67,63	66,65	69,67
Calcium (mg/j)	950,00	2500,00	1042,69	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	968,54
Cuivre (mg/j)	1,13	5,00	1,98	2,15	2,21	2,29	2,44	2,59	2,70	2,79	2,97	3,29	3,68	3,84
Fer biodisponible (mg/j)	2,05		1,54	1,73	1,50	1,50	1,50	1,49	1,49	1,50	1,54	1,60	1,66	1,69
Fibres (g/j)	30,00		21,77	24,60	26,49	28,22	30,46	32,31	33,53	33,70	34,40	35,47	37,04	40,44
Glucides hors lactose (g/j)		100,00	76,13	82,75	83,57	83,53	83,75	82,20	79,38	73,96	71,77	69,09	59,99	58,15
Iode ($\mu\text{g}/\text{j}$)	150,00	600,00	209,19	272,57	273,54	275,19	278,20	275,89	281,79	277,27	260,99	229,10	196,20	204,40
Magnésium (mg/j)	249,91		450,30	514,70	543,24	573,51	609,39	641,92	671,16	695,53	737,78	817,41	958,15	1029,54
Manganèse (mg/j)	2,24		4,79	5,52	6,40	7,20	8,15	9,03	9,74	10,24	11,02	12,37	13,68	14,26
Phosphore (mg/j)	550,00		1362,12	1459,16	1408,24	1390,51	1367,92	1343,11	1329,30	1326,66	1338,67	1361,47	1393,12	1454,94
Potassium (mg/j)	3500,00		3463,70	3815,46	3771,68	3812,57	3876,44	3862,47	3860,86	3818,66	3809,25	3822,91	4087,17	4458,53
Sélénium ($\mu\text{g}/\text{j}$)	70,00	300,00	78,14	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	71,81	82,15
Sodium (mg/j)	1500,00	2300,00	2395,43	2397,49	2397,49	2397,49	2397,49	2395,35	2397,49	2397,49	2397,49	2397,49	2397,49	2397,49
Vitamine A (μg équivalents rétinol/j)	678,27	3000,00	874,05	842,43	757,73	695,45	678,27	678,27	678,27	678,27	678,27	678,27	678,27	678,27
Vitamine B1 (mg/j)	0,62		1,27	1,39	1,37	1,36	1,33	1,27	1,27	1,27	1,30	1,37	1,48	1,52
Vitamine B12 ($\mu\text{g}/\text{j}$)	4,00		5,76	6,14	5,18	4,74	4,49	4,29	4,05	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Vitamine B2 (mg/j)	1,14		2,08	2,27	2,19	2,17	2,15	2,11	2,10	2,11	2,14	2,22	2,55	2,74

Annexes

Vitamine B-3/PP total (mg/j)	11,27	900,00	22,66	25,95	24,99	25,25	25,58	25,56	25,85	26,63	27,95	30,51	35,29	37,16
Vitamine B5 (mg/j)	3,51		5,93	6,60	6,42	6,38	6,36	6,24	6,16	6,11	6,12	6,19	6,61	6,83
Vitamine B6 (mg/j)	1,63	25,00	1,85	2,05	1,97	1,96	1,95	1,92	1,90	1,88	1,87	1,86	1,84	1,88
Vitamine B9 / Acide folique (µg/j)	330,00		376,71	417,71	419,78	425,19	438,14	448,13	458,51	454,64	452,48	453,18	469,02	512,60
Vitamine C (mg/j)	110,00		123,90	131,72	130,71	129,65	130,17	127,45	123,90	114,41	110,65	110,00	110,16	110,00
Vitamine E (mg/j)	7,21		15,24	13,53	13,58	13,42	13,24	13,09	12,96	12,55	12,55	12,86	14,11	15,49
Vitamine K (mg/j)	70,89		217,50	231,41	234,69	242,53	258,91	272,31	287,34	288,83	284,41	278,77	298,92	360,75
Zinc biodisponible (mg/j)	3,21		3,34	3,43	3,11	3,04	2,95	2,88	2,85	2,86	2,87	2,88	2,91	2,99

Profil P1

Nutriments	Borne Inf.	Borne Sup.	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Acide alpha-linolénique	2,57		1,55	1,83	1,83	1,78	1,71	1,65	1,69	1,76	1,90	2,10	2,41	3,07
Acide eicosapentaénoïque + Acide docosahexaénoïque	0,50		0,49	0,48	0,51	0,51	0,50	0,49	0,47	0,40	0,33	0,28	0,27	0,27
Acide linoléique	10,28		13,80	14,51	14,78	14,68	14,40	14,18	14,31	14,99	16,30	18,61	21,43	27,24
Acide linoléique/ Acide alpha-linolénique		5,00	8,90	7,93	8,09	8,24	8,42	8,57	8,45	8,49	8,59	8,85	8,90	8,90
Acides gras saturés (g/j)		30,84	40,14	36,75	32,48	29,32	25,22	21,10	20,09	19,48	19,50	19,71	18,41	12,28
Apport énergétique total (kcal/j)	2252,12	2626,53	2288,41	2312,89	2253,37	2224,37	2162,06	2105,34	2105,34	2105,34	2105,34	2105,34	2105,34	2105,34
Apport total en protéines (g/j)	61,83	171,33	94,85	95,78	83,92	81,45	77,81	73,90	71,72	71,59	71,37	71,05	69,88	68,42
Calcium (mg/j)	950,00	2500,00	1058,10	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	968,73
Cuivre (mg/j)	1,16	5,00	2,15	2,30	2,35	2,36	2,53	2,73	2,88	3,04	3,21	3,50	3,87	3,99
Fer biodisponible (mg/j)	1,84		1,98	2,05	1,70	1,68	1,66	1,65	1,64	1,67	1,70	1,73	1,80	1,75
Fibres (g/j)	30,00		21,11	23,55	25,62	27,30	29,33	31,68	33,77	35,94	37,39	38,62	39,96	40,66
Glucides hors lactose (g/j)		100,00	77,11	83,38	85,54	85,77	87,40	89,13	89,23	87,00	85,71	83,58	76,00	66,15
Iode (µg/j)	150,00	600,00	208,79	263,15	264,54	266,43	270,91	273,15	266,79	270,92	265,36	244,02	223,85	217,39
Magnésium (mg/j)	270,63		516,61	538,77	567,16	598,17	633,47	673,97	707,48	743,48	784,26	851,82	980,56	1113,44
Manganèse (mg/j)	2,30		5,05	5,61	6,55	7,38	8,25	9,27	10,24	11,26	12,11	13,22	14,62	15,57
Phosphore (mg/j)	550,00		1470,46	1513,41	1440,43	1424,43	1402,18	1378,15	1360,56	1360,14	1369,20	1389,97	1415,40	1391,84

Annexes

Potassium (mg/j)	3500,00		3907,48	4057,49	3966,33	3979,54	4031,74	4070,22	4047,28	4033,60	4033,33	4004,22	4204,33	4593,54
Sélénium (µg/j)	70,00	300,00	82,41	71,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,08	81,75
Sodium (mg/j)	1500,00	2300,00	2724,03	2724,03	2724,03	2700,31	2571,38	2453,83	2543,05	2698,39	2724,03	2724,03	2724,03	2724,03
Vitamine A (µg équivalents rétinol/j)	730,29	3000,00	1056,41	967,57	867,53	730,29	730,29	730,29	730,29	730,29	730,29	730,29	730,29	730,29
Vitamine B1 (mg/j)	0,69		1,36	1,46	1,44	1,41	1,37	1,32	1,28	1,31	1,34	1,39	1,48	1,54
Vitamine B12 (µg/j)	4,00		7,73	7,27	6,00	5,15	5,07	4,96	4,66	4,27	4,00	4,00	4,00	4,00
Vitamine B2 (mg/j)	1,27		2,28	2,34	2,22	2,18	2,17	2,15	2,10	2,05	2,04	2,08	2,23	2,62
Vitamine B-3/PP total (mg/j)	12,58	900,00	27,34	28,23	26,61	26,84	27,10	27,36	27,58	28,43	29,57	31,65	36,16	42,12
Vitamine B5 (mg/j)	3,83		6,67	6,97	6,71	6,63	6,63	6,59	6,47	6,40	6,39	6,42	6,69	7,36
Vitamine B6 (mg/j)	1,68	25,00	2,05	2,19	2,07	2,04	2,03	2,00	1,97	1,98	1,97	1,94	1,92	1,96
Vitamine B9 / Acide folique (µg/j)	330,00		389,17	421,17	422,22	422,24	435,16	449,20	459,19	474,11	480,77	477,52	493,33	521,11
Vitamine C (mg/j)	110,00		134,99	142,26	142,04	140,87	143,24	145,25	144,50	143,49	141,56	133,57	136,05	140,89
Vitamine E (mg/j)	7,31		15,16	12,80	13,08	13,11	13,20	13,32	13,36	13,55	13,89	14,59	15,76	17,75
Vitamine K (mg/j)	70,64		227,07	227,93	229,83	233,22	247,58	263,24	274,86	289,68	298,12	290,26	323,65	399,44
Zinc biodisponible (mg/j)	3,47		3,62	3,66	3,27	3,18	3,08	2,98	2,93	2,92	2,92	2,93	2,94	2,95

Profil P2

Nutriments	Borne Inf.	Borne Sup.	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Acide alpha-linolénique	2,40		1,22	1,57	1,50	1,43	1,39	1,40	1,43	1,47	1,50	1,59	1,81	2,25
Acide eicosapentaénoïque + Acide docosahexaénoïque	0,50		0,35	0,48	0,54	0,55	0,56	0,55	0,52	0,44	0,36	0,34	0,32	0,44
Acide linoléique	9,61		11,25	13,45	13,45	13,00	12,61	12,61	12,82	13,05	13,38	14,19	16,66	20,78
Acide linoléique/ Acide alpha-linolénique		5,00	9,20	8,59	8,99	9,09	9,08	9,02	8,96	8,90	8,93	8,95	9,20	9,20
Acides gras saturés (g/j)		28,83	38,78	37,47	32,18	29,14	26,74	24,87	23,42	22,06	19,93	18,45	14,73	10,38
Apport énergétique total (kcal/j)	2070,06	2377,12	2098,70	2162,38	2068,57	2042,85	2012,05	1988,61	1976,26	1969,76	1930,81	1930,81	1930,81	1930,81
Apport total en protéines (g/j)	56,52	156,63	91,45	94,22	82,48	80,02	76,91	73,28	71,07	69,58	68,45	67,59	66,47	69,91
Calcium (mg/j)	950,00	2500,00	1321,45	1095,31	952,80	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00

Annexes

Cuivre (mg/j)	1,13	5,00	1,90	2,06	2,11	2,18	2,28	2,40	2,52	2,65	2,79	2,97	3,32	3,42
Fer biodisponible (mg/j)	2,03		1,56	1,76	1,55	1,54	1,51	1,48	1,48	1,52	1,54	1,57	1,60	1,55
Fibres (g/j)	30,00		21,03	23,17	24,79	25,92	27,09	28,49	29,88	31,61	32,51	33,11	34,85	38,38
Glucides hors lactose (g/j)		100,00	100,44	101,56	101,56	101,56	101,56	101,56	101,56	101,56	96,97	95,15	94,63	80,87
Iode (µg/j)	150,00	600,00	216,56	266,95	252,13	250,26	244,77	245,06	252,90	263,13	264,44	251,88	230,48	211,90
Magnésium (mg/j)	251,71		441,93	489,94	498,92	518,01	538,35	562,89	590,78	625,20	661,78	708,58	820,80	893,72
Manganèse (mg/j)	2,24		4,51	5,15	5,86	6,39	6,92	7,58	8,29	9,11	9,90	10,63	11,82	12,34
Phosphore (mg/j)	550,00		1561,64	1566,32	1423,37	1403,27	1380,70	1355,35	1339,42	1331,18	1329,64	1337,44	1367,66	1397,26
Potassium (mg/j)	3500,00		3726,21	3875,29	3662,42	3694,51	3703,93	3673,15	3669,86	3697,00	3680,96	3681,59	3913,93	4185,64
Sélénium (µg/j)	70,00	300,00	77,69	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	72,55	82,10
Sodium (mg/j)	1500,00	2300,00	2482,82	2482,16	2412,86	2345,41	2237,98	2151,03	2202,91	2303,10	2403,35	2476,45	2482,82	2482,82
Vitamine A (µg équivalents rétinol/j)	682,78	3000,00	878,15	811,75	717,94	682,78	682,78	682,78	682,78	682,78	682,78	682,78	682,78	682,78
Vitamine B1 (mg/j)	0,65		1,40	1,51	1,47	1,44	1,38	1,31	1,31	1,34	1,36	1,42	1,58	1,46
Vitamine B12 (µg/j)	4,00		6,13	6,48	5,56	5,36	5,29	5,12	4,84	4,30	4,00	4,00	4,00	4,00
Vitamine B2 (mg/j)	1,19		2,44	2,46	2,20	2,19	2,18	2,16	2,16	2,16	2,18	2,25	2,51	2,48
Vitamine B-3/PP total (mg/j)	11,76	900,00	21,44	24,81	23,99	24,06	23,94	23,69	23,78	24,41	25,49	27,03	31,13	32,13
Vitamine B5 (mg/j)	3,54		6,71	6,92	6,40	6,39	6,34	6,24	6,15	6,09	6,05	6,09	6,45	6,45
Vitamine B6 (mg/j)	1,63	25,00	1,91	2,07	1,98	1,97	1,95	1,92	1,92	1,94	1,94	1,93	1,99	1,85
Vitamine B9 / Acide folique (µg/j)	330,00		383,20	402,81	395,70	398,06	403,53	413,83	427,90	450,12	457,53	462,00	488,25	510,77
Vitamine C (mg/j)	110,00		151,56	148,78	145,75	144,09	141,95	138,46	135,22	133,88	124,92	125,32	134,50	110,00
Vitamine E (mg/j)	7,22		13,55	12,67	12,67	12,49	12,38	12,52	12,66	12,73	12,62	12,72	13,88	15,64
Vitamine K (mg/j)	70,87		163,14	178,24	177,94	184,63	195,04	206,15	219,76	241,98	254,02	252,98	270,19	370,73
Zinc biodisponible (mg/j)	3,23		3,65	3,64	3,15	3,07	2,99	2,89	2,85	2,84	2,85	2,87	2,86	2,93

Profil P3

Nutriments	Borne Inf.	Borne Sup.	Obs	λ = 0	λ = 0,1	λ = 0,2	λ = 0,3	λ = 0,4	λ = 0,5	λ = 0,6	λ = 0,7	λ = 0,8	λ = 0,9	λ = 1
Acide alpha-linolénique	2,23		2,96	2,32	2,27	2,20	2,13	2,13	2,16	2,17	2,24	2,34	2,62	2,20
Acide eicosapentaénoïque	0,50		0,45	0,50	0,45	0,44	0,44	0,42	0,39	0,37	0,34	0,30	0,25	0,25

Annexes

+ Acide docosahexaénoïque

Acide linoléique	8,94		18,54	14,59	14,25	13,81	13,38	13,37	13,56	13,63	14,04	14,67	16,43	13,74
Acide linoléique/ Acide alpha-linolénique		5,00	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28	6,28
Acides gras saturés (g/j)		26,82	27,19	26,62	23,72	20,78	17,98	17,17	16,65	15,66	14,36	13,64	12,49	9,76
Apport énergétique total (kcal/j)	1973,30	2316,95	1974,16	2011,21	1957,41	1901,79	1835,15	1816,22	1816,22	1816,22	1816,22	1816,22	1816,22	1816,22
Apport total en protéines (g/j)	55,24	153,09	75,57	76,67	72,03	69,23	67,36	66,50	65,72	66,29	67,07	67,31	67,80	74,93
Calcium (mg/j)	950,00	2500,00	976,76	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	956,66
Cuivre (mg/j)	1,12	5,00	2,73	2,65	2,76	2,89	2,98	3,04	3,12	3,22	3,35	3,48	3,64	3,85
Fer biodisponible (mg/j)	2,07		1,55	1,69	1,63	1,64	1,64	1,64	1,64	1,65	1,70	1,72	1,75	1,92
Fibres (g/j)	30,00		33,43	37,84	39,44	40,78	41,15	40,46	39,32	38,78	39,30	39,64	40,02	45,41
Glucides hors lactose (g/j)		100,00	83,18	95,56	95,17	93,30	89,95	86,85	82,66	77,13	72,43	68,41	59,90	69,90
Iode (µg/j)	150,00	600,00	534,85	340,82	341,87	342,74	344,06	323,00	291,61	253,67	211,89	197,04	190,48	195,68
Magnésium (mg/j)	247,15		569,34	605,51	637,17	671,30	697,72	717,11	742,38	780,40	829,56	897,63	999,45	1048,17
Manganèse (mg/j)	2,23		7,63	7,66	8,40	9,14	9,72	10,20	10,83	11,69	12,48	12,87	13,29	14,02
Phosphore (mg/j)	550,00		1441,41	1416,66	1384,87	1362,46	1345,27	1339,74	1338,36	1352,00	1367,72	1376,87	1392,72	1486,74
Potassium (mg/j)	3500,00		3977,33	4617,84	4652,76	4700,78	4677,62	4529,22	4309,65	4133,79	4128,64	4283,92	4543,20	4898,47
Sélénium (µg/j)	70,00	300,00	86,03	70,64	70,15	70,22	70,85	71,34	72,15	74,28	76,15	77,73	79,81	97,22
Sodium (mg/j)	1500,00	2300,00	1971,07	2244,43	2205,12	2163,44	2117,43	2149,57	2220,04	2300,00	2300,00	2300,00	2300,00	2300,00
Vitamine A (µg équivalents rétinol/j)	671,32	3000,00	892,24	1090,76	1061,05	1050,72	1030,33	961,31	862,50	767,98	734,21	724,54	671,32	671,32
Vitamine B1 (mg/j)	0,60		1,71	1,48	1,48	1,48	1,46	1,45	1,43	1,44	1,46	1,50	1,50	1,52
Vitamine B12 (µg/j)	4,00		4,66	4,80	4,20	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,06	4,09	4,32
Vitamine B2 (mg/j)	1,11		2,15	2,35	2,36	2,40	2,45	2,50	2,56	2,62	2,69	2,88	3,10	3,10
Vitamine B-3/PP total (mg/j)	10,94	900,00	22,52	25,85	25,66	25,99	26,63	27,23	28,05	29,55	31,59	34,46	38,15	38,49
Vitamine B5 (mg/j)	3,46		6,25	6,98	6,87	6,80	6,72	6,56	6,35	6,29	6,39	6,68	7,07	7,39
Vitamine B6 (mg/j)	1,62	25,00	2,34	2,43	2,39	2,37	2,33	2,25	2,14	2,06	2,04	2,01	1,91	1,88
Vitamine B9 / Acide folique (µg/j)	330,00		561,44	634,24	641,43	645,95	638,41	604,26	553,32	514,99	510,25	514,02	511,53	560,23
Vitamine C (mg/j)	110,00		168,82	204,41	199,09	187,91	172,72	154,79	128,78	110,00	110,00	110,00	110,00	152,59
Vitamine E (mg/j)	7,20		20,80	15,99	15,81	15,48	14,87	14,21	13,39	12,53	12,15	12,01	12,34	10,83

Annexes

Vitamine K (mg/j)	70,93	355,46	482,91	497,84	514,43	514,64	469,41	400,52	349,07	348,52	350,73	327,66	319,22
Zinc biodisponible (mg/j)	3,17	2,88	2,99	2,86	2,81	2,79	2,81	2,85	2,90	2,94	2,98	3,02	3,12

Profil P4

Nutriments	Borne Inf.	Borne Sup.	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Acide alpha-linolénique	2,26		2,07	2,14	2,07	2,07	2,07	2,07	2,03	2,04	2,15	2,41	2,86	2,82
Acide eicosapentaénoïque + Acide docosahexaénoïque	0,50		0,56	0,63	0,64	0,61	0,57	0,52	0,48	0,46	0,45	0,35	0,25	0,25
Acide linoléique	9,06		14,29	14,72	14,29	14,29	14,29	14,29	14,01	14,06	14,81	16,57	19,73	19,46
Acide linoléique/ Acide alpha-linolénique		5,00	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89	6,89
Acides gras saturés (g/j)		27,17	32,78	30,45	26,77	23,96	21,07	19,38	17,81	17,42	16,64	14,96	13,66	11,80
Apport énergétique total (kcal/j)	1963,75	2268,69	2002,07	2037,92	1968,90	1956,62	1938,83	1908,12	1841,90	1841,90	1841,90	1841,90	1841,90	1841,90
Apport total en protéines (g/j)	54,22	150,24	86,40	84,91	77,45	74,55	71,59	68,86	67,91	67,58	66,97	65,50	64,29	67,27
Calcium (mg/j)	950,00	2500,00	1192,99	986,88	958,21	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	970,04
Cuivre (mg/j)	1,12	5,00	2,43	2,40	2,43	2,49	2,64	2,78	2,87	2,98	3,16	3,48	3,76	3,95
Fer biodisponible (mg/j)	2,11		1,57	1,67	1,53	1,54	1,56	1,55	1,56	1,58	1,64	1,72	1,74	1,78
Fibres (g/j)	30,00		28,71	30,34	31,52	33,07	34,65	35,54	35,44	36,10	36,95	38,00	38,49	39,76
Glucides hors lactose (g/j)		100,00	92,80	96,36	94,91	93,85	91,51	85,96	76,18	74,72	71,22	61,26	53,72	55,12
Iode ($\mu\text{g}/\text{j}$)	150,00	600,00	307,67	325,82	314,06	305,64	300,73	299,31	300,17	290,80	271,74	215,46	215,75	213,50
Magnésium (mg/j)	243,49		536,24	577,46	598,70	632,49	671,84	707,29	735,41	764,84	814,66	907,46	1049,99	1122,90
Manganèse (mg/j)	2,22		6,28	6,60	7,31	8,15	9,12	10,08	10,77	11,34	12,15	13,68	14,50	15,20
Phosphore (mg/j)	550,00		1518,56	1459,85	1394,46	1372,35	1353,57	1334,95	1329,98	1334,28	1342,76	1354,42	1353,99	1403,25
Potassium (mg/j)	3500,00		4186,42	4341,90	4271,71	4303,02	4320,22	4208,84	4084,80	4080,18	4107,37	4078,85	4434,52	4602,29
Sélénium ($\mu\text{g}/\text{j}$)	70,00	300,00	86,54	71,70	70,71	70,49	70,29	70,00	70,00	70,00	70,17	70,61	74,70	88,49
Sodium (mg/j)	1500,00	2300,00	2292,98	2355,93	2290,17	2237,41	2198,84	2237,84	2306,33	2346,18	2363,91	2363,91	2363,91	2363,91
Vitamine A (μg équivalents rétinol/j)	662,13	3000,00	983,23	940,16	848,69	741,49	708,37	677,58	662,13	662,13	662,13	662,13	662,13	662,13
Vitamine B1 (mg/j)	0,61		1,49	1,44	1,41	1,39	1,37	1,34	1,32	1,35	1,39	1,44	1,42	1,45
Vitamine B12 ($\mu\text{g}/\text{j}$)	4,00		6,33	6,33	5,47	4,74	4,46	4,20	4,03	4,00	4,00	4,00	4,01	4,62

Annexes

Vitamine B2 (mg/j)	1,12		2,37	2,37	2,27	2,23	2,22	2,18	2,17	2,21	2,27	2,39	2,69	2,94
Vitamine B-3/PP total (mg/j)	11,09	900,00	24,51	27,45	26,84	27,24	27,73	27,97	28,73	29,81	31,58	34,51	39,00	41,58
Vitamine B5 (mg/j)	3,41		6,75	7,03	6,79	6,71	6,65	6,48	6,35	6,38	6,42	6,49	6,79	7,12
Vitamine B6 (mg/j)	1,61	25,00	2,20	2,28	2,20	2,18	2,16	2,10	2,03	2,04	2,04	1,97	1,84	1,84
Vitamine B9 / Acide folique (µg/j)	330,00		491,91	504,87	497,37	495,79	498,13	492,73	484,40	483,25	490,17	489,68	487,30	488,30
Vitamine C (mg/j)	110,00		173,49	177,63	173,55	170,23	164,29	149,24	129,72	118,36	116,75	113,77	112,91	110,00
Vitamine E (mg/j)	7,18		17,57	14,78	14,49	14,44	14,36	14,17	13,56	13,35	13,39	13,49	14,66	14,25
Vitamine K (mg/j)	70,97		302,06	309,87	312,65	321,45	330,47	324,90	327,00	335,30	351,26	366,88	382,88	371,07
Zinc biodisponible (mg/j)	3,12		3,35	3,25	2,99	2,91	2,85	2,81	2,82	2,84	2,86	2,90	2,93	3,01

Profil P5

Nutriments	Borne Inf.	Borne Sup.	Obs	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Acide alpha-linolénique	2,53		1,50	1,75	1,68	1,68	1,67	1,65	1,64	1,67	1,72	1,76	1,94	2,49
Acide eicosapentaénoïque + Acide docosahexaénoïque	0,50		0,55	0,54	0,53	0,57	0,61	0,65	0,63	0,56	0,44	0,39	0,49	0,26
Acide linoléique	10,12		13,87	14,83	14,13	14,28	14,44	14,56	14,36	14,60	15,08	15,61	17,22	23,11
Acide linoléique/ Acide alpha-linolénique		5,00	9,23	8,47	8,41	8,52	8,64	8,84	8,76	8,75	8,77	8,88	8,86	9,23
Acides gras saturés (g/j)		30,36	42,25	40,08	34,18	31,36	27,81	24,64	23,91	22,97	21,69	19,87	17,65	11,41
Apport énergétique total (kcal/j)	2186,39	2517,92	2266,60	2276,81	2085,27	2085,27	2085,27	2085,27	2085,27	2085,27	2085,27	2085,27	2028,52	2085,27
Apport total en protéines (g/j)	59,52	164,93	117,28	115,99	90,05	85,70	80,51	75,93	74,52	73,67	72,76	72,91	72,33	71,97
Calcium (mg/j)	950,00	2500,00	1102,36	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	950,00	968,08
Cuivre (mg/j)	1,14	5,00	2,19	2,22	2,09	2,08	2,18	2,33	2,42	2,52	2,67	2,90	3,06	3,61
Fer biodisponible (mg/j)	1,92		2,16	2,29	1,63	1,56	1,49	1,43	1,45	1,48	1,53	1,59	1,57	1,66
Fibres (g/j)	30,00		21,36	23,04	23,95	25,61	27,81	29,97	31,20	32,52	34,69	36,76	37,16	40,62
Glucides hors lactose (g/j)		100,00	75,46	77,67	79,62	83,15	87,84	91,55	91,88	91,82	90,44	83,93	69,37	69,46
Iode (µg/j)	150,00	600,00	210,84	279,95	276,24	280,40	286,89	291,30	280,28	279,19	285,78	289,30	302,94	252,89
Magnésium (mg/j)	262,39		491,25	492,95	484,46	507,34	536,59	566,82	588,66	613,96	652,69	708,83	775,95	976,01
Manganèse (mg/j)	2,28		4,43	4,74	5,05	5,64	6,38	7,13	7,68	8,30	9,23	10,50	11,17	13,23

Annexes

Phosphore (mg/j)	550,00		1686,94	1681,25	1460,27	1427,03	1391,97	1358,70	1345,74	1344,28	1344,93	1357,12	1381,02	1413,05
Potassium (mg/j)	3500,00		4015,49	4096,45	3792,55	3802,36	3831,90	3891,71	3909,75	3924,13	3966,03	3963,83	3970,64	4488,40
Sélénium (µg/j)	70,00	300,00	99,05	82,03	70,12	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	77,35
Sodium (mg/j)	1500,00	2300,00	3023,00	3021,99	2736,77	2571,64	2379,37	2303,48	2352,13	2399,29	2515,94	2784,07	2886,38	3023,00
Vitamine A (µg équivalents rétinol/j)	709,60	3000,00	1143,07	1071,99	942,16	799,62	727,09	722,99	718,70	711,71	709,60	709,60	650,00	709,60
Vitamine B1 (mg/j)	0,68		1,62	1,71	1,52	1,43	1,32	1,25	1,24	1,25	1,28	1,34	1,43	1,63
Vitamine B12 (µg/j)	4,00		9,26	8,79	6,53	5,72	5,33	5,24	5,09	4,72	4,11	4,00	4,00	4,00
Vitamine B2 (mg/j)	1,25		2,50	2,47	2,23	2,17	2,13	2,11	2,10	2,10	2,09	2,10	2,16	2,82
Vitamine B-3/PP total (mg/j)	12,39	900,00	31,20	31,36	25,27	24,52	23,71	23,32	23,34	23,81	24,68	26,58	28,52	37,10
Vitamine B5 (mg/j)	3,70		7,31	7,40	6,62	6,49	6,39	6,35	6,27	6,26	6,26	6,26	6,29	7,16
Vitamine B6 (mg/j)	1,66	25,00	2,34	2,42	2,04	1,98	1,93	1,91	1,89	1,89	1,91	1,93	1,89	2,06
Vitamine B9 / Acide folique (µg/j)	330,00		405,77	430,61	421,37	423,91	434,69	447,73	451,40	459,71	478,91	491,51	503,72	551,38
Vitamine C (mg/j)	110,00		130,33	132,75	132,27	132,93	135,03	137,22	136,28	135,19	134,27	123,45	110,00	110,00
Vitamine E (mg/j)	7,27		15,24	12,85	12,56	12,93	13,41	13,78	13,65	13,68	13,87	13,91	14,65	16,78
Vitamine K (mg/j)	70,74		225,90	240,07	242,71	248,22	259,34	272,11	279,19	288,70	309,73	320,89	340,97	394,41
Zinc biodisponible (mg/j)	3,37		3,96	3,98	3,37	3,22	3,05	2,91	2,88	2,88	2,89	2,93	2,93	3,03

¹ Les valeurs correspondent aux moyennes pondérées, calculées à partir d'optimisations menées séparément par profil et par sexe, en tenant compte d'un individu moyen (50 % ménopausées / 50 % non ménopausées pour les femmes) et des effectifs réels (hommes/femmes) observés par profil.

Annexe 23 : Part du bio dans le régime alimentaire selon les scénarios par profil¹**Profil P0**

Groupes d'aliments	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	3,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,13
Boissons alcoolisées	2,77	100	100	100	100	100	100	100	32,65	24,76	22,64
Boissons chaudes	5,45	18	18,31	42,56	11,52	20,27	2,51	30,5	13,16	3,03	16,85
Boissons sucrées	6,52	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Céréales raffinées	8,62	68,3	75	75	75	75	75,01	75,16	80,06	76,89	52,74
Fruits	6,48	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	8,3	32,39	47,63
Fruits à coque	9,63	50	50	50	50	50	50	50	50	50	63,34
Huiles	8,79	100	100	100	100	100	100	100	78,73	63,26	51,7
Jus de fruits	5,15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lait	10,51	100	100	100	100	100	100	100	26,85	9,42	46,38
Légumes	18,9	100	100	100	100	100	100	100	100	94,72	80,34
Légumineuses	5,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,01
MG animales	12,1	100	100	100	100	100	100	100	100	33,3	29,36
Œufs	24,92	0	0	0	0	0	0	0	3,81	26,13	28,19
PGSS	17,82	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	73,58	71,36	46,23	60,64	63,55
Poissons	8,78	54,03	57,24	69,83	77,59	76,43	73,1	85,91	60,46	60,76	46,4
Pommes de terre	5,93	0	0	0	0	11,05	40,81	15,61	10,95	40,51	1,51
Porc	7,16	0	0	0	0,31	4,04	20,21	10,07	14,33	19,73	40,13
PPC	12,66	0	0,36	13,54	12,94	11,19	22,56	21,85	22,16	32,66	28,98
Produits céréaliers complets	6,6	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	73,45	69,86	84,13	72,83
Produits laitiers	9,37	100	100	94,28	66,7	35,36	42,91	40,87	36,31	63,28	59,19
Substituts végétaux	5,71	75,91	77,97	80	67,16	76,17	69,85	68,35	47,11	46,07	45,61
Viande de ruminants	5,96	9,13	23,87	5	18,59	7,95	10,69	36,57	7,43	22,48	13,37
Viande transformée	9,83	0	0	0	7,98	14,49	18,76	17,92	13,82	33,29	16,67
Volaille	6,52	0	0	0	0	13,49	23,04	5,59	4,36	17,03	39,23

Profil P1

Groupes d'aliments	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	1,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Boissons alcoolisées	3,88	100	100	100	100	100	100	100	80,31	8,25	90,56
Boissons chaudes	4,22	17,27	2,85	23,9	19,23	36,67	3,3	4,95	31,13	9,07	17,63
Boissons sucrées	7,13	100	100	68,98	100	100	100	100	100	100	100
Céréales raffinées	6,06	60,72	71,78	61,73	75	75	75	75	77,93	77,64	52,01
Fruits	12,82	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	27,76	6,67	15,2
Fruits à coque	3,48	50	50	50	50	50	50	50	50	50	60,34
Huiles	11,38	100	100	87,34	100	100	100	100	79,15	76,44	73,62
Jus de fruits	9,98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lait	11,8	100	100	100	100	100	100	100	7,37	30,84	56,48
Légumes	1,97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,67
Légumineuses	0,63	0	0	4,26	0	0	0	0	0	0	0,34
MG animales	8,89	100	100	92,6	100	100	100	100	100	41,16	20,22
Œufs	5,07	0	0	0	0	0	0	0	0	2,06	22,94
PGSS	7,55	66,67	66,67	66,67	66,67	66,91	67,43	69,35	71,75	63,96	48,25
Poissons	7,87	51,18	54,3	40,27	80,33	69,94	69,31	77,22	73,23	61,93	63,6
Pommes de terre	8,35	0	0	0	0	0	4,23	16,58	15,48	23,95	9,39
Porc	11,63	0	0	0	6,27	16,37	9,93	20,08	28,48	42,02	27,22
PPC	9,41	0	0	4,39	6,31	23,45	18,72	8,64	8,46	8,02	54,46
Produits céréaliers complets	8,78	66,67	66,67	55,1	66,67	66,67	66,67	67,39	75,28	85,48	78,59
Produits laitiers	7,98	100	100	89,55	79,96	62,71	69,25	43,14	36,98	49,53	44,52
Substituts végétaux	13,28	59,72	68,31	45,47	73,93	77,74	64,13	67,21	45,54	53,87	56,16
Viande de ruminants	2,31	1,65	7,91	10,46	2,86	7,42	15,66	2,76	7,47	1,02	6,22
Viande transformée	6,27	0	0	0	0,53	20,49	32,39	14,58	19,2	9,98	18,25
Volaille	12,12	0	0	0	0	0,15	13,78	29,61	3,75	2,62	16,36

Profil P2

Groupes d'aliments	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	6,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,85
Boissons alcoolisées	5,28	100	100	100	100	100	100	100	42,81	23,66	85,4
Boissons chaudes	5,31	7,82	5,28	32,41	9,84	53,48	16,69	20,48	6,92	11,35	58,92
Boissons sucrées	2,83	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Céréales raffinées	5,37	75	75	75	75	75	75	77,78	87,12	79,71	60,55
Fruits	10,14	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	19,14	15,73	10,8	31,42
Fruits à coque	12,8	50	50	50	50	50	50	50	50	50	66,41
Huiles	5,95	100	100	100	100	100	100	100	100	49,15	60,11
Jus de fruits	4,27	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lait	7,26	100	100	100	100	100	71,76	30,42	18,46	20,97	49,9
Légumes	11,17	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89,83
Légumineuses	3,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MG animales	6,06	100	100	100	100	100	100	100	100	35,93	27,05
Œufs	2,19	0	0	0	0	0	0	0	0	14,42	23,35
PGSS	8,51	66,67	66,67	66,67	66,67	68,03	73,55	53,66	37,08	46,05	25,77
Poissons	9,85	53,95	75,36	63,16	68,92	76,42	74,14	53,12	65,85	39,07	50,77
Pommes de terre	2,61	0	0	0	0	0	10,01	14,13	8,86	18,81	25,82
Porc	4,53	0	0	0	0	25,79	3,15	31,46	23,42	10,29	48,27
PPC	5,87	0	0,24	3,21	8,51	18,16	15,94	9,07	21,72	18,54	35,76
Produits céréaliers complets	5,26	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	70,73	67	75,7	71,69	79,83
Produits laitiers	8,17	100	100	70,94	58,45	49,17	48,34	45,63	44,82	35,82	63,21
Substituts végétaux	6,5	74,44	80	72,46	76,62	68,81	62,87	66,2	62,33	48,77	36,87
Viande de ruminants	3,11	2,68	5,64	1,95	14,91	12,04	13,98	12,45	19,9	2,42	38,8
Viande transformée	10,43	0	0	0	2,8	24,06	15,73	8,41	20,38	13,91	20,61
Volaille	3,61	0	0	0	0	0	14,67	26,1	33,04	21,16	0,66

Profil P3

Groupes d'aliments	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	2,18	0	0	0	1,71	2,24	13,19	29,65	11,06	24,1	18,29
Boissons alcoolisées	4,78	100	100	100	100	100	100	100	29,04	12,91	80,52
Boissons chaudes	1,65	29,96	9,79	8,36	6,52	16,06	19,8	20,76	16,34	22,68	32,06
Boissons sucrées	4,72	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Céréales raffinées	4,76	75	75	75	75,22	81,76	78,2	78,59	80,3	47,46	43,49
Fruits	3,95	33,33	33,33	28,04	27,16	27,72	29,53	27,38	11,2	14,6	32,04
Fruits à coque	6,39	50	50	50	50	50	50	50	50	70,61	93,74
Huiles	2,61	100	82,46	76,69	74,08	79,5	68,73	50,03	47,85	44,66	65,6
Jus de fruits	7,52	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lait	3,67	100	100	100	100	100	100	100	28,48	11,76	20,39
Légumes	5,88	100	100	100	100	100	100	100	75,94	61,21	81,37
Légumineuses	11,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,26
MG animales	6,79	100	100	100	100	100	100	60,98	32,54	14,33	48,86
Œufs	2,39	0	0	0	0	14,89	29,97	38,6	5,08	16,14	2,18
PGSS	5,38	66,67	66,67	66,67	68,87	72,17	77,58	50,01	44,74	25,49	33,67
Poissons	4,27	63,92	72,02	67,57	69,15	77,53	51,83	41,54	37,5	47,65	48,28
Pommes de terre	16,4	0	0	0	22,56	5,77	14,15	26,93	15,28	3,95	6,36
Porc	1,45	0	0	1,34	17,07	17,93	8,17	13,51	17,93	40,51	68,34
PPC	3,97	0	0	7,28	2,97	8,36	25,75	22,67	16,7	24,45	49,99
Produits céréaliers complets	14,02	66,67	66,67	66,67	66,67	68,65	70,8	71,24	80,33	78,32	74,54
Produits laitiers	8,45	100	80,44	60,55	43,09	45,18	36,81	48,61	34,07	31,88	45,04
Substituts végétaux	8,61	80	80	65,74	48,03	55,25	56,88	43,06	26,11	35,24	53,8
Viande de ruminants	1,05	6,32	6,04	16,19	27,94	21,68	22,36	11,52	17,62	29,92	14,62
Viande transformée	7,04	0	0	0,85	12,59	21,68	9,85	21,4	16,7	26,02	46,8
Volaille	7,79	0	0	12,99	26,42	0,41	17,92	18,28	14,23	7,65	38,26

Profil P4

Groupes d'aliments	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	3,46	0	0	9,36	6,36	24,96	6,77	35,02	2,54	18,76	20,32
Boissons alcoolisées	6,71	100	100	100	100	100	100	100	100	59,4	20,95
Boissons chaudes	6,35	26,85	27,02	17,51	2,65	29,39	1,69	6,36	27,31	4,41	22,58
Boissons sucrées	6,19	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Céréales raffinées	6,23	74,74	75	75	75	75	75	76,78	76,44	47,28	40,33
Fruits	5,22	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	5,78	11,23	29,03	40,62
Fruits à coque	6,49	50	50	50	50	50	50	50	50	50	53,2
Huiles	8,98	100	100	100	100	85,95	82,11	59,02	52,23	59,38	46,92
Jus de fruits	6,74	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lait	6,46	100	100	100	100	92,02	90,41	24,68	33,5	26,52	49,15
Légumes	4,45	100	100	100	100	100	100	100	73,88	81,05	91,28
Légumineuses	0,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,58
MG animales	2,02	100	100	100	100	100	100	100	52,27	69,63	32,42
Œufs	8,08	0	0	0	0	0	0	0	1,63	14,35	16,86
PGSS	5,51	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	79,63	73,29	62,63	71,8	62,36
Poissons	4,15	61,6	69,01	77,33	70,41	67,56	66,6	67,18	44,09	44,27	47,11
Pommes de terre	1,05	0	0	0	0	0	20,44	7,67	15,04	18,81	79,97
Porc	4,82	0	0	0	27,3	2,41	25,42	15,27	1,54	19,76	5,64
PPC	7,57	0	0	2,85	5,46	18,69	19,86	10,35	6,32	27,46	36,68
Produits céréaliers complets	5,23	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	78,63	76,49	67,39	75,94
Produits laitiers	3,27	100	100	68,43	44,27	50,91	47,69	48,56	55,15	39,24	40,03
Substituts végétaux	3,61	79,58	80	70,89	71,9	75,51	56,07	47,27	57,64	47,78	36,94
Viande de ruminants	11,81	18,81	4,42	6,35	5,75	26,31	5,02	9,28	10,53	10,19	46,67
Viande transformée	7,01	0	0	0,78	18,06	42,26	8,66	11,76	28,55	17,51	45,7
Volaille	2,22	0	0	0	9,09	26,94	12,05	43,48	24,61	7,23	9,36

Profil P5

Groupes d'aliments	$\lambda = 0$	$\lambda = 0,1$	$\lambda = 0,2$	$\lambda = 0,3$	$\lambda = 0,4$	$\lambda = 0,5$	$\lambda = 0,6$	$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,8$	$\lambda = 0,9$	$\lambda = 1$
Abats	4,44	0	0	17,43	1,41	1,07	4,27	4,16	20,98	39,65	20,09
Boissons alcoolisées	5,12	100	100	100	100	100	100	100	100	21,71	19,22
Boissons chaudes	3,6	10,55	9,89	3,37	30,46	26,13	19,44	35,05	35,85	54,56	8,04
Boissons sucrées	10,94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Céréales raffinées	8,98	63,74	72,6	75	71,1	75	75	75	77,41	86,03	58,13
Fruits	8,86	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	33,33	7,45	34,96
Fruits à coque	11,8	50	50	50	50	50	50	50	50	50	56,7
Huiles	2,39	100	100	100	89,36	100	100	100	100	100	74,3
Jus de fruits	10,41	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Lait	2,58	100	100	100	100	100	100	100	40,68	49,67	9,66
Légumes	11,37	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96,48
Légumineuses	10,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,12
MG animales	4,73	100	100	100	100	100	100	100	100	100	14,46
Œufs	5,16	0	0	0	0	0	0	0	0	12,64	38,07
PGSS	6,89	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	72,62	74,89	64,49	65,95
Poissons	3,94	49,46	59,55	59,81	61,06	77,98	71,78	72,57	68,53	78,15	62,89
Pommes de terre	3,64	0	0	0	13,25	20,09	4,31	5,97	2,61	18,67	51,05
Porc	4,62	0	0	0	7,34	11,1	5,23	20,53	12,84	5,72	34,36
PPC	10,28	0	0	3,24	5,14	7,28	2,93	7,18	14,03	22,15	23,25
Produits céréaliers complets	9,53	66,67	66,67	66,67	66,67	66,67	67,9	80,77	71,62	70,23	73,12
Produits laitiers	5,13	100	100	100	80,64	74,57	47,45	52,92	50,47	47,31	56,27
Substituts végétaux	7,8	50,64	68,07	70,21	46,83	64,77	67,07	65,54	65,38	50,47	46,49
Viande de ruminants	3,66	5,83	9,84	15,18	8,49	1,05	28,97	1,37	0,22	12,52	8,33
Viande transformée	10,59	0	0	7,48	10,27	13,59	19,61	13,25	19,78	21,32	32,83
Volaille	4,78	0	0	0	7,39	6,58	12,85	31,62	10,77	65,44	17,31

Abréviations : PGSS, produits gras sucrés et/ou salés ; PPC, plats préparés ou composés.

¹ Les valeurs correspondent aux pourcentages de consommation issus de l'agriculture biologique pour chaque groupe alimentaire. Ces valeurs sont des moyennes pondérées, calculées à partir d'optimisations menées séparément par profil et par sexe, en tenant compte d'un individu moyen (50 % ménopausées / 50 % non ménopausées pour les femmes) et des effectifs réels (hommes/femmes) observés par profil.

Annexe 24 : Article publié « The nature of protein intake as a discriminating factor of diet sustainability: a multi-criteria approach »

www.nature.com/scientificreports

scientific reports



OPEN The nature of protein intake as a discriminating factor of diet sustainability: a multi-criteria approach

Hafsa Toujgani^{1,2✉}, Joséphine Brunin^{1,2}, Elie Perraud³, Benjamin Allès¹, Mathilde Touvier¹, Denis Lairon⁴, François Mariotti³, Philippe Pointereau⁵, Julia Baudry¹ & Emmanuelle Kesse-Guyot¹

Animal production is responsible for 56–58% of the GHG emissions and limiting meat consumption would strongly contribute to reducing human health risks in Western countries. This study aimed to investigate the nature of protein intake as a discriminating factor for diets' sustainability. Using data from 29,210 French adults involved in the NutriNet-Santé cohort, we identified clusters according to 23 protein sources. A multicriteria (environmental, economic, nutritional and health) sustainability analysis was then conducted on the identified clusters. The economic analysis focused on both food and protein expenditure structures, using a budget coefficient approach. Relative values of clusters compared to the whole sample were calculated. We identified five clusters: milk-based, meat-based, fast food-based, healthy-fish-based, and healthy-plant-based. We found that the healthy-plant-based and healthy-fish-based clusters were the most sustainable, conciliating the compromise between human health (0.25 and 0.53 respectively for the Health Risk Score) and the protection of the environment (–62% and –19% respectively for the pReCiPe indicator). Conversely, the highest environmental impacts (+33% for the pReCiPe indicator) and the highest health risk (0.95 for the HRS) were observed for the meat-based cluster, which was associated with the lowest nutritional scores (–61% for the PNNS-GS2 score). The economic analysis showed that the healthy-plant-based cluster was the one with the highest food budget coefficient (+46%), followed by the healthy-fish-based cluster (+8%), partly explained by a strong share of organic food in the diet. However, the meat-based cluster spent more of their food budget on their protein intake (+13%), while the healthy-plant-based cluster exhibited the lowest expenditure for this intake (–41%). Our results demonstrate that the nature of protein intake is a discriminating factor in diet sustainability. Also, reducing animal protein consumption would generate co-benefits beyond environmental impacts, by being favorable for health, while reducing the monetary cost associated with protein intake.

Abbreviations

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
GBD	Global Burden of Diseases
INSEE	National Institute of Statistics and Economic Studies
Org-FFQ	Organic Food Frequency Questionnaire
GHG	Greenhouse gas
CED	Cumulative energy demand
pReCiPe	Partial ReCiPe
PANDiet	Diet Quality Index based on the Probability of Adequate Nutrient Intake
PNNS	Programme National Nutrition Santé

¹Université Sorbonne Paris Nord and Université Paris Cité, Inserm, INRAE, CNAM, Center of Research in Epidemiology and Statistics (CRESS), Nutritional Epidemiology Research Team (EREN), 74 Rue Marcel Cachin, 93017 Bobigny, France. ²ADEME, (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), 49004 Angers, France. ³Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR PNCA, 91120 Palaiseau, France. ⁴Aix Marseille Université, Inserm, INRAE, C2VN, 13005 Marseille, France. ⁵Solagro, 75, Voie TOEC, CS 27608, 31076 Toulouse Cedex 3, France. ✉email: h.toujgani@eren.smbh.univ-paris13.fr

PNNS-GS2	Programme National Nutrition Santé-Guidelines Score 2
cDQI	Comprehensive Diet Quality Index
AS	Adequation sub-score of PANDiet
MS	Moderation sub-score of PANDiet
TMREL	Theoretical Minimum-Risk Exposure Level
HRS	Health risk score
SD	Standard deviation
SEM	Standard error of the mean
AHC	Ascending Hierarchical Classification
PCA	Principal Component Analysis
SFF	Sweetened and fatty foods

Some planetary boundaries being officially crossed^{1–3}, recent efforts to limit global warming to 1.5 °C, as stipulated in the Paris Climate Agreement, remain insufficient according to the 2021 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report⁴. Moreover, the 2023 Sustainable Development Goals Report not only confirms this assessment but also sounds the alarm, urgently calling for a doubling of efforts to get these objectives back on track⁵. Actually, current food systems are responsible for one third of global GHG emissions⁶, one third to 80% of which originates from the production stage^{6,7}. Besides, as populations become more urbanized and affluent, their dietary patterns are shifting towards calorie-rich diets with more animal-based and protein-dense foods⁸. These dietary patterns have been largely influenced by the “protein” debate, which has been evolving for decades. It was in the 1930s that particular attention was paid to this nutrient, with the widespread incidence of kwashiorkor, and its association with protein deficiency⁹. A special Protein Advisory Group was then created by the United Nations, whose mission was to “fight to close the protein gap”, while dietary guidelines encouraged the consumption of protein-rich foods, namely meat and milk¹⁰. Furthermore, the “protein” debate has been largely influenced by animal production industry, given the great market opportunities offered by this sector, whose trade balance reached 28 billion euros in 2018 in the EU¹¹. However, the debate has gone off in another direction, and it is now beyond doubt that the reduction of meat consumption would contribute to strongly reducing human health risks in Western countries according to the Global Burden of Diseases (GBD) analysis¹². Moreover, animal food production is responsible for 56–58% of the emissions generated by food production while providing only 37% of the protein supply¹³. In that regard, the IPCC has strongly recommended to reduce meat consumption by two-thirds⁴, as red meat and processed meat production have been shown to have the highest impact on all dimensions (GHG emissions, land use, water use, acidification and eutrophication)^{13,14}. Note that these emissions are double those generated by plant-based foods¹⁵. Although it has been proven that there is no longer protein gap in Western countries, as protein intake exceeding needs¹⁶, the protein debate persists and has shifted towards new trends of “protein transitions”. The new markets of plant-based meat and dairy substitutes are growing exponentially¹⁷, contributing to collapse the global dietary issues into a single nutrient. That being said, the individuals’ dietary patterns seem to be strongly influenced by this debate. Indeed, it has been shown that the overall diet of meat eaters is less healthy than the one of plant-based foods eaters^{18–20}.

Thus, as we assume that the nature of protein intake might be indicative of the overall dietary patterns of individuals, we hypothesized that it could be a discriminating factor for diet sustainability, as defined by FAO in 2012²¹. We identified a previous study comparing diets defined by protein sources in relation to sustainability²² but the economic dimension was not assessed. However, we believe that this aspect holds considerable importance regarding individual dietary choices, particularly given the established literature linking healthier and acceptable diets to increased expenses²³. Our objective was to identify clusters in the population of French adults participating in the NutriNet-Santé cohort, according to the sources of protein intake, and then to characterize, in a multi-criteria approach, the level of sustainability of these clusters according to environmental, economic, nutritional and health aspects. We specifically conducted an economic analysis to investigate the expenditure structure of both food and protein intake across the identified clusters as this dimension of diets’ sustainability is often omitted.

Methods and data

Study population

The present study used observational data from the NutriNet-Santé study. The NutriNet-Santé study is an Internet-based cohort launched in May 2009²⁴. Its purpose is to study the determinants of diets, nutritional status, and physical activity as well as their associations with health. The participants, recruited on a voluntary basis, are adults living in France with an access to internet. Participants have to complete annual or biannual questionnaires on socioeconomic status, lifestyle, anthropometry, dietary intake and physical activity. Regularly, specific questionnaires are proposed. Gender, occupational status, income, place of residence, physical activity, and smoking habits are self-reported using validated questionnaires²⁵. The NutriNet-Santé study is in line with the principles of the Helsinki Declaration²⁶ and the protocol has been approved by both the INSERM Ethical Evaluation Committee (CEI) (no. 0000388FWA00005831) and the National Committee for Information Technology and Freedom (CNIL) (nos. 908450 and 909216). Informed consent was obtained from all participants. The study is registered in ClinicalTrials.gov (NCT03335644).

Assessment of food consumption and protein intake in total and by food groups

Food consumption data were collected via an Organic Food Frequency Questionnaire (Org-FFQ) developed in 2014, including 264 organic and conventional food items²⁷. In the present study, a total of 23 food groups were defined based on their protein content as follows: meat (including beef and pork), processed meat, poultry,

seafood, eggs, milk, dairy (including all dairy products except for milk), fast food, sweetened and fatty foods (SFF), fat (including animal fat and margarine), dressing, potatoes, legumes, whole-grain products, cereals (including all cereals products), nuts, soya-based products (including also substitutes), vegetables, fruits, fruit juice, beverages (including all non-alcoholic beverages), oil (including vegetable oils) and alcohol (including all alcoholic beverages). Nutrient values were derived from the food composition table developed for the NutriNet-Santé study²⁸. Detailed information on the composition of the food groups is provided in the legend of Fig. 1.

Environmental data

Environmental pressures, greenhouse gas (GHG) emissions (CO₂-eq), Cumulative Energy Demand (MJ), Land use (m²), were assessed using the DIALECTE tool²⁹. Developed by Solagro, this French diagnostic tool aims to evaluate the environmental performance of French farms using a comprehensive approach. The Life Cycle Assessment method was used on 60 raw agricultural products. The scope of the analysis was limited to the agricultural production stage but organic and conventional products were distinguished. Details are provided in Supplemental Material 1. In addition, the pReCiPe score, a synthetic impact indicator including the three indicators above, has been calculated³⁰. To balance conflicting environmental indicators, the ReCiPe method considers both midpoint and endpoint measures. Developed in the Netherlands, this LCA method aligns the indicators to provide a comprehensive view³⁰. It focuses on 18 indicators, three of which are oriented towards final impacts, including resource availability, human health and ecosystem diversity. In practice, some authors have found that the environmental impact of food products and diets can be assessed by measuring greenhouse gas emissions, primary energy consumption, and land occupation. These factors make up about 90% of the total environmental dimension of the ReCiPe model. To calculate the environmental impact of a food product or diet, one can use the partial ReCiPe score (pReCiPe), with normalization and weighting factors³¹.

The pReCiPe score is computed as follows:

$$pReCiPe = 0.0459 \times GHGe + 0.0025 \times CED + 0.0439 \times LO$$

with GHGe, in kg of CO₂eq/d, CED, in MJ/d and LO, in m²/d. The highest the pReCiPe, the highest the environmental impact.

Nutritional quality data

Three dietary indexes were computed. The PANDiet (Diet Quality Index based on the Probability of Adequate Nutrient Intake) is a nutritional adequacy score based on the nutritional references values^{32,33}. The PNNS-GS2 (Programme National Nutrition Santé-Guidelines Score 2) measures the adherence of individuals to the French dietary guidelines established by the High Council of Public Health in 2017³⁴. The cDQI (Comprehensive Diet Quality Index) aims to assess the quality of plant and animal foods consumed³⁵. Further details are provided in Supplemental Material 2.

Health risk data

Health risk was assessed using a "Health Risk Score" (HRS) of the diet, computed using the distance to the Theoretical Minimum-Risk Exposure Level (TMREL), provided in the GBD study in 2019¹². It reflects the overall risk of death associated with the individual dietary pattern, resulted from a suboptimal consumption of each food group. The computation of the HRS, ranging from 0 to 1, is provided in the Supplemental Material 3.

Economic data

The economic data used were participants' monthly income, and their estimated food expenditures for their whole diet and each food group.

Participants' income was collected as part of the socio-economic status questionnaire, where each participant provided the income class corresponding to his/her monthly income. Income per consumption unit (C.U) were estimated using household composition and age of family members according to the INSEE procedure³⁶. In the NutriNet-Santé study, the monetary cost of the diet (€/d) was calculated for each participant using prices (€/g) from several databases. Further details are provided in Supplemental Material 4.

Statistical analysis

Among the participants in the cohort NutriNet-Santé, 29, 210 individuals were selected for this study, with Org-FFQ data, no missing data for sociodemographic aspects (except for monthly income which is a non-mandatory question) and with available information on place of purchase. Those considered as under- or over-reporters for energy intake were excluded as previously published²⁷. A flowchart is provided in Supplemental Figure 1.

Construction of the protein-source-typology and description of clusters

The contribution (in %) to total protein intake of the 23 food groups was calculated for each individual, to focus on the sources independently of the total intake. The typology aiming to identify groups of individuals with similar protein sources was built using a two-step procedure. First, a Principal Component Analysis³⁷ was applied on the 23 protein contributing food groups (the list is available on Fig. 1). This multivariate data analysis method allowed to reduce the initial range of information by maximizing the variance. Nine dimensions were retained according to Kaiser criterion (eigenvalues > 1). Then, on the basis of the retained dimensions, an Ascending Hierarchical Classification (AHC) was performed with data preprocessing using the K-means algorithm reiterated 100 times. As this study used a large database, the complementary use of the k-means and AHC methods allowed to stabilize the solution. Further details are provided in Supplemental Material 5.

Description and comparison of clusters

The clusters were named according to the food groups contributing the most to the protein intake of each cluster compared to the whole sample. First, means (SD) of protein contribution of each food group were computed (%/day) for the whole sample. Then, as cluster potentially exhibits a different energy intake than the whole sample, energy-adjusted means of protein contributions of the 23 food groups (SEM) were calculated for each cluster, using ANCOVA models.

The identified clusters were described according to the socio-demographic characteristics reporting mean (SD) or % for continuous and categorical variables respectively. Means comparison across clusters was performed using Pearson's Chi-square test for categorical variables and ANOVA test for continuous variables. For food groups consumption, mean (SD) were presented for the whole sample, and for each cluster, energy-adjusted mean of food group intakes (g/day) and standard error of the mean (SEM) were calculated, using ANCOVA models.

Percentages of total energy intake were calculated for macronutrients. For vitamins, minerals and fiber, each nutrient energy-adjusted intake was calculated based on the "residual method"³⁸. Prevalence of adequate protein intake is computed as defined in the PANDiet score³³.

To allow comparison of clusters to the whole sample in relative values for all indicators, standardized means were computed for the whole sample, corresponding to the mean that the whole sample would have if its energy intake was that of the cluster (*overall_i*). Relative values as regards energy-adjusted indicator, were then calculated with the following formula:

$$\text{Relative value of indicator}_i(\%) = \frac{\text{Energy adjusted mean}_i - \text{Standardized mean}_{\text{overall}_i}}{\text{Standardized mean}_{\text{overall}_i}} \times 100$$

where *i* denotes clusters.

Multicriteria analysis

For each sustainability indicator considered, we calculated the mean (SD), and for each cluster, energy-adjusted means (SEM) were calculated via ANCOVA models. Comparison between clusters was based on relative values computed as defined above. A comparison of means across clusters was performed using ANCOVA models.

Economic analysis

The objective was to analyze both food and protein expenditure structure across clusters. The economic analysis included 27,244 of the 29,210 participants, for whom there were no missing income data (since the question was optional). The monthly income variable, modelled, as category was transformed into a numeric variable by considering the class center of the daily income category for each individual as previously done³⁹ and converted as euros per day.

The expenditure structure analysis across clusters was conducted using a budget coefficient approach⁴⁰. This approach makes comparable the share of food expenditure between individuals with different incomes and different diets⁴⁰.

To do so, we first computed for each participant, the budget coefficients of both the overall diet and the food groups, using the following formulas:

$$\text{Budget coefficient of the overall diet}_i = \frac{\text{Overall diet expenditure}_i}{\text{Income}_i} \times 100$$

$$\text{Budget coefficient of food group}_{i,j} = \frac{\text{Food group expenditure}_{i,j}}{\text{Overall diet expenditure}_i} \times 100$$

where *i* denotes individuals and *j* denotes food groups.

Insofar as we assume that the production mode (organic/conventional) affects food expenditure, the analysis was detailed by distinguishing expenditures allocated to organic products from those allocated to conventional products. To do so, budget coefficients of organic and conventional foods, for the overall diet and for each food group were computed for each individual. For the overall diet, budget coefficients of the overall diet by production mode were computed with respect to the overall diet budget. The budget coefficients of the food groups by production mode were calculated in relation to the overall diet budget allocated to foods from the corresponding production mode.

We defined the protein expenditure as the share of the food group expenditure allocated to the daily protein intake. It was calculated, for each food group and for each participant, using the following formula:

$$\text{Protein expenditure}_{i,j} (\text{euro}) = \frac{\text{Food expenditure}_{i,j} (\text{euro}) \times \text{Protein intake}_{i,j} (\text{g})}{\text{Quantity consumed}_{i,j} (\text{g})}$$

where *i* denotes individuals and *j* denotes food groups.

Then, the "Total protein expenditure" was calculated for each participant by summing the protein expenditures for all food groups.

The budget coefficients of protein intake were then computed, using the following formulas:

$$\text{Budget coefficient of protein intake per food group}_{i,j} = \frac{\text{Protein expenditure}_{i,j}}{\text{Overall diet expenditure}_i} \times 100$$

$$\text{Budget coefficient of the total protein intake}_i = \frac{\text{Total Protein expenditure}_i}{\text{Overall diet expenditure}_i} \times 100$$

where i denotes individuals and j denotes food groups.

Afterwards, non-adjusted means (SD) were computed for all the calculated budget coefficients for the whole sample, and for each cluster, means and standard error of the mean (SEM) adjusted for energy intake were estimated using ANCOVA models. Comparison between clusters was based on relative percentage values computed using standardized means as defined above. Comparison of means across clusters was performed using the ANCOVA test.

Data management and statistical analyses were performed using RStudio software (RStudio, Version 1.4.1717, © 2009–2021 RStudio, PBC).

Results

The study population was predominantly female (75%), with a mean age of 54 (SD = 14) years (Supplemental Table 1).

Description of the protein-source typology

Based on food group contribution to protein intake, we identified 5 clusters (Fig. 1 and Table 1): *Milk-based* cluster (17% of the population), characterized by high contributions of milk (+ 336% higher than the whole sample) and beverages (coffee, tea (including with milk), all sweetened beverages except fruit juice 100%); *Meat-based* cluster (26% of the population) with high contributions of red meat to proteins (+ 54%), poultry and processed meat; *Fast-food-based* cluster (29% of the population) showing a higher protein intake derived from fast food to proteins (+ 37%), refined or wholegrain cereals, fatty and sweet products; *Healthy-fish-based* cluster (25% of the population), characterized by high protein intake from seafood (+ 49%), wholegrain cereal products, fruit and vegetables; and finally the *Healthy-plant-based* cluster (3% of the population) for which the most of protein intake is derived from the consumption of soy (+ 909%), legumes, nuts, fruit and vegetables. The detailed values are presented in Table 1, and Fig. 1.

The characteristics of the participants in the 5 clusters are shown in Supplemental Table 1. Food group consumptions across clusters are presented in Supplemental Figure 2, and computed nutrient intakes across clusters are presented in Supplemental Table 2. Total Protein intakes range from 67 g/d in the healthy-plant-based cluster to 99 g/d in the meat-based cluster, while plant-based protein intakes vary from 25 g/d in the meat-based cluster to 53 g/d in the healthy-plant-based cluster.

Multi-criteria analysis of clusters

Results of the multicriteria analysis of clusters are presented in Table 2 and Fig. 2.

Nutritional quality

Table 2 shows that the healthy-plant-based had the highest PNNS-GS2 score (+ 144% compared to the whole sample), reflecting a better adherence to the PNNS guidelines and the highest PANDiet score (+ 12% compared to the whole sample) based on nutritional reference values, followed by the healthy-fish-based cluster. This latter cluster, though, showed the highest cDQI score (+ 15% compared to the whole sample), indicating the highest quality of both animal and plant foods consumed. Inversely, the meat-based cluster had the lowest nutritional scores for all computed indicators (− 61%, − 5% and − 8% respectively for the PNNS-GS2, the PANDiet, and the cDQI indicators).

Health risk score

The health risk analysis (Table 2) showed that the structure of the healthy-plant-based cluster was the most beneficial compared to the other clusters (0.25 for the HRS score), followed by the healthy-fish-based cluster (0.53 for the HRS score). Yet, the health risk score associated with the meat-based cluster was the highest among the five clusters (0.95 for the HRS score). Furthermore, the analysis of the contribution of food groups to the health risk score shows that for all clusters, a low consumption of wholegrain products and legumes and a high consumption of red meat contribute the most to the value of the HRS.

Environmental impacts

Table 2 shows that for all observed indicators, the healthy-plant-based cluster had the least impact on the environment (pReCIpe: − 62% compared to the whole sample), while the meat-based cluster showed the highest impact (pReCIpe: + 33% compared to the whole sample) among the five identified diets. The environmental impacts of healthy-fish-based and fast-food-based clusters were lower than the whole sample means for all indicators. The milk-based diet showed similar environmental impacts to the whole sample means.

Organic food consumption across clusters

Table 2 shows that participants of the healthy-plant-based cluster had the highest share of organic consumption (+ 127% compared to the whole sample), followed by the participants of the healthy-fish-based cluster showing a 40% higher share than the average of the population. However, the participants of the meat-based and

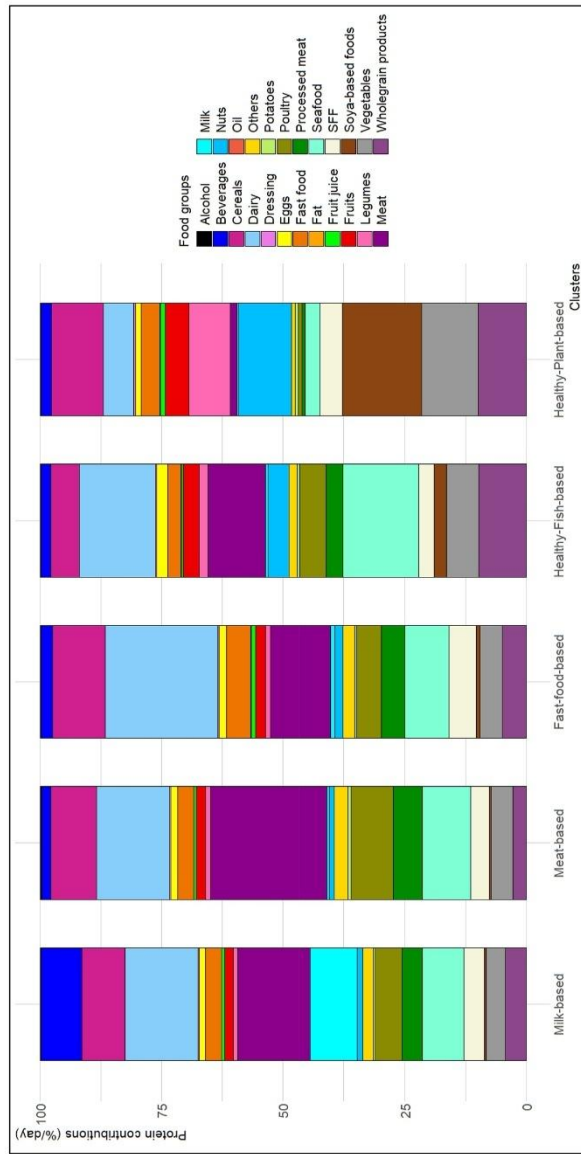


Figure 1. Protein contributions per food group across clusters. Values are energy-adjusted means of protein contributions of food groups (%/day) computed using ANCOVA model. Food groups are formed as follows: Vegetables include all vegetables and soups; Fruits include fresh fruits, fruits in syrup and compote, dried fruits and seeds; Beverages include all non-alcoholic beverages that are fruit nectar, syrup, soda (with or without sugar), plant-based beverages (except soya-based), milk consumed with tea/coffee; Dairy products include yogurts, fresh cheese and cheese; Potatoes include other tubers; Cereals include breakfast cereal low in sugar, bread semolina, rice and pasta; SFF (sweet and fat foods) include croissants, pastries, chocolate, biscuits, milky dessert, ice cream, honey and marmalade, cakes, chips, salted oilseeds, salted biscuits; Fast-food include sandwich, prepared foods such as pizza, hamburger, ravioli, panini, salted pancake, etc.; Soya-based food includes tofu, soya-based meat substitute and vegetable patties, soya-based yogurt, soya-based milk, Fat includes animal fat (butter and lard); Dressing includes ready-to-use salad dressing, mayonnaise or cream-based sauces, sour cream and butter and all fat-based sauces; Oil includes plant-based oils; Meat includes beef and pork.

Food groups	Whole sample n = 29,210	Milk-based n = 4966 (17%)	Meat-based n = 7569 (26%)	Fast-food-based n = 8469 (29%)	Healthy-fish-based n = 7189 (25%)	Healthy-plant-based n = 1017 (3%)	p
Legumes	1.41 (2.49)	0.86 (0.03)	0.95 (0.02)	1.06 (0.02)	1.71 (0.02)	8.49 (0.07)	<0.0001
Soya-based foods	1.62 (4.72)	0.43 (0.05)	0.42 (0.04)	0.83 (0.04)	2.56 (0.04)	16.33 (0.12)	<0.0001
Cereals	8.9 (6.38)	8.83 (0.09)	9.39 (0.07)	10.84 (0.07)	5.91 (0.07)	10.68 (0.19)	<0.0001
Nuts	2.39 (4.37)	1.23 (0.05)	1.00 (0.04)	1.60 (0.04)	4.37 (0.04)	11.00 (0.12)	<0.0001
Wholegrain products	5.59 (7.06)	4.26 (0.09)	2.74 (0.07)	4.91 (0.07)	9.73 (0.08)	9.93 (0.20)	<0.0001
Fruits	2.41 (2.69)	1.83 (0.04)	1.98 (0.03)	2.07 (0.03)	3.35 (0.03)	4.81 (0.08)	<0.0001
Fruit juice	0.61 (0.91)	0.59 (0.01)	0.44 (0.01)	0.89 (0.01)	0.42 (0.01)	1.07 (0.03)	<0.0001
Vegetables	5.21 (3.63)	4.00 (0.05)	4.45 (0.04)	4.61 (0.04)	6.69 (0.04)	11.55 (0.10)	<0.0001
Potatoes	0.46 (0.49)	0.39 (0.01)	0.59 (0.01)	0.42 (0.01)	0.41 (0.01)	0.60 (0.01)	<0.0001
Alcohol	0.22 (0.53)	0.16 (0.01)	0.29 (0.01)	0.22 (0.01)	0.21 (0.01)	0.20 (0.01)	<0.0001
Dressing	0.23 (0.28)	0.18 (0.00)	0.21 (0.00)	0.31 (0.00)	0.21 (0.00)	0.31 (0.01)	<0.0001
Beverages	3.19 (4.24)	8.46 (0.05)	1.99 (0.04)	2.38 (0.04)	1.95 (0.04)	2.13 (0.11)	<0.0001
Oil	0 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	<0.0001
Meat	15.26 (10.16)	14.86 (0.12)	23.94 (0.10)	12.36 (0.10)	11.8 (0.10)	1.35 (0.26)	<0.0001
Processed meat	4.55 (3.88)	4.22 (0.05)	5.99 (0.04)	4.84 (0.04)	3.50 (0.04)	0.55 (0.12)	<0.0001
Eggs	1.6 (1.66)	1.34 (0.02)	1.36 (0.02)	1.47 (0.02)	2.25 (0.02)	1.23 (0.05)	<0.0001
Fast food	3.64 (3.24)	3.22 (0.04)	3.31 (0.04)	4.94 (0.03)	2.73 (0.04)	3.81 (0.10)	<0.0001
Fat	0.08 (0.13)	0.07 (0.00)	0.07 (0.00)	0.12 (0.00)	0.08 (0.00)	0.12 (0.00)	<0.0001
Poultry	6.03 (5.14)	5.38 (0.07)	8.76 (0.05)	5.03 (0.05)	5.52 (0.06)	0.83 (0.15)	<0.0001
Dairy	17.28 (10.06)	15.14 (0.13)	15.05 (0.11)	23.16 (0.10)	15.73 (0.11)	6.29 (0.29)	<0.0001
Seafood	10.55 (7.84)	8.51 (0.10)	9.90 (0.08)	9.09 (0.08)	15.42 (0.08)	3.14 (0.23)	<0.0001
Milk	2.19 (5.06)	9.68 (0.05)	0.57 (0.04)	0.87 (0.04)	0.57 (0.04)	0.31 (0.12)	<0.0001
SFF	4.24 (3.42)	4.20 (0.05)	3.81 (0.04)	5.52 (0.04)	3.21 (0.04)	4.53 (0.10)	<0.0001

Table 1. Protein contributions of food groups across clusters. Values are mean (SD) contribution (%) for the whole sample, and energy-adjusted means of protein contributions (SEM) across clusters (ANCOVA model). *P* values were calculated using ANCOVA. Other food groups with minor contribution to protein intake are not represented. *SFF* sweetened and fatty foods.

milk-based clusters showed the lowest share of organic food (–30% compared to the whole sample) among the five identified clusters.

Economic analysis

The healthy-plant-based cluster had the largest share of income allocated to food (+46% compared to the whole sample) (Fig. 3). On the opposite, consumers of milk-based and fast-food-based clusters spent the smallest share of their income for food (–10% and –6% compared to the whole sample), while the food budget coefficient of the meat-based cluster is similar to the mean of the population studied.

Comparison of clusters by food groups revealed that budget coefficients followed the same trend as food intake across the clusters. Furthermore, analysis of food expenditure structure by cluster showed that vegetables are the food group for which all clusters spent the largest share of their overall diet expenditure, with the exception of the meat-based cluster, who spent the most for meat. After vegetables, the milk-based cluster spent more for meat and non-alcoholic beverages, the fast-food-based cluster for dairy products, the healthy-fish-based cluster for fruit and seafood, and the healthy-plant-based cluster for fruits and soya-based foods. The detailed values are presented in Supplemental Table 3.

Analysis of the overall diet budget coefficients according to the production mode (Supplemental Table 4) showed that 70% of the food expenditure of the healthy-plant-based cluster was allocated to organic products, which contributes to the higher diet expenditure. Conversely, the meat-based cluster had the lowest share of the budget allocated to organic food (20%).

In terms of budget coefficients of protein intake (Fig. 3), meat-based cluster participants were those spending the most of their overall diet expenditure for their protein intake (+13% compared to the whole sample). The healthy-plant-based cluster exhibited the lowest protein expenditure (–41% compared to the whole sample), followed by the fast-food-based and milk-based clusters (–5% and –3% respectively, compared to the whole sample). Analysis of protein expenditure structure by cluster showed that meat-based, milk-based and fast-food-based clusters spent the largest share of their overall diet expenditure on meat proteins. The healthy-fish-based cluster allocated the largest share of their overall diet expenditure to seafood proteins, while the healthy-plant-based cluster spent more on nuts proteins.

The detailed values are presented in Supplemental Table 5.

Indicators	Whole sample	Milk-based	Meat-based	Fast-food-based	Healthy-fish-based	Healthy-plant-based	<i>p</i>
Nutritional quality							
PANDiet	64.97 (7.86)	65.17 (0.09)	63.01 (0.07)	62.65 (0.07)	68.53 (0.07)	72.68 (0.21)	<0.0001
AS	78.86 (12.74)	78.43 (0.13)	78.11 (0.1)	75.73 (0.1)	83.79 (0.1)	77.64 (0.29)	<0.0001
MS	51.08 (18.49)	51.9 (0.15)	47.9 (0.12)	49.57 (0.12)	53.27 (0.13)	67.72 (0.35)	<0.0001
cDQI	51.48 (9.18)	49.57 (0.11)	48.56 (0.09)	49.33 (0.08)	58.21 (0.09)	52.97 (0.25)	<0.0001
aDQI	15.86 (3.9)	16.84 (0.05)	14.59 (0.04)	15.73 (0.04)	17.05 (0.04)	13.16 (0.11)	<0.0001
pDQI	35.62 (7.47)	32.72 (0.09)	33.96 (0.07)	33.6 (0.07)	41.16 (0.07)	39.81 (0.2)	<0.0001
PNNS-GS2	2.51 (3.56)	1.96 (0.03)	1.01 (0.03)	2.34 (0.02)	4.15 (0.03)	6.13 (0.08)	<0.0001
Environmental impacts							
GHG emissions (kg CO ₂ eq/d)	4.05 (2.48)	4.13 (0.02)	5.47 (0.02)	3.61 (0.01)	3.4 (0.02)	1.31 (0.05)	<0.0001
Cumulative energy demand (MJ/d)	17.62 (7.56)	17.08 (0.06)	21.14 (0.05)	16.18 (0.04)	17.09 (0.05)	9.85 (0.14)	<0.0001
Land use (m ² /d)	10.6 (6.75)	10.57 (0.07)	14.24 (0.05)	9.33 (0.05)	9.15 (0.05)	4.52 (0.15)	<0.0001
pRecipe	0.28 (0.16)	0.28 (0.00)	0.39 (0.00)	0.26 (0.00)	0.23 (0.00)	0.11 (0.00)	<0.0001
Organic food share	0.29 (0.27)	0.21 (0.00)	0.21 (0.00)	0.26 (0.00)	0.41 (0.00)	0.67 (0.01)	<0.0001
Health risk							
RR (%) whole grain	19.51 (12.35)	20.59 (0.16)	17.45 (0.13)	21.17 (0.12)	17.1 (0.14)	32.9 (0.37)	<0.0001
RR (%) fruits	6.98 (7.59)	7.8 (0.10)	5.17 (0.08)	8.26 (0.08)	5.8 (0.08)	14.07 (0.23)	<0.0001
RR (%) vegetables	2.19 (2.58)	2.87 (0.03)	1.54 (0.02)	2.77 (0.02)	1.69 (0.02)	2.4 (0.07)	<0.0001
RR (%) nuts/seeds	3.82 (3.17)	3.84 (0.04)	2.95 (0.03)	3.88 (0.03)	4.1 (0.03)	7.56 (0.09)	<0.0001
RR (%) legumes	10.24 (6.47)	10.29 (0.08)	7.63 (0.07)	10.63 (0.06)	12.21 (0.07)	12.14 (0.19)	<0.0001
RR (%) milk	6.65 (5.86)	3.03 (0.06)	4.41 (0.05)	6.95 (0.05)	9.15 (0.05)	20.65 (0.14)	<0.0001
RR (%) processed meat	16.87 (10.22)	16.58 (0.14)	18.26 (0.11)	17.73 (0.1)	16.47 (0.11)	3.75 (0.3)	<0.0001
RR (%) red meat	32.97 (16.75)	34.08 (0.21)	41.97 (0.17)	27.67 (0.16)	32.89 (0.17)	5.19 (0.46)	<0.0001
RR (%) sweetened beverages	0.73 (1.96)	0.86 (0.02)	0.58 (0.02)	0.88 (0.02)	0.53 (0.02)	1.29 (0.06)	<0.0001
HRS	0.69 (0.29)	0.7 (0.00)	0.95 (0.00)	0.65 (0.00)	0.53 (0.00)	0.25 (0.00)	<0.0001

Table 2. Sustainability indicators across clusters. Values are mean (SD) for the whole sample, and adjusted means of indicators on total energy intake (SEM) across clusters (ANCOVA model). *P* values were calculated using ANCOVA. *AS* adequation sub-score of PANDiet, *MS* moderation sub-score of PANDiet, *HRS* health risk score, *RR* relative risk.

Discussion

We extracted five clusters based according to food-group contribution to protein intake (all analyses are adjusted for energy intake). The healthy-plant-based cluster (3%) and the healthy-fish-based cluster (25%) were the most sustainable for the environmental, nutritional and health dimensions. Conversely, the meat-based cluster (26%) exhibited the highest environmental pressures, the lowest nutritional scores and a high health risk. Furthermore, based on an economic analysis, we observed that although the healthy-plant-based cluster had the highest food budget coefficient, its expenditure for protein intake was the lowest. Conversely, expenditure on protein intake was high for the meat-based cluster eaters. This study therefore argues that the protein sources of a diet are a good factor in the sustainability of diets.

Nutritional quality and health risk across diets

The healthy-plant-based cluster exhibited the highest PANDiet score, and a better adherence to the PNNS guidelines. In fact, while the choice of protein sources in individuals' diets often raises the question of protein adequacy (including protein and amino acid intakes)¹⁶, previous studies documented that balanced diets in accordance with public health goals and with low meat intake, provide an adequate intake for most nutrients⁴¹. Indeed, the amounts and quality of plant-based proteins are frequently underestimated or misunderstood⁴². Moreover, maintaining protein adequacy in spite of the decrease in the consumed quantity of animal protein could be explained by the great excess above the needs in terms of protein intake in Western countries¹⁶. But this issue is still being debated and for example, a Canadian cohort study stated that the transition to plant-based protein might be nutritionally challenging since animal protein contributes overwhelmingly to total protein intake, particularly for the elderly⁴³.

The health risk analysis showed that the dietary structure of the healthy-plant-based cluster eaters is the most protective in terms of health benefits, as reflected using the HRS, while the health risk associated with the meat-based cluster is much higher. Similar results were found using another health risk estimator, the HiDiet score, aiming to evaluate the effect of diet on long-term morbidity and mortality²². Thus, plant-based protein consumption was proven to be associated with nutrient intakes and dietary profiles that are supportive of cardiometabolic health⁴⁴. Moreover, the reduction in premature mortality associated with the adoption of balanced low-meat diets,

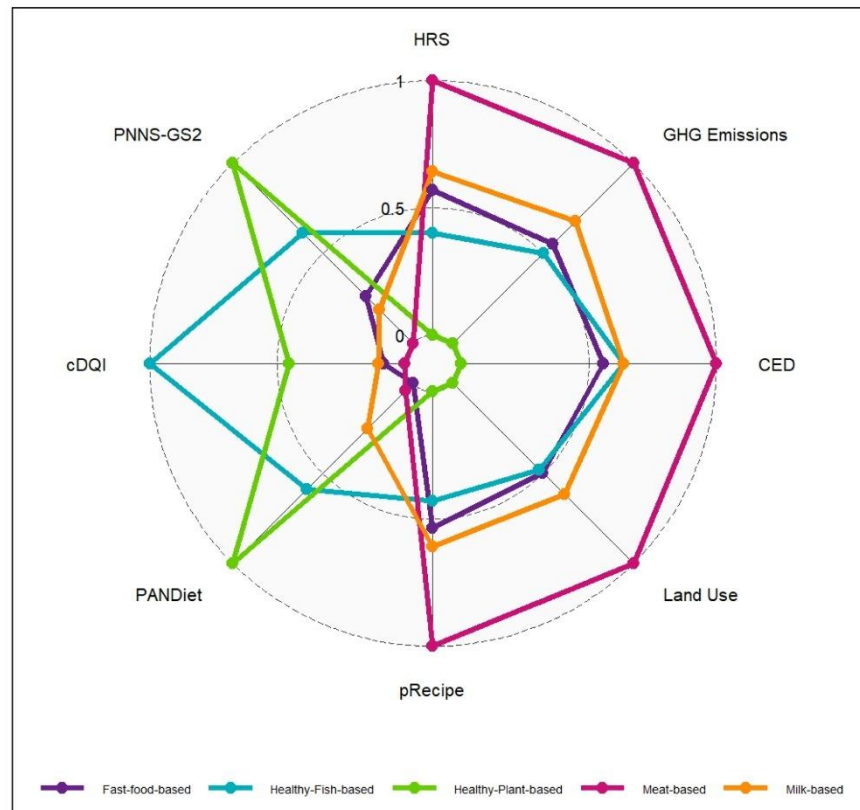


Figure 2. Sustainability indicators across clusters. The energy-adjusted means of indicators, computed using ANCOVA model, were rescaled to the same scale by equalizing the maximum value to 1 and the minimum value to 0 for each indicator. For the environmental indicators and the HRS, higher values denote higher impacts/risk. For nutritional quality indicators, higher values denote higher nutritional quality. *HRS* health risk score, *GHG* greenhouse gas (kg CO₂ eq/d), *CED* cumulative energy demand (MJ/d); Land Use (m²/d), *pRecipe* partial Recipe, *PANDiet* diet quality index based on the probability of adequate nutrient intake, *cDQI* comprehensive diet quality index, *PNNS-GS2* Programme National Nutrition Santé-Guidelines Score 2.

was estimated at 19% for the flexitarian diet and 22% for the vegan diet⁴¹. Furthermore, the association between animal sourced food consumption and the risk of chronic diseases has been established by literature^{45–47}. For instance, it has been demonstrated that a 5% substitution of animal protein with plant protein would reduce the risk of incidence of type 2 diabetes by 23%⁴⁸. Indeed, red and processed meat were proved to be risk factors for type 2 diabetes, while soy and dairy products provide protection⁴⁹.

Environmental impacts across the diets

As the literature on the environmental impacts of protein consumption has not been sufficiently developed, we situated our results in relation to existing studies comparing predominantly animal-based diets to more plant-based diets. In our study, the healthy plant-based cluster had less environmental impact than the meat-based cluster, which exhibited the highest environmental pressures. This is in accordance with the available literature regarding the lowest impact of plant-based dietary patterns^{3,22,50,51}. Moreover, it has been demonstrated, in a comprehensive review⁵², that the decrease of the environmental footprint is generally proportional to the extent to which animal-based food consumption is restricted⁴¹. Furthermore, we reported that belonging to the healthy-plant-based cluster was concomitant with a higher consumption of organic products, as shown before⁵³, which could contribute to the lower environmental impacts, especially for energy demand. A previous study also based on the NutriNet-Santé cohort⁵⁴, showed that organic food consumption could partly explain the inverse link

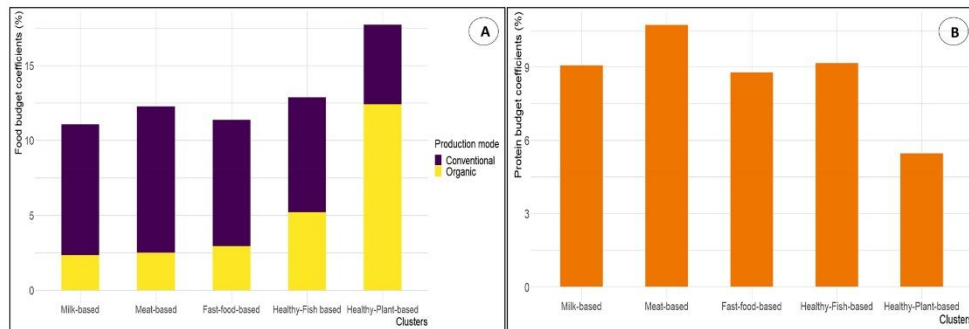


Figure 3. Food budget coefficients across clusters according to production mode (A); protein budget coefficients across clusters (B). Values are energy-adjusted means of budget coefficients computed using ANCOVA model. Panel A refers to food budget coefficients across clusters according to production mode (organic/conventional). Panel B refers to protein budget coefficients across clusters.

between plant-based diet and some environmental impacts (GHG emissions and energy demand), specifying that this link is only established for individuals with diets rich in plant-based foods.

Economic analysis

We showed that, at constant energy intake, the overall diet expenditure of the healthy-plant-based cluster was the highest among the five clusters, followed by the healthy-fish-based cluster, and to a lesser extent the meat-based cluster. In that regard, a previous study based on a representative sample of 1719 French adults (INCA2), showed that meeting with nutritional reference values systematically increased the cost of food⁵⁵, which is consistent with our previous findings regarding the superiority of the nutritional quality of healthy-plant-based and healthy-fish-based clusters. Nevertheless, improving diet quality by optimization on nutritional constraints without increasing food expenditure, regardless of the initially observed cost, has been shown to be possible⁵⁵. However, for food budgets below 3.85€/day, significant diet changes were needed. Furthermore, the high food budget coefficients associated with the healthy-plant-based and healthy-fish-based clusters might also be explained by the much higher share of organic food consumption of these two clusters. Similarly, another study also based on the NutriNet-Santé cohort⁵⁶ demonstrated that high consumers of organic food displayed a high consumption of plant-based foods and a healthier diet. Thus, the monetary cost of their diet was higher (+26%) compared to that of low consumers due to the higher prices of organic products as shown by a decomposition model of the effects. This dual choice seems a best option by resulting in a markedly reduced exposure to pesticides from diet⁵⁶.

Interestingly, the protein budget coefficient of the meat-based cluster was higher than that of other clusters, which could be explained by both the higher prices of protein foods characteristic of the diet adopted by this cluster's participants (meat, poultry and processed meat) and their higher protein intake (+6% compared to the whole sample). Inversely, both the lower protein intake of the healthy-plant-based cluster eaters (-27% compared to the whole sample) and the lower prices of their diet's proteins sources (soya-based foods, legumes and nuts), might explain the lower protein budget coefficient. Indeed, it has been previously demonstrated in a meta-analysis assessing the nutritional status of meat-based diets compared to plant-based diets, that the protein intake of meat eaters was higher than that of people adopting a plant-based diet, although it was still within the recommended levels⁵⁷.

Multicriteria analysis of diets' sustainability according to protein intake

The scarcity of studies on sustainability in its entirety is inherent to its multidimensionality, which makes it complex to conduct research in this sense. Indeed, while a multi-criteria analysis of protein profiles²³ close to our study only addressed 2 of the 4 dimensions of diets sustainability (environment, nutrition and health) according to the FAO definition²¹, we also focused on the economic aspect since this dimension has rarely been accounted for in multi-criteria studies on sustainability. The economic analysis we carried out aimed to provide an initial overview of the aspect of economic affordability. However, cultural acceptability, which is a significant obstacle to achieving changes in dietary behaviour, haven't been sufficiently addressed neither in our work nor in that of Perraud et al.²². On the other hand, the multiplicity of aspects making up these dimensions prevent from covering them entirely. Indeed, although we assessed the environmental pressures and impacts on 3 aspects, the above-mentioned study²² evaluated other impacts by mobilizing more indicators, but without distinguishing organic and conventional foods as we did. The results of this study²² remain consistent with ours, showing that protein profiles associated with low meat consumption tend to be more sustainable on the two dimensions analysed, namely environment, nutrition and health. Moreover, due to the difference in dietary behaviours of the different populations considered in these two studies, discrepancies with our results are identified, notably

in the identification of clusters (distinction between ruminant and monogastric meat in the protein profiles²², identification of more plant-based protein profiles in our work).

Action levers for greater sustainability

Insofar as we concluded that the nature of protein intake is a discriminating factor in the sustainability of diets, it is relevant to consider this factor for the development of action plans for changing dietary patterns towards greater sustainability. As previously mentioned, meat consumption is associated with socio-cultural values, making transitions to plant-based diets more complex to manage in practice^{58,59}. To this end, some suggestions have been developed in the literature. First, at the production stage, some environmental impacts could be reduced by integrating crops and livestock⁶⁰ and promoting grazing systems. This could improve efficiency of animal feeding and nutrient cycling, besides crop rotation through temporary grasslands. Also, non-food biomass would serve as feed for animals, which provide organic fertilizer⁶⁰. Then, at the consumption stage, an intrinsic change in diet at the food group level could be operated. As we demonstrated that beef, pork and poultry consumption are correlated for the meat-based cluster, replacing ruminant meat by poultry^{13,61} could contribute to reduce some environmental pressures, especially GHG emissions¹³ and to lower the health risk compared to red meat¹³. However, this raises the question of the individualized nature of dietary pattern, which conditions the feasibility of the effective transition from potential pathways to action plans for sustainable dietary changes. Acceptability is thus enhanced by considering personalized and targeted recommendations.

Strengths and limitation

First of all, it is important to note that the participants in the NutriNet-Santé cohort are volunteers, who may have a greater interest in nutrition and health compared to the general population. As a result, this sample exhibits certain characteristics such as a higher proportion of women, older individuals, those with higher education and healthier dietary habits⁶². However, the large sample size allows access to a wide variety of dietary profiles and probably a higher representation of diets rich in plant-based foods. However, our sample is not representative of the French population and these results cannot be directly generalized. Secondly, the environmental data mobilized are limited to the production stage. However, this stage represents the major part of the environmental impacts of the food system. And, as mentioned above, the socio-cultural dimension associated with the choice of protein sources in diets was not considered in this study. However, our study is the first to provide a multi-criteria analysis of sustainability according to protein profiles, while including an economic analysis. It covers a large French population, with various dietary patterns, including plant-based diets. Moreover, our study considers production modes (organic, conventional), and the data on food expenditures are quite accurate by considering consumers' places of purchase.

Conclusion

In conclusion, the nature of protein intake is a good discriminating factor of diets sustainability. The healthy-plant-based and healthy-fish-based clusters were the most sustainable, allowing to conciliate the trade-off between individual and environmental health. Conversely, the meat-based cluster exhibited the highest environmental pressures, the lowest nutritional scores and a higher health risk score. Additionally, although the healthy-plant-based cluster had the highest food budget coefficient, their expenditure on protein intake was the lowest. However, this same expenditure was high for the meat-based cluster, which is explained by both higher prices of the protein sources consumed and their higher protein intake. These results could be useful for the development of food transition strategies aimed at reducing animal protein consumption.

Data availability

Analytic code will be made available upon request pending to Dr Emmanuelle Kesse-Guyot (e.kesse@eren.smbh.univ-paris13.fr). Researchers from public institutions can submit a collaboration request including information on the institution and a brief description of the project to collaboration@etude-nutrinet-sante.fr. All requests will be reviewed by the steering committee of the NutriNet-Santé study. If the collaboration is accepted, a data access agreement will be necessary and appropriate authorizations from the competent administrative authorities may be needed. In accordance with existing regulations, no personal data will be accessible.

Received: 12 April 2023; Accepted: 12 October 2023

Published online: 19 October 2023

References

- Campbell, B. M. *et al.* Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *E&S* **22**(4), art8 (2017).
- Rockström, J. *et al.* A safe operating space for humanity. *Nature* **461**(7263), 472–475 (2009).
- Steffen, W. *et al.* Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. **347**(6223), 1259855 (2015).
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A. Climate change 2021: The physical science basis: Summary for policymakers: working group I contribution to the sixth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC; 2021.
- The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf [Internet]. [cited 2023 Sep 21]. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf>.
- Crippa, M. *et al.* Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nat Food* **2**(3), 198–209 (2021).
- Clune, S., Crossin, E. & Verghese, K. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *J. Clean Prod.* **140**, 766–783 (2017).
- Clark, M., Hill, J. & Tilman, D. The diet, health, and environment trilemma. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **43**, 109–134 (2018).

9. Nott, J. "No one may starve in the British Empire": Kwashiorkor, protein and the politics of nutrition between Britain and Africa. *Soc. Hist. Med.* **34**(2), 553–576 (2021).
10. IPES-Food. The politics of protein: Examining claims about livestock, fish, 'alternative proteins' and sustainability. 2022.
11. Chatellier, V. & Dupraz, P. Les performances économiques de l'élevage européen: de la "compétitivité coût" à la "compétitivité hors coût". *INRAE Prod. Anim.* **32**(2), 171–188 (2019).
12. Murray, C. J. L. *et al.* Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet* **396**(10258), 1223–1249 (2020).
13. Poore, J. & Nemecek, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science* **360**(6392), 987–992 (2018).
14. Clark, M. A., Springmann, M., Hill, J. & Tilman, D. Multiple health and environmental impacts of foods. *Proc Natl Acad Sci USA* **116**(46), 23357–23362 (2019).
15. Xu, X. *et al.* Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nat. Food* **2**(9), 724–732 (2021).
16. Mariotti, G. Dietary protein and amino acids in vegetarian diets—A review. *Nutrients* **11**(11), 2661 (2019).
17. Bloomberg Intelligence. Bloomberg Intelligence. Plant-Based Foods Poised for Explosive Growth. Bloomberg Professional Services, August, 2021. <https://www.bloomberg.com/professional/bi-research/?Dyn=plant-based-food>. (2021).
18. Sobiecki, J. G., Appleby, P. N., Bradbury, K. E. & Key, T. J. High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition-Oxford study. *Nutr. Res.* **36**(5), 464–477 (2016).
19. Vergnaud, A. C. *et al.* Meat consumption and prospective weight change in participants of the EPIC-PANACEA study. *Am. J. Clin. Nutr.* **92**(2), 398–407 (2010).
20. Fogelholm, M., Kanerva, N. & Männistö, S. Association between red and processed meat consumption and chronic diseases: The confounding role of other dietary factors. *Eur. J. Clin. Nutr.* **69**(9), 1060–1065 (2015).
21. Burlingame, B. & Dernini, S. Sustainable diets and biodiversity: Directions and solutions for policy, research and action: Proceedings of the international scientific symposium Biodiversity and sustainable diets united against hunger, 3–5 November 2010, FAO headquarters, Rome. Rome: FAO (2012).
22. Perraud, E., Wang, J., Salomé, M., Mariotti, F. & Kesse-Guyot, E. Dietary protein consumption profiles show contrasting impacts on environmental and health indicators. *Nutrition* <https://doi.org/10.1101/2022.07.07.22277350> (2022).
23. Darmon, N. & Drewnowski, A. Contribution of food prices and diet cost to socioeconomic disparities in diet quality and health: A systematic review and analysis. *Nutr. Rev.* **73**(10), 643–660 (2015).
24. Hercberg, S. *et al.* The Nutrinet-Santé Study: A web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC Public Health* **10**(1), 242 (2010).
25. Vergnaud, A. C. *et al.* Agreement between web-based and paper versions of a socio-demographic questionnaire in the NutriNet-Santé study. *Int. J. Public Health* **56**(4), 407–417 (2011).
26. General Assembly of the World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *J. Am. Coll. Dent.* **81**(3), 14–18 (2014).
27. Baudry, J. *et al.* Contribution of organic food to the diet in a large sample of French adults (the NutriNet-Santé Cohort Study). *Nutrients* **7**(10), 8615–8632 (2015).
28. NutriNet-Santé. Table de Composition Des Aliments ETUDE NUTRINET SANTE - Economica. <https://www.economica.fr/livre-table-de-composition-des-aliments-etude-nutrinet-sante-c2x32211075>. (2013).
29. Pointereau, P., Langevin, B. & Gimaret, M. DIALECTE, a comprehensive and quick tool to assess the agro-environmental performance of farms. Producing and reproducing farming systems New modes of organisation for sustainable food systems of tomorrow 10th European IFSA Symposium, Aarhus, Denmark, 1–4 July 2012 [Internet]. 2012 [cited 2023 Mar 14]. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133410218>.
30. Goedkoop, M., Heijungs, R. & Huijbregts, M. ReCIPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. (2013).
31. Kramer, G. F., Tyszler, M., Van't Veer, P. & Blonk, H. Decreasing the overall environmental impact of the Dutch diet: How to find healthy and sustainable diets with limited changes. *Public Health Nutr.* **20**(9), 1699–1709 (2017).
32. de Gavelle, E., Huneau, J. F., Fouillet, H. & Mariotti, F. The initial dietary pattern should be considered when changing protein food portion sizes to increase nutrient adequacy in French adults. *J. Nutr.* **149**(3), 488–496 (2019).
33. Verger, E. O., Mariotti, F., Holmes, B. A., Paineau, D. & Huneau, J. F. Evaluation of a diet quality index based on the probability of adequate nutrient intake (PANDiet) using national French and US dietary surveys. *PLoS ONE* **7**(8), e42155 (2012).
34. Kesse-Guyot, E. *et al.* Association between adherence to the French dietary guidelines and the risk of type 2 diabetes. *Nutrition* **84**, 111107 (2021).
35. Keaver, L. *et al.* Plant- and animal-based diet quality and mortality among US adults: A cohort study. *Br. J. Nutr.* **125**(12), 1405–1415 (2021).
36. INSEE. Définition - Nombre d'unités de Consommation Du Ménage Fiscal | Insee. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1001>. (2009).
37. O'Rourke, N., Hatcher, L., Stepanski, E. J. & Hatcher, L. *A Step-by-Step Approach to Using SAS for Univariate and Multivariate Statistics* 2nd edn. (Wiley, New York, 2005).
38. Willett, W. & Stampfer, M. J. Total energy intake: Implications for epidemiologic analyses. *Am. J. Epidemiol.* **124**(1), 17–27 (1986).
39. Seconda, L. *et al.* Assessment of the sustainability of the mediterranean diet combined with organic food consumption: An individual behaviour approach. *Nutrients* **9**(1), 61 (2017).
40. Ferrant, C. & Plessz, M. Structure des budgets alimentaires dans l'enquête Budget de famille 2011. hal-01247408. (2015).
41. Springmann, M. *et al.* Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: A global modelling analysis with country-level detail. *Lancet Planet. Health* **2**(10), 451–461 (2018).
42. Katz, D. L., Doughty, K. N., Geagan, K., Jenkins, D. A. & Gardner, C. D. Perspective: The public health case for modernizing the definition of protein quality. *Adv. Nutr.* **10**(5), 755–764 (2019).
43. Auclair, O. & Burgos, S. A. Protein consumption in Canadian habitual diets: Usual intake, inadequacy, and the contribution of animal- and plant-based foods to nutrient intakes. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **46**(5), 501–510 (2021).
44. Mariotti, F. Protéines animales et végétales: quels effets sur la santé cardio-métabolique?. *Médecine des Maladies Métaboliques* **13**(3), 245–251 (2019).
45. Giromini, C. & Givens, D. I. Benefits and risks associated with meat consumption during key life processes and in relation to the risk of chronic diseases. *Foods* **11**(14), 2063 (2022).
46. Daniel, C. R., Cross, A. J., Koehnck, C. & Sinha, R. Trends in meat consumption in the USA. *Public Health Nutr.* **14**(4), 575–583 (2011).
47. Salter, A. M. The effects of meat consumption on global health: -EN- -FR- Les effets de la consommation de viande sur la santé dans le monde -ES- Efectos del consumo de carne en la salud mundial. *Rev. Sci. Tech. OIE* **37**(1), 47–55 (2018).
48. Malik, V. S., Li, Y., Tobias, D. K., Pan, A. & Hu, F. B. Dietary protein intake and risk of type 2 diabetes in US men and women. *Am. J. Epidemiol.* **183**(8), 715–728 (2016).

49. Tian, S. *et al.* Dietary protein consumption and the risk of type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *Nutrients* **9**(9), 982 (2017).
50. Weindl, L. *et al.* Sustainable food protein supply reconciling human and ecosystem health: A Leibniz Position. *Glob. Food Secur.* **25**, 100367 (2020).
51. Auestad, N. & Fulgoni, V. L. What current literature tells us about sustainable diets: Emerging research linking dietary patterns, environmental sustainability, and economics. *Adv. Nutr.* **6**(1), 19–36 (2015).
52. Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J. M., Smith, P. & Haines, A. The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: A systematic review. *PLoS ONE* **11**(11), e0165797 (2016).
53. Baudry, J. *et al.* Typology of eaters based on conventional and organic food consumption: Results from the NutriNet-Santé cohort study. *Br. J. Nutr.* **116**(4), 700–709 (2016).
54. Lacour, C. *et al.* Environmental impacts of plant-based diets: How does organic food consumption contribute to environmental sustainability? *Front. Nutr.* **9**(5), 8 (2018).
55. Maillot, M., Vieux, F., Delaere, F., Lluch, A. & Darmon, N. Dietary changes needed to reach nutritional adequacy without increasing diet cost according to income: An analysis among French adults. *PLoS ONE* **12**(3), e0174679 (2017).
56. Baudry, J. *et al.* Improvement of diet sustainability with increased level of organic food in the diet: Findings from the BioNutriNet cohort. *Am. J. Clin. Nutr.* **109**(4), 1173–1188 (2019).
57. Neufingerl, N. & Eilander, A. Nutrient intake and status in adults consuming plant-based diets compared to meat-eaters: A systematic review. *Nutrients* **14**(1), 29 (2021).
58. Niva, M., Vainio, A. & Jallinoja, P. Barriers to increasing plant protein consumption in western populations. In *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention [Internet]*. Elsevier; 2017 [cited 2023 Mar 14]. p. 157–71. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128039687000101>.
59. Graça, J., Godinho, C. A. & Truninger, M. Reducing meat consumption and following plant-based diets: Current evidence and future directions to inform integrated transitions. *Trends Food Sci. Technol.* **91**, 380–390 (2019).
60. Smith, P. *et al.* How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals? *Glob. Change Biol.* **19**(8), 2285–2302 (2013).
61. Clark, M. & Tilman, D. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environ. Res. Lett.* **12**(6), 064016 (2017).
62. Kesse-Guyot, E. *et al.* Lessons learned from methodological validation research in E-epidemiology. *JMIR Public Health Surveill.* **2**(2), e160 (2016).

Acknowledgements

We thank Cédric Agaësse, Alexandre De-Sa and Rebecca Lutchia (dietitians) (dietitian); Thi Hong Van Duong, Younes Esseddik (IT manager), Régis Gatibelza, Jagatjit Mohinder and Aladi Timera (computer scientists); Julien Allegre, Nathalie Arnault, Laurent Bourhis, Nicolas Dechamp and Fabien Szabo de Edelenyi, PhD (supervisor) (data-manager/statisticians) for their technical contribution to the NutriNet-Santé study; Merveille Kouam (health event validator), Maria Gomes (Nutrinaute support) and Nathalie Druésne-Pecollo, PhD (operational coordination). We thank all the volunteers of the NutriNet-Santé cohort. Nicolas Dechamp (data-manager/statisticians); Merveille Kouam (health event validator); Maria Gomes (participant support). Alexandre De Sa (dietitian), Rebecca Lutchia (dietitian).

Author contributions

E.K.G., B.A., D.L., P.P. and J.B., led the BioNutriNet project on which the data used. H.T. conducted the analysis supervised by E.K.G. H.T. wrote the statistical script, conducted analyses and drafted the manuscript. All authors critically helped in the interpretation of results, revised the manuscript and provided relevant intellectual input. They all read and approved the final manuscript. E.K.G. had primary responsibility for the final content, she is the guarantor.

Funding

The NutriNet-Santé study is funded by French Ministry of Health and Social Affairs, Santé Publique France, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, National Research Institute for Agriculture, Food and the Environment, Conservatoire National des Arts et Métiers, and Sorbonne Paris Nord University. The BioNutriNet project (PI EKG) was supported by the French National Research Agency (Agence Nationale de la Recherche) in the context of the 2013 Programme de Recherche Systèmes Alimentaires Durables (ANR-13-ALID-0001). The funders had no role in the study design, data collection, analysis, interpretation of data, preparation of the manuscript, and decision to submit the paper. JBr was supported by a Doctoral Funding from National Research Institute for Agriculture, Food and the Environment (INRAE) and ADEME—Galilée Doctoral School.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Additional information

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44872-3>.

Correspondence and requests for materials should be addressed to H.T.

Reprints and permissions information is available at www.nature.com/reprints.

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

© The Author(s) 2023

Online Supplemental material

The analysis scope considered by the DIALECTE tool (1) is limited to the agricultural production stage. The production of inputs and the supply of energy are included in this scope, while the processing, packaging, transport, storage and recycling phases are excluded. This tool contains information from 2,086 farms with different production systems, 46% of which are certified organic.

Thereby, in the NutriNet-Santé study (2,3), these indicators were calculated by multiplying the individual food consumption of each product by the corresponding values of the environmental indicators and conversion factors. The conversion factors allow for the conversion of agricultural products into food products in order to be able to estimate the environmental impacts associated with food as consumed. Economic allocations by co-product were applied, followed by mass, cooking and edibility coefficient assignments. Then by summing all the food consumed, considering the production mode, the environmental impact of the overall diet is obtained. Economic allocations by co-product were applied, followed by mass, cooking and edibility coefficient assignments. Hence, indicators' values for the ingredient as consumed were obtained.

The pReCiPe score, a synthetic impact indicator, has been calculated (4). It corresponds to a partial ReCiPe indicator. To balance conflicting environmental indicators, the ReCiPe method considers both midpoint and endpoint measures. Developed in the Netherlands, this LCA method aligns the indicators to provide a comprehensive view (5). It focuses on 18 indicators, three of which are oriented towards final impacts, including resource availability, human health and ecosystem diversity. In practice, some authors have found that the environmental impact of food products and diets can be assessed by measuring greenhouse gas emissions, primary energy consumption, and land occupation. These factors make up about 90% of the total environmental dimension of the ReCiPe model. To calculate the environmental impact of a food product or diet, one can use the partial ReCiPe score (pReCiPe), with normalization and weighting factors (4).

Supplemental Method 2: Computation of dietary indexes

The nutritional quality of individual diets was assessed using the following scores:

The **PANDiet** (Diet Quality Index based on the Probability of Adequate Nutrient Intake) score describes the nutritional quality of a diet (6,7). Its value ranges from 0 to 100, and includes 28 nutrients, aggregating the means of two sub-scores, namely adequacy score (**AS**) and moderation score (**MS**).

The AS is the average probability that nutrient intakes meet the reference values for the following nutrients: total fat, fiber, protein, vitamins (A, B1, B2, B3, B5, B6, B9, B12, C, D and E), bioavailable iron, copper, iodine, calcium, magnesium, manganese, phosphorus, potassium, bioavailable zinc, selenium, n-3 and n-6 fatty acids, docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid. The MS is the average probability that nutrient intakes will not exceed the reference value, determined by the nature of the nutrient, for the following nutrients: vitamins B3, B6, B9, D and E, retinol calcium, magnesium, copper, selenium, iodine and zinc.

The **PNNS-GS2** (National Nutrition Health Guidelines Score) measures the adherence of individuals to the French dietary recommendations established by the HCSP (High Council of Public Health) in 2017 (8) and launched in 2019. It includes 13 components referring to two food categories. Healthy foods whose consumption increases the score, including fruits and vegetables, wholegrain foods, legumes, milk and dairy products, nuts, fish and seafood, and added fats that are oils rich in α -linolenic acid; and foods whose consumption should be limited, as it leads to negative points, namely sugary foods, red meat, processed meat, sweetened beverages, alcoholic beverages and salt. The reference portions were determined according to the portions usually consumed in France. An expertise agreed to set the scores and thresholds between 0 and 2 to reflect compliance with the recommendations for healthy foods, and between 0 and -2 for foods to be limited. In addition, a dimension of organic food consumption was considered in the score for plant foods, notably breads and cereals, fruits and vegetables and legumes, by attributing malus and bonus. Weighting was applied between components according to the evidence established for the relationship with health, based on an expert panel (9).

Annexes

In the case where energy intake exceeds energy expenditure by more than 5%, a penalty is deducted from the score (PNNS-GS penalized). Thus, the final score can range from $-\infty$ to 14.25.

The ***cDQI*** (Comprehensive Diet Quality Index) aims to assess the quality of diets by evaluating their plant and animal components (10).

The ***pDQI*** (Plant-based Diet Quality Index) focuses on the quality of plant-based foods, considering two groups of foods, namely healthy foods (wholegrain products, fruits, vegetables except potatoes, nuts, seeds and legumes, vegetable oils, coffee and tea) and foods to be limited (refined grains, fruit juices, potatoes, sweetened beverages and foods).

The ***aDQI*** (Animal-based Diet Quality Index), describes the quality of foods of animal origin. It includes two groups of foods, healthy (fish and seafood, dairy products and poultry) and those to be limited (red meat, processed meat and eggs). For each food, a score ranging from 0 to 5 is assigned depending on whether the consumption of the considered food corresponds to the reference consumption. Thus, the final scores vary between 0 and 55 for pDQI, and from 0 to 30 for aDQI. The final cDQI score is obtained by adding the two pDQI and aDQI scores, and varies between 0 and 85.

Supplemental Method 3: Computation of the Health Risk Score

The Global Burden Of Disease (GBD) study aims to describe the morbidity and mortality of major diseases and health risk factors worldwide (11). Conducted by the IHME (Institute for Health Metrics and Evaluation), it is the most comprehensive global observational epidemiological study to understand the health challenges facing people worldwide in the 21st century. The TMREL (Theoretical Minimum-Risk Exposure Level), defined in the GBD study, refers to the level of exposure that minimizes the risk of death involved by all the causes associated with a single risk factor (in this case over- or under-consumption of a food or nutrient). The aim is to estimate the optimal intake of each factor using an objective approach, rather than the conventional subjective approach based on expert opinion. To do this, the GBD study reviewed numerous studies to assess the relationship between each risk factor and disease indicator, then the intake level associated with the lowest risk of mortality for that indicator was calculated to obtain a disease-specific optimal intake level. The TMREL equals the average of these optimal values weighted by the number of deaths caused by each disease worldwide. In other words, the TMREL is the optimal level of a food consumption that minimizes the risk of death from an over- or an under-consumption of that food.

Thereby, the diet Health Risk Score (HRS) (12) constructed from the distance to the TMREL, used in this study, corresponds to the risk associated with the overall diet, and it is calculated with the formula:

$$HRS = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\text{Cons}(i)}{\text{Max}(i)} \times \frac{\text{DALYs}(i)}{\text{DALYs}(\text{all})} \right) + \sum_{j=1}^6 \left(\max \left[\frac{\text{TMREL}(j) - \text{Cons}(j)}{\text{TMREL}(j)}; 0 \right] \times \frac{\text{DALYs}(j)}{\text{DALYs}(\text{all})} \right)$$

Where:

- **i**: food groups to be restricted (red meat, processed meat et sweetened beverages);
- **j**: healthy food groups to be promoted (wholegrain foods, fruits, vegetables, legumes, nuts and grains, milk);
- **Max(i)**: upper limit of consumption of the food group i (g/d);
- **TMREL(j)**: TMREL value for the food group j (g/d);

- **DALYs(i), DALYs(j)**: disability-adjusted life years associated with over-/under-consumptions of the food groups i and j respectively (in years);
- **DALYs(all)**: total of all DALYs(i) and DALYs(j).

The TMREL and corresponding DALYs values are presented below.

Table 1: Theoretical minimum-risk exposure level (TMREL) and disability-adjusted life-years (DALYs) values used in the optimization model in males and females.

		TMREL ¹ (g/d)		DALYs ² (y)	
		Males	Females	Males	Females
Unhealthy foods	Red meat	0	0	28 562	20 824
	Processed meat	0	0	14 346	6 288
	Sweetened beverages	0	0	4 105	1 791
Healthy foods	Whole grains	170	137	31 405	10 987
	Fruit	367	297	20 130	9 512
	Legumes	107	87	17 103	3 386
	Vegetables	339	274	9 342	3 090
	Nuts and seeds	16	13	6 531	1 355
	Milk	486	393	3 521	2 727
	Total			135 045	59 961

¹According to the most recent (2019) estimates from the GBD, the TMREL values are of 0 g/d for red meat, processed meat and sweetened beverages, and of 150, 325, 95, 300, 14.5 and 430 g/d respectively for whole cereal products, fruits, legumes, vegetables, nuts and seeds, and milk. As these TMREL values are global estimates corresponding to a mean energy intake of 2,300 kcal (13), we used gender-specific values adapted to the particular energy intake of men and women in our French population (centered around 2600 kcal and 2100 kcal in men and women, respectively).

²We used the most recent (2019) French gender-specific DALYs values associated with excessive/insufficient consumptions of unhealthy/healthy foods, available from the Global Health Data Exchange website (<http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>).

The computation is done in 3 steps. First, for each food group, the distance to the TMREL is calculated, and refers to the adequacy of the quantity consumed to the reference level of the TMREL. For healthy food groups, a high consumption (above the TMREL) corresponds to a score of 0, while a consumption below the TMREL results in a score strictly greater than 0 and less than or equal to 1. Consequently, the higher the score, the worse the health impact. For foods to be limited, consumption below the reference portion results in a score between 0 and 1, while overconsumption is associated with a score strictly greater than 1. Thus, values obtained range between 0 and 1.

Then, the calculated distance is weighted by the ratio between food specific DALYs (Disability-Adjusted Life Years) to total DALYs of all foods. This reflects the risk of death related to a suboptimal consumption of a food, weighted by the years of life lost due to this food specific consumption (sum

Annexes

of years lived with disability and years lost due to early death). The interpretation is similar to the first step for healthy and unhealthy food groups. The value of the HRS estimator is obtained by summing the weighted distances.

Finally, in order to obtain the contribution (in %) to the overall risk of death (risk weighted by DALYs) represented by the suboptimal consumption of each food group, the ratio (in %) between the relative risk per food (result of the 2nd step) and the overall relative risk associated with the overall diet (HR) is calculated.

Supplemental Method 4: Economic data

Participants' income was collected as part of the socio-economic status questionnaire, where each participant declared the income class corresponding to their monthly income. Income per consumption unit (C.U) was calculated using the household income class and the household composition (number of persons and age) according to the INSEE scale (14). One household unit was assigned to the first adult in the household, 0.5 to other individuals aged ≥ 14 years, and 0.3 to children aged < 14 years. Household income was classified into 5 groups (< 1200 €/month; 1200-1800 €/month; 1800-2700 €/month; > 2700 €/month; and refusal to declare).

In the NutriNet-Santé study, the monetary cost of the diet (€/d) was calculated for each participant by multiplying the quantities of food consumed (g/d) by the corresponding prices (€/g), considering edible part and culinary preparations. The prices of the products were determined according to the individuals' places of purchase, organic and conventional. The data on the places of purchase (supermarkets, markets, AMAP (associations for the maintenance of a peasant agriculture), specialized organic stores, craftsmen, etc.) were collected by a complementary questionnaire on the NutriNet-Santé platform. Then, prices for each of the 264 frequency questionnaire foods and for each place of purchase were calculated on the basis of average prices derived from Kantar Worldpanel 2012 (15), which is a purchase database that includes home-scan data from 20,000 French households. In addition, the prices of products purchased in short circuits were collected by the association Bioconsom'acteurs (2).

Supplemental Method 5: Construction of the protein-source-typology

In order to classify individuals based on their primary sources of protein, hierarchical agglomerative clustering was employed, starting from the factors identified by PCA. The hierarchical clustering was conducted with data preprocessing using the K-means algorithm, which was iterated 100 times. Given that our study relies on a substantial database, the combined use of both k-means and hierarchical clustering methods allows to stabilize the solution.

First, the K-means algorithm, an iterative segmentation process, is used. It begins by randomly initializing "k" cluster centers and allocating the closest individuals based on distance. The centers are recalculated at each iteration until the segmentation is stabilized.

Hence, in the context of our analysis, where CAH is performed on the results of k-means clustering, the process begins by calculating the distances between the classes of individuals defined by k-means clustering.

Then, a first cluster containing the two classes that minimize the dissimilarity criterion (Euclidean distance between the centers of the classes) is created. The distance between this cluster and the other $n-2$ classes is calculated. Subsequently, the two classes whose combination minimizes the dissimilarity criterion are merged. This process continues until all the classes are merged.

The clustering was performed using the "HCPC" function of the "FactoMineR" package in "Rstudio".

The "kk" argument of this function was used and corresponds to the number of clusters used in a K-means preprocessing before the hierarchical clustering (16).

Supplemental Table 1: Participant characteristics across clusters, n = 29 210, NutriNet-Santé Study^{1,2}

	Whole Sample n = 29,210	Milk-based n = 4,966 (17%)	Meat-based n = 7,569 (26%)	Fast-food-based n = 8,469 (29%)	Healthy-fish-based n = 7,189 (25%)	Healthy-plant-based n = 1,017 (3%)	P
Sex.							< 0.0001
Men	25.26	26.12	31.56	22.80	21.17	23.50	
Women	74.74	73.88	68.44	77.20	78.83	76.50	
Age	53.55 (13.97)	51.95 (15.14)	54.43 (13.29)	51.17 (14.18)	57.75 (11.99)	44.67 (14.51)	< 0.0001
Occupational position							< 0.0001
Self-employed/farmer	1.75	1.19	1.89	1.66	1.74	4.13	
Managerial staff/intellectual profession	21.01	20.96	20.29	23.99	17.75	24.88	
Unemployed	9.00	8.22	8.55	8.64	9.51	15.54	
Employee. manual worker	14.31	16.03	15.44	14.94	10.63	18.29	
Students	1.93	2.80	1.33	2.35	0.75	7.08	
Intermediate professions	14.70	15.83	13.37	17.19	12.42	14.36	
Retired	37.30	34.98	39.12	31.22	47.20	15.73	
Monthly income per household unit							< 0.0001
NA	6.05	5.82	5.64	5.76	6.68	8.06	
< 1200€/C.U.	11.56	12.18	11.07	11.61	9.70	25.07	
1200 - 1800€/ C.U.	23.11	23.80	24.34	23.45	20.87	23.60	
1800 - 2700€/ C.U.	27.50	28.21	26.69	27.29	28.91	21.83	
>2700€/ C.U.	31.78	29.98	32.26	31.89	33.86	21.44	
Place of residence							< 0.0001
Rural community	22.59	22.88	24.01	21.44	22.52	20.65	
Urban unit (<20,000 inhabitants)	15.33	15.00	16.66	14.76	15.19	12.78	
Urban unit (20,000 to 200,000 inhabitants)	18.19	18.24	17.78	18.43	18.58	16.03	
Urban unit (>200,000 inhabitants)	43.90	43.88	41.55	45.37	43.71	50.54	
Smoking habits							< 0.0001
Never smoker	48.78	55.84	45.18	49.88	45.95	52.11	
Former smoker	40.47	35.12	42.13	38.25	45.57	36.68	
Current smoker	10.75	9.04	12.68	11.88	8.49	11.21	
Physical activity							< 0.0001
Low	19.20	20.48	21.80	20.72	14.30	15.63	
Moderate	36.38	35.90	34.81	37.93	35.97	40.41	
High	33.64	32.46	32.32	30.17	39.42	37.27	

Annexes

Missing data	10.78	11.16	11.07	11.18	10.31	6.69	
BMI							< 0.0001
Underweight	4.68	4.37	2.63	5.16	5.17	13.86	
Healthy	59.86	59.67	52.01	62.95	62.80	72.57	
Overweight	25.42	25.63	31.51	23.14	23.69	10.13	
Obese	10.05	10.33	13.85	8.75	8.33	3.44	
BMI	24.20 (4.63)	24.28 (4.51)	25.19 (4.74)	23.87 (4.64)	23.84 (4.47)	21.79 (3.53)	< 0.0001

Abbreviations: BMI, body mass index; C.U., consumption unit

¹Values are mean (SD) or % as appropriate.

²P values were calculated using ANOVA or Chi² test

Supplemental Table 2: Nutrient intakes across clusters^{1,2,3}

Nutrients	Whole Sample	Milk-based	Meat-based	Fast-food-based	Healthy-fish-based	Healthy-plant-based	p
Total energy intake (kcal/d)	2001 (629)	2019 (600)	2041 (654)	1983 (642)	1968 (602)	1998 (635)	< 0.0001
Total protein intake (g/d)	91.11 (33.98)	95.8 (0.25)	98.77 (0.20)	85.9 (0.19)	89.25 (0.21)	66.82 (0.56)	< 0.0001
Plant-based protein (g/d)	28.64 (12.41)	25.34 (0.11)	24.75 (0.09)	27.14 (0.08)	33.40 (0.09)	52.60 (0.24)	< 0.0001
Probability of adequate protein intake	0.95 (0.18)	0.97 (0.13)	0.96 (0.15)	0.93 (0.21)	0.94 (0.18)	0.83 (0.32)	< 0.0001
Carbohydrates (% of total energy intake)	38.48 (7.63)	40.33 (0.10)	35.75 (0.08)	39.31 (0.07)	38.06 (0.08)	45.84 (0.22)	< 0.0001
Lipids (% of total energy intake)	39.98 (7.00)	37.70 (0.09)	40.45 (0.07)	40.48 (0.07)	40.64 (0.08)	38.87 (0.21)	< 0.0001
Polyunsaturated fat (g/d)	6.64 (2.48)	5.64 (0.03)	6.31 (0.02)	6.09 (0.02)	7.81 (0.02)	10.07 (0.07)	< 0.0001
Monounsaturated fatty acids (g/d)	15.9 (3.98)	14.50 (0.05)	16.11 (0.04)	15.68 (0.04)	16.79 (0.04)	16.63 (0.12)	< 0.0001
Saturated fatty acids (g/d)	14.47 (3.54)	14.77 (0.04)	14.98 (0.03)	15.72 (0.03)	12.98 (0.03)	9.33 (0.10)	< 0.0001
n-3 fatty acids	0.95 (0.55)	0.76 (0.00)	0.85 (0.00)	0.81 (0.00)	1.29 (0.00)	1.31 (0.01)	< 0.0001
Alpha linolenic acids	0.69 (0.49)	0.54 (0.00)	0.59 (0.00)	0.6 (0.00)	0.92 (0.00)	1.22 (0.01)	< 0.0001
Eicosapentaenoic acid	0.08 (0.08)	0.07 (0.00)	0.08 (0.00)	0.07 (0.00)	0.12 (0.00)	0.02 (0.00)	< 0.0001
Docosahexaenoic acid	0.11 (0.09)	0.09 (0.00)	0.11 (0.00)	0.09 (0.00)	0.16 (0.00)	0.03 (0.00)	< 0.0001
n-6 fatty acids	5.37 (2.19)	4.58 (0.02)	5.13 (0.02)	4.96 (0.02)	6.22 (0.02)	8.5 (0.06)	< 0.0001
Linoleic acid	5.31 (2.2)	4.52 (0.02)	5.05 (0.02)	4.9 (0.02)	6.16 (0.02)	8.48 (0.06)	< 0.0001
Arachidonic acid	0.06 (0.02)	0.06 (0.00)	0.08 (0.00)	0.05 (0.00)	0.06 (0.00)	0.01 (0.00)	< 0.0001
Fiber (g/d)	23.35 (8.66)	20.71 (0.10)	20.3 (0.08)	21.12 (0.08)	28.87 (0.08)	38.47 (0.23)	< 0.0001
Vitamin A (µg eq retinol/d)	934.95 (741.02)	893.18 (10.48)	996.68 (8.49)	870.42 (8.02)	984.79 (8.71)	864.71 (23.16)	< 0.0001
Vitamin B1 (mg/d)	1.44 (0.43)	1.5 (0.00)	1.41 (0.00)	1.31 (0.00)	1.54 (0.00)	1.85 (0.01)	< 0.0001
Vitamin B2 (mg/d)	2.26 (0.59)	2.66 (0.00)	2.19 (0.00)	2.15 (0.00)	2.22 (0.00)	2.03 (0.01)	< 0.0001
Vitamin B-3/total PP (mg/d)	24.67 (7.10)	22.75 (0.09)	27.38 (0.07)	22.32 (0.07)	26.54 (0.07)	20.35 (0.20)	< 0.0001
Vitamin B5 (mg/d)	6.48 (1.38)	7.25 (0.01)	6.47 (0.01)	5.99 (0.01)	6.6 (0.01)	6.05 (0.04)	< 0.0001
Vitamin B6 (mg/d)	2.05 (0.50)	1.95 (0.00)	2.09 (0.00)	1.83 (0.00)	2.27 (0.00)	2.45 (0.01)	< 0.0001
Vitamin B9/Folic acid (µg/d)	419.47 (142.81)	381.13 (1.84)	384.19 (1.49)	390.87 (1.41)	487.42 (1.53)	626.95 (4.08)	< 0.0001
Vitamin B12 (µg/d)	6.5 (5.08)	6.8 (0.07)	7.57 (0.05)	5.53 (0.05)	6.87 (0.05)	2.53 (0.15)	< 0.0001
Vitamin C (mg/d)	152.49 (82.57)	142.58 (1.14)	138.14 (0.92)	147.85 (0.87)	171.19 (0.95)	214.01 (2.53)	< 0.0001
Vitamin D (µg/d)	3.01 (1.77)	2.67 (0.02)	3 (0.01)	2.77 (0.01)	3.75 (0.02)	1.46 (0.05)	< 0.0001
Vitamin E (mg/d)	14.57 (5.45)	13.12 (0.07)	13.56 (0.05)	13.46 (0.05)	16.98 (0.05)	21.41 (0.15)	< 0.0001
Vitamin K (mg/d)	241.74 (174.94)	198.39 (2.37)	226.61 (1.92)	205.2 (1.81)	309.23 (1.97)	393.31 (5.24)	< 0.0001
Calcium (mg/d)	1115.11 (329.86)	1386.99 (4.22)	971.28 (3.42)	1150.46 (3.23)	1066.34 (3.50)	908.37 (9.32)	< 0.0001
Iron (mg/d)	15.48 (3.75)	14.92 (0.04)	14.70 (0.03)	14.05 (0.03)	17.7 (0.03)	20.22 (0.10)	< 0.0001
Iodine (µg/d)	255.81 (407.34)	236 (5.64)	198.76 (4.57)	212.58 (4.32)	327.38 (4.69)	631.33 (12.47)	< 0.0001
Magnesium (mg/d)	480.89 (138.95)	455.39 (1.85)	449.11 (1.50)	452.11 (1.41)	548.44 (1.54)	604.05 (4.09)	< 0.0001

Annexes

Phosphorus (mg/d)	1478.4 (278.16)	1615.73 (3.81)	1448.89 (3.08)	1415.39 (2.91)	1504.93 (3.16)	1364.61 (8.42)	< 0.0001
Potassium (mg/d)	3808.98 (865.73)	3954.63 (11.73)	3712.8 (9.51)	3492.34 (8.98)	4120.59 (9.75)	4247.52 (25.93)	< 0.0001
Sodium (mg/d)	2502.37 (546.78)	2503.17 (7.47)	2599.26 (6.06)	2580.54 (5.72)	2398.83 (6.21)	1858.26 (16.52)	< 0.0001
Copper (mg/d)	2.09 (0.88)	1.82 (0.01)	1.99 (0.00)	1.91 (0.00)	2.46 (0.00)	2.88 (0.02)	< 0.0001
Zinc (mg/d)	12.75 (2.61)	13.2 (0.03)	13.5 (0.02)	12.00 (0.02)	12.77 (0.02)	11.23 (0.07)	< 0.0001
Manganese (mg/d)	5.17 (2.30)	4.49 (0.02)	4.16 (0.02)	4.75 (0.02)	6.74 (0.02)	8.43 (0.06)	< 0.0001
Selenium (µg/d)	81.28 (21.25)	77.19 (0.29)	83.54 (0.23)	75.62 (0.22)	89.49 (0.24)	73.46 (0.64)	< 0.0001

¹Values are mean (SD) for the whole sample, and energy-adjusted means of nutrients intake (SEM) across clusters (ANCOVA model).

²P values were calculated using ANCOVA.

³ Prevalence of adequate protein intake calculated according the weight of the individuals: values are mean (SD) for the whole sample and the clusters.

Supplemental Table 3: Food budget coefficients (%) across clusters^{1,2}

Food groups (g/d)	Whole sample	Milk-based	Meat-based	Fast-food-based	Healthy-fish-based	Healthy-plant-based	p
Whole diet	12.13 (8.52)	11.07 (0.11)	12.27 (0.08)	11.36 (0.08)	12.88 (0.09)	17.74 (0.24)	< 0.0001
Vegetables	15.45 (9.69)	13.65 (0.13)	13.62 (0.10)	13.9 (0.10)	19.15 (0.11)	25.22 (0.30)	< 0.0001
Nuts	1.8 (2.96)	1.13 (0.03)	0.9 (0.03)	1.34 (0.03)	3.12 (0.03)	6.5 (0.08)	< 0.0001
Dairy	10.91 (7.31)	10.34 (0.09)	9.6 (0.08)	14.5 (0.07)	9.47 (0.08)	3.49 (0.22)	< 0.0001
Poultry	3.24 (3.09)	3.22 (0.04)	4.74 (0.03)	2.61 (0.03)	2.81 (0.03)	0.37 (0.09)	< 0.0001
Meat	10.55 (8.17)	11.28 (0.10)	16.73 (0.08)	8.2 (0.07)	7.65 (0.08)	0.78 (0.22)	< 0.0001
Processed meat	3.35 (3.05)	3.41 (0.04)	4.38 (0.03)	3.45 (0.03)	2.51 (0.03)	0.36 (0.09)	< 0.0001
Potatoes	0.69 (0.78)	0.67 (0.01)	0.87 (0.00)	0.62 (0.00)	0.57 (0.00)	0.67 (0.02)	< 0.0001
Cereals	5.76 (4.09)	6.12 (0.05)	5.86 (0.04)	6.7 (0.04)	4.08 (0.04)	7.13 (0.12)	< 0.0001
Beverages	10.85 (6.99)	12.72 (0.09)	10.62 (0.07)	10.96 (0.07)	9.96 (0.08)	8.6 (0.21)	< 0.0001
Alcohol	5.48 (6.94)	4.76 (0.10)	6.64 (0.08)	5.34 (0.07)	5.24 (0.08)	3.04 (0.22)	< 0.0001
Soya-based food	1.54 (4.4)	0.55 (0.05)	0.48 (0.04)	0.91 (0.04)	2.44 (0.04)	13.52 (0.12)	< 0.0001
Fat	0.18 (0.25)	0.15 (0.00)	0.15 (0.00)	0.24 (0.00)	0.16 (0.00)	0.25 (0.00)	< 0.0001
SFF	7.15 (4.91)	7.72 (0.06)	6.44 (0.05)	8.69 (0.05)	5.81 (0.05)	6.11 (0.15)	< 0.0001
Fruits	11.92 (10.13)	10.57 (0.14)	10.15 (0.11)	10.68 (0.11)	15.56 (0.12)	16.53 (0.32)	< 0.0001
Fruits juice	3.56 (5.14)	3.84 (0.07)	2.63 (0.05)	5.04 (0.05)	2.42 (0.06)	4.72 (0.16)	< 0.0001
Seafood	8.77 (7.37)	7.81 (0.10)	8.47 (0.08)	7.36 (0.07)	12.33 (0.08)	2.3 (0.22)	< 0.0001
Eggs	0.76 (0.83)	0.72 (0.01)	0.65 (0.00)	0.68 (0.00)	1.04 (0.01)	0.49 (0.02)	< 0.0001
Milk	0.73 (1.80)	3.25 (0.02)	0.18 (0.01)	0.27 (0.01)	0.18 (0.01)	0.1 (0.04)	< 0.0001
Wholegrain products	3.23 (4.29)	2.73 (0.05)	1.66 (0.04)	2.81 (0.04)	5.48 (0.04)	5.2 (0.13)	< 0.0001
Legumes	0.68 (1.41)	0.43 (0.01)	0.42 (0.01)	0.49 (0.01)	0.85 (0.01)	4.25 (0.04)	< 0.0001
Oil	1.39 (1.28)	1.15 (0.01)	1.19 (0.01)	1.34 (0.01)	1.72 (0.01)	2.14 (0.04)	< 0.0001
Fast food	3.07 (3.01)	3.04 (0.04)	2.79 (0.03)	4.12 (0.03)	2.2 (0.03)	2.72 (0.09)	< 0.0001
Dressing	0.53 (0.65)	0.51 (0.00)	0.56 (0.00)	0.62 (0.00)	0.43 (0.00)	0.38 (0.02)	< 0.0001

Abbreviations: SFF, Sweetened and Fatty Foods.

¹Values are mean (SD) for the whole sample, and energy-adjusted means of food budget coefficients (SEM) across clusters (ANCOVA model).

²P values were calculated using ANCOVA.

Supplemental Table 4: Organic food budget coefficients (%) across clusters^{1,2}

Food groups	Whole sample	Milk-based	Meat-based	Fast-food-based	Healthy-fish-based	Healthy-plant-based	p
Whole diet	28.71 (26.54)	21.15 (0.35)	20.4 (0.29)	25.83 (0.27)	40.49 (0.29)	69.94 (0.79)	< 0.0001
Vegetables	15.52 (16.53)	14.3 (0.24)	14.49 (0.19)	14.52 (0.18)	17.83 (0.20)	21.49 (0.54)	< 0.0001
Nuts	2.58 (7.55)	1.95 (0.11)	1.64 (0.09)	2.07 (0.08)	4.06 (0.09)	6.65 (0.24)	< 0.0001
Dairy	7.05 (11.23)	6.19 (0.16)	6.41 (0.13)	8.85 (0.12)	6.82 (0.14)	2.47 (0.36)	< 0.0001
Poultry	3.95 (8.91)	3.99 (0.13)	5.48 (0.1)	3.66 (0.1)	3.12 (0.11)	0.41 (0.29)	< 0.0001
Meat	5.8 (10.75)	5.63 (0.15)	9.05 (0.12)	4.81 (0.12)	4.38 (0.13)	0.37 (0.34)	< 0.0001
Processed meat	1.89 (4.86)	1.72 (0.07)	2.48 (0.06)	1.89 (0.05)	1.6 (0.06)	0.22 (0.16)	< 0.0001
Potatoes	0.71 (3.17)	0.77 (0.05)	0.92 (0.04)	0.65 (0.04)	0.54 (0.04)	0.56 (0.10)	< 0.0001
Cereals	5.28 (10.69)	5.18 (0.16)	5.47 (0.13)	5.92 (0.12)	4.22 (0.13)	6.44 (0.35)	< 0.0001
Beverages	5.12 (10.24)	5.24 (0.15)	4.67 (0.12)	5.5 (0.11)	5.08 (0.12)	5.04 (0.33)	< 0.0001
Alcohol	2.82 (8.21)	2.4 (0.12)	3.25 (0.1)	2.92 (0.09)	2.68 (0.10)	1.58 (0.27)	< 0.0001
Soya-based food	2.53 (8.46)	1.39 (0.12)	1.25 (0.1)	1.84 (0.09)	3.68 (0.10)	15.74 (0.26)	< 0.0001
Fat	0.23 (2.58)	0.2 (0.04)	0.25 (0.03)	0.24 (0.03)	0.24 (0.03)	0.28 (0.08)	< 0.0001
SFF	6.23 (11.15)	6.87 (0.16)	6.14 (0.13)	7 (0.12)	5.17 (0.14)	4.69 (0.36)	< 0.0001
Fruits	11.9 (14.32)	11.25 (0.21)	10.69 (0.17)	11.36 (0.16)	14.03 (0.17)	13.64 (0.47)	< 0.0001
Fruits juice	3.89 (9.23)	4.16 (0.13)	3.28 (0.11)	5.36 (0.1)	2.58 (0.11)	4.07 (0.30)	< 0.0001
Seafood	5.13 (10.32)	4.4 (0.15)	5.31 (0.12)	4.55 (0.11)	6.68 (0.13)	1.21 (0.34)	< 0.0001
Eggs	2.86 (9.81)	3.09 (0.14)	3.01 (0.12)	2.97 (0.11)	2.71 (0.12)	0.58 (0.32)	< 0.0001
Milk	0.92 (5.06)	3.89 (0.07)	0.29 (0.06)	0.43 (0.05)	0.23 (0.06)	0.12 (0.16)	< 0.0001
Wholegrain products	3.98 (9.03)	3.38 (0.13)	2.35 (0.11)	3.56 (0.1)	6.45 (0.11)	5.15 (0.29)	< 0.0001
Legumes	0.77 (2.38)	0.5 (0.03)	0.5 (0.03)	0.59 (0.03)	0.99 (0.03)	4.35 (0.07)	< 0.0001
Oil	2.22 (7.17)	2.05 (0.1)	2.17 (0.08)	2.2 (0.08)	2.41 (0.09)	2.44 (0.23)	< 0.0001
Fast food	1.58 (4.39)	1.35 (0.06)	1.37 (0.05)	2.13 (0.05)	1.27 (0.05)	1.89 (0.14)	< 0.0001
Dressing	0.47 (3.59)	0.48 (0.05)	0.54 (0.04)	0.53 (0.04)	0.35 (0.04)	0.3 (0.12)	< 0.0001

Abbreviations: SFF, Sweetened and Fatty Foods.

¹ Values are mean (SD) for the whole sample, and energy-adjusted means (SEM) of the organic food budget coefficients across clusters (ANCOVA model). Conventional food budget coefficients are the complementary values to 100%.

² P values were calculated using ANCOVA.

Supplemental Table 5: Budget coefficients of protein intake (%) across clusters^{1,2}

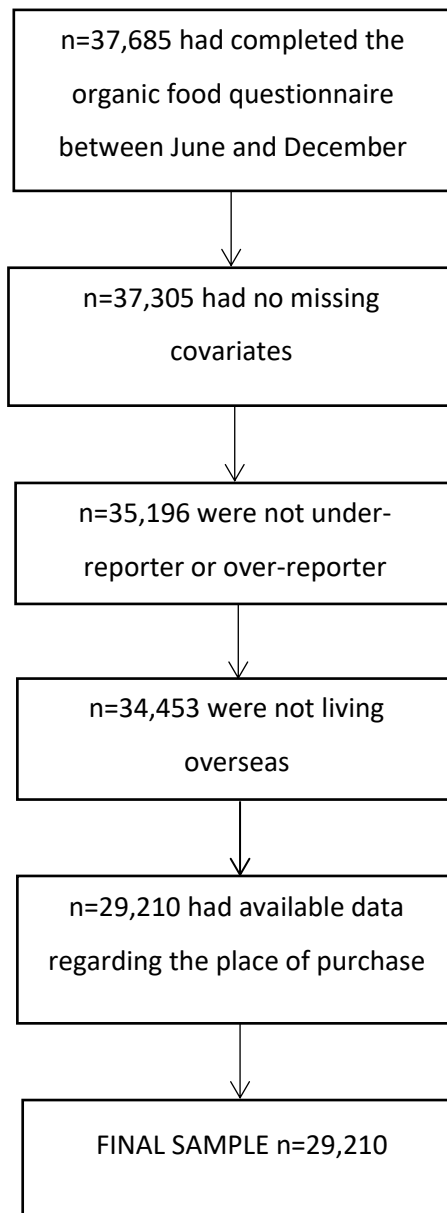
Food groups	Whole sample	Milk-based	Meat-based	Fast-food-based	Healthy-fish-based	Healthy-plant-based	p
Whole diet	9.31 (2.91)	9.07 (0.03)	10.72 (0.03)	8.78 (0.03)	9.16 (0.03)	5.46 (0.08)	< 0.0001
Vegetables	0.19 (0.12)	0.16 (0.00)	0.16 (0.00)	0.17 (0.00)	0.23 (0.00)	0.33 (0.00)	< 0.0001
Nuts	0.29 (0.54)	0.18 (0.00)	0.13 (0.00)	0.21 (0.00)	0.52 (0.00)	1.1 (0.01)	< 0.0001
Dairy	1.1 (1.08)	0.94 (0.01)	0.94 (0.01)	1.56 (0.01)	0.93 (0.01)	0.43 (0.03)	< 0.0001
Poultry	0.77 (0.74)	0.77 (0.01)	1.13 (0.00)	0.62 (0.00)	0.67 (0.00)	0.08 (0.02)	< 0.0001
Meat	2.66 (2.08)	2.84 (0.02)	4.24 (0.02)	2.06 (0.01)	1.93 (0.02)	0.19 (0.05)	< 0.0001
Processed meat	0.67 (0.62)	0.69 (0.00)	0.88 (0.00)	0.69 (0.00)	0.5 (0.00)	0.07 (0.01)	< 0.0001
Potatoes	0.01 (0.01)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	< 0.0001
Cereals	0.34 (0.26)	0.38 (0.00)	0.35 (0.00)	0.4 (0.00)	0.22 (0.00)	0.37 (0.00)	< 0.0001
Beverages	0.02 (0.03)	0.06 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0 (0.00)	< 0.0001
Alcohol	0 (0.01)	0 (0.00)	0.01 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	< 0.0001
Soya-based food	0.08 (0.27)	0.03 (0.00)	0.02 (0.00)	0.05 (0.00)	0.12 (0.00)	0.76 (0.00)	< 0.0001
Fat	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	< 0.0001
SFF	0.35 (0.28)	0.38 (0.00)	0.32 (0.00)	0.44 (0.00)	0.27 (0.00)	0.34 (0.00)	< 0.0001
Fruits	0.08 (0.08)	0.07 (0.00)	0.07 (0.00)	0.07 (0.00)	0.11 (0.00)	0.11 (0.00)	< 0.0001
Fruits juice	0.02 (0.03)	0.02 (0.00)	0.01 (0.00)	0.03 (0.00)	0.01 (0.00)	0.02 (0.00)	< 0.0001
Seafood	1.86 (1.59)	1.65 (0.02)	1.79 (0.01)	1.56 (0.01)	2.64 (0.01)	0.49 (0.04)	< 0.0001
Eggs	0.09 (0.10)	0.08 (0.00)	0.08 (0.00)	0.08 (0.00)	0.12 (0.00)	0.06 (0.00)	< 0.0001
Milk	0.02 (0.06)	0.12 (0.00)	0 (0.00)	0.01 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	< 0.0001
Wholegrain products	0.28 (0.39)	0.24 (0.00)	0.14 (0.00)	0.25 (0.00)	0.48 (0.00)	0.38 (0.01)	< 0.0001
Legumes	0.05 (0.10)	0.03 (0.00)	0.03 (0.00)	0.03 (0.00)	0.06 (0.00)	0.31 (0.00)	< 0.0001
Oil	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	< 0.0001
Fast food	0.32 (0.32)	0.31 (0.00)	0.29 (0.00)	0.43 (0.00)	0.22 (0.00)	0.27 (0.01)	< 0.0001
Dressing	0.01 (0.01)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	0.01 (0.00)	< 0.0001

Abbreviations: SFF, Sweetened and Fatty Foods.

¹ Values are mean (SD) for the whole sample, and energy-adjusted means of budget coefficients of protein intake (SEM) across clusters (ANCOVA model).

² P values were calculated using ANCOVA.

Supplemental Figure 1: Selection of the study sample



Annexes

1. Pointereau P, Langevin B, Gimaret M. DIALECTE, a comprehensive and quick tool to assess the agro-environmental performance of farms. *Prod Reprod Farming Syst New Modes Organ Sustain Food Syst Tomorrow 10th Eur IFSA Symp Aarhus Den 1-4 July 2012* [Internet]. 2012 [cité 14 mars 2023]; Disponible sur: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133410218>
2. Baudry J, Pointereau P, Seconda L, Vidal R, Taupier-Letage B, Langevin B, et al. Improvement of diet sustainability with increased level of organic food in the diet: findings from the BioNutriNet cohort. *Am J Clin Nutr.* avr 2019;109(4):1173-88.
3. Seconda L, Baudry J, Allès B, Boizot-Szantai C, Soler LG, Galan P, et al. Comparing nutritional, economic, and environmental performances of diets according to their levels of greenhouse gas emissions. *Clim Change.* mai 2018;148(1-2):155-72.
4. Kramer GF, Tyszler M, Veer P van't, Blonk H. Decreasing the overall environmental impact of the Dutch diet: how to find healthy and sustainable diets with limited changes. *Public Health Nutr.* juin 2017;20(9):1699-709.
5. Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M. ReCiPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. 2013;
6. de Gavelle E, Huneau JF, Fouillet H, Mariotti F. The Initial Dietary Pattern Should Be Considered when Changing Protein Food Portion Sizes to Increase Nutrient Adequacy in French Adults. *J Nutr.* mars 2019;149(3):488-96.
7. Verger EO, Mariotti F, Holmes BA, Paineau D, Huneau JF. Evaluation of a Diet Quality Index Based on the Probability of Adequate Nutrient Intake (PANDiet) Using National French and US Dietary Surveys. *Cameron DW, éditeur. PLoS ONE.* 3 août 2012;7(8):e42155.
8. Kesse-Guyot E, Chaltiel D, Fezeu LK, Baudry J, Druetne-Pecollo N, Galan P, et al. Association between adherence to the French dietary guidelines and the risk of type 2 diabetes. *Nutrition.* avr 2021;84:111107.
9. Chaltiel D, Adjibade M, Deschamps V, Touvier M, Hercberg S, Julia C, et al. Programme National Nutrition Santé – guidelines score 2 (PNNS-GS2): development and validation of a diet quality score reflecting the 2017 French dietary guidelines. *Br J Nutr.* août 2019;122(03):331-42.
10. Keaver L, Ruan M, Chen F, Du M, Ding C, Wang J, et al. Plant- and animal-based diet quality and mortality among US adults: a cohort study. *Br J Nutr.* 28 juin 2021;125(12):1405-15.
11. Murray CJ, Ezzati M, Flaxman AD, Lim S, Lozano R, Michaud C, et al. GBD 2010: design, definitions, and metrics. *The Lancet.* déc 2012;380(9859):2063-6.
12. Fouillet H, Dussiot A, Perraud E, Wang J, Huneau JF, Kesse-Guyot E, et al. Plant to animal protein ratio in the diet: nutrient adequacy, long-term health and environmental pressure [Internet]. *Nutrition;* 2022 mai [cité 20 mars 2023]. Disponible sur: <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2022.05.20.22275349>
13. Murray CJL, Aravkin AY, Zheng P, Abbafati C, Abbas KM, Abbasi-Kangevari M, et al. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet.* oct 2020;396(10258):1223-49.
14. INSEE. Définition - Nombre d'unités de Consommation Du Ménage Fiscal | Insee. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1001>. 2009.
15. Kantar. Kantar | Consumer Panel | Consumer Behaviour Insights | Consumer Panels - Kantar Worldpanel. <https://www.kantarworldpanel.com/global>. 2012.
16. FactoMineR.pdf [Internet]. [cité 21 sept 2023]. Disponible sur: <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/FactoMineR.pdf>

Annexe 25 : Article publié « Dietary pattern trajectories in French adults of the NutriNet-Santé cohort over time (2014–2022): role of socio-economic factors »

British Journal of Nutrition

cambridge.org/bjn

Research Article

Cite this article: Toujani H, Berlivet J, Berthy F, Allès B, Brunin J, Fouillet H, Touvier M, Lairon D, Mariotti F, Baudry J, and Kesse-Guyot E (2024) Dietary pattern trajectories in French adults of the NutriNet-Santé cohort over time (2014–2022): role of socio-economic factors. *British Journal of Nutrition* **132**: 1184–1193. doi: 10.1017/S0007114524002514

Received: 29 March 2024

Revised: 8 October 2024

Accepted: 10 October 2024

First published online: 17 October 2024

Keywords:

Longitudinal dietary changes; Gender-specific approach; Socio-economic factors; Diet quality

Abbreviations:

aDQI, Animal-based Diet Quality Index; cDQI, Comprehensive Diet Quality Index; pDQI, Plant-based Diet Quality Index

Corresponding author:

Hafsa Toujani;
Email: h.toujani@eren.smbh.univ-paris13.fr

A full list of TRANSFood consortium is provided at the end of the manuscript

© The Author(s), 2024. Published by Cambridge University Press on behalf of The Nutrition Society. This is an Open Access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution licence (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted re-use, distribution and reproduction, provided the original article is properly cited.



Dietary pattern trajectories in French adults of the NutriNet-Santé cohort over time (2014–2022): role of socio-economic factors

Hafsa Toujani¹, Justine Berlivet¹, Florine Berthy¹, Benjamin Allès¹, Joséphine Brunin^{1,2}, Hélène Fouillet³, Mathilde Touvier¹, Denis Lairon⁴, François Mariotti³, Julia Baudry¹, Emmanuelle Kesse-Guyot¹ and the TRANSFood Consortium

¹Université Sorbonne Paris Nord and Université Paris Cité, Inserm, INRAE, CNAM, Center of Research in Epidemiology and Statistics (CRESS), Nutritional Epidemiology Research Team (EREN), Bobigny 93017, France; ²ADEME, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Angers 49004, France; ³Paris-Saclay University, UMR PNCA, AgroParisTech, INRAE, Paris 75005, France and ⁴Aix Marseille Université, Inserm, INRAE, C2VN, Marseille 13005, France

Abstract

Despite the urgent need for plant-based dietary shifts, few studies have examined current diet trajectories using longitudinal data. This study analyzed dietary transitions of French adults over 8 years (2014–2022), assessing diet quality and the role of various socio-economic factors. Consumption data from 17 187 NutriNet-Santé cohort participants, weighted for the French Census, were collected via FFQ in 2014, 2018 and 2022. Adopting a gender-specific approach, consumption changes in twenty-three food groups were assessed over time. Diet quality was evaluated using the Comprehensive Diet Quality Index score, categorising foods into 'healthy' and 'unhealthy'. Socio-economic analysis targeted four food groups (red meat (including fresh beef, pork, offal and lamb), processed meat (e.g. sausages, ham and bacon), legumes and whole-grain products), strongly linked to mortality risk and recognised as significant markers of the sustainable diet transition. All analyses were conducted using multi-adjusted mixed-effects models. Consumption of some healthy plant-based foods (nuts +59 %, legumes +22 %, whole-grain products +7 %) significantly increased over time, while consumption of some unhealthy foods (red meat –19 %, refined cereals –18 %, sweetened drinks –15 %) decreased. Conversely, consumption of prepared and mixed dishes (+16 %) and processed meat (+35 %) increased. These changes differed in magnitude between genders and translated into an improved diet quality score (Comprehensive Diet Quality Index). Occupational status was linked to longitudinal changes in food consumption, showing increased consumption of plant-based foods among students and higher socio-professional categories. Our findings provide accurate data on trends and factors for targeted initiatives, guiding strategic interventions for a sustainable dietary transition.

Highlights

- Consumption of some healthy plant-based foods (legumes +22 %, nuts +59 %, whole-grain products +7 %) significantly increased over time (2014–2022), while consumption of some unhealthy foods (red meat –19 %, refined cereals –18 %, sweet drinks –15 %) decreased.
- Consumption of prepared and mixed dishes (+16 %) and processed meat (+35 %) increased during the study period.
- Diet quality (Comprehensive Diet Quality Index score) increased over time.
- Differences were observed between women and men in baseline consumption and in the magnitude of changes over time.
- Occupational status was linked to longitudinal changes in food consumption.
- Increased consumption of plant-based foods was observed among students and higher socio-professional categories.

The rate of climate change is accelerating at an alarming pace, outstripping current mitigation efforts and intensifying the need for swift and effective measures. In 2023, Europe experienced one of its hottest years on record⁽¹⁾, underscoring the troubling reality that some planetary boundaries have been irreversibly crossed^(2–4). Additionally, food systems, which account for nearly one-third of global greenhouse gas emissions⁽⁵⁾, are often overlooked in climate policies⁽⁶⁾. Although some nationally determined contributions mention this sector, they focus



on production, neglecting key factors like food waste and consumption habits, which are significant contributors to emissions⁽⁶⁾. Therefore, adopting a comprehensive approach to food systems to improve climate strategies is crucial, addressing all stages from production to sustainable consumption. In line with this, the 28th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (COP28) Declaration on Food and Agriculture emphasises the need for stronger collaboration between key ministries (agriculture, climate, energy, environment, finance and health)⁽⁷⁾ to meet the Sustainable Development Goals by 2030⁽⁸⁾. Moreover, policymakers should consider local consumption patterns and cultural contexts to ensure that climate measures are both realistic and effective. In this context, consumer habits are crucial for effective transition strategies, as dietary shifts are increasingly necessary to mitigate climate change^(9,10), as noted in the latest Intergovernmental Panel on Climate Change report⁽¹¹⁾. Reducing animal-based food consumption, which generates twice the emissions of plant-based alternatives⁽¹²⁾, is critical in lowering environmental impacts. For example, replacing red meat with poultry⁽¹³⁾ or increasing the proportion of plant-based proteins in the diet⁽¹⁴⁾ lessens the contribution to global warming.

A shift towards more plant-based diets is already observed in WHO member countries⁽¹⁵⁾, despite the relatively limited adoption of vegetarian and vegan diets⁽¹⁶⁾. Between 2009 and 2019, notable dietary changes were documented, particularly in France, where red meat consumption declined in favour of poultry and processed meats, predominantly among individuals aged 65 years and older. In contrast, those over 50 demonstrated an increased consumption of fruits and vegetables⁽¹⁷⁾. Nevertheless, these dietary shifts remain polarised, with some populations adopting more sustainable and health-promoting diets, while others continue to follow less favourable eating patterns. This polarisation can largely be attributed to socio-economic factors, as described in the Social Determinants of Health Framework, which emphasises the distinction between various levels of causality⁽¹⁸⁾, and the Nutrition Health Disparities Framework⁽¹⁹⁾, a recent adaptation of the Social Determinants of Health specifically focused on nutrition. For example, income levels are crucial in determining access to high-quality foods, contributing to nutritional inequalities⁽²⁰⁾. According to Bennett's law⁽²¹⁾, higher income facilitates a more diverse diet that includes animal proteins, while lower income is associated with increased carbohydrate consumption and a reduction in protein intake. Moreover, foods of lower nutritional value tend to be more affordable per calorie, making them more accessible to lower socio-economic groups⁽²⁰⁾. Favourable dietary practices, such as higher consumption of fruits and vegetables, are often associated with a higher socio-economic status, particularly in relation to educational attainment⁽²²⁾.

Despite advancements in the study of dietary behaviours, a substantial gap remains in understanding the relationships between these individual behaviours and socio-economic status. This deficiency is often due to the complex interplay of various internal and external factors influencing food choices⁽¹⁹⁾. In this context, our study aims to improve this understanding by characterising the changes in individual dietary consumption in France over the last decade while assessing diet quality. Furthermore, we will explore the associations between these dietary changes in the four sustainability-relevant food groups and individuals' socio-economic status to better elucidate the connections between these two dimensions. Thus, the main objective of this analysis is to provide accurate data on the ongoing trends

and the factors associated with these changes, intending to develop targeted initiatives tailored to specific food groups and subgroups within the population. This approach seeks to inform strategic and customised interventions that promote a sustainable dietary transition among the population.

Methods and data

Study population

The present study used longitudinal observational data from 2014 to 2022, using a sub-sample of the NutriNet-Santé study. Initiated in May 2009, the NutriNet-Santé study is an online-based cohort aimed at examining the factors influencing diets, nutritional status, physical activity and their relationships to health outcomes⁽²³⁾. The study involves adult participants residing in France who have internet access, recruited on a voluntary basis. Participants are required to complete annual or biannual questionnaires covering socio-economic status, lifestyle, anthropometry, dietary and physical activity habits⁽²⁴⁾. Additional questionnaires are periodically administered. Gender, occupational status, income, place of residence, physical activity levels and smoking habits are all self-reported using validated questionnaires⁽²⁴⁾.

The NutriNet-Santé study complies with the principles outlined in the Helsinki Declaration and has received validation from both the Inserm Ethical Evaluation Committee (CEEI) (no. 0000388FWA00005831) and the National Committee for Information Technology and Freedom (CNIL) (nos. 908450 and 909216). The study is also registered on ClinicalTrials.gov (NCT03335644).

Sociodemographic data

The self-reported individual characteristics, including gender, age, educational level (primary, secondary, post-secondary), employment status (unemployed, managerial staff, employee or manual labourer, self-employed or farmer, intermediate profession, student, retired) and monthly household income per consumption unit considering the household size and the age of its members (< 1200; 1200–1800; 1800–2700; > 2700 in euros per consumption unit per month)⁽²⁵⁾, were collected at the baseline year 2014.

Assessment of food group consumption

Food consumption data were collected in 2014, 2018 and 2022, through the use of an Organic FFQ encompassing a total of 264 organic and conventional food items, as described elsewhere⁽²⁶⁾. For the present study, a classification into twenty-three food groups has been established based on their nutritional value and contents, as follows: red meat, poultry, processed meat, fish, eggs, dairy products (excluding milk), milk, animal substitutes, vegetables, fruits, fruit juice, legumes, whole-grain products, nuts, potatoes, refined cereals, prepared and mixed dishes (including sandwich, prepared foods such as pizza, hamburger, ravioli, panini, salted pancake), salty and sweetened fatty foods (including croissants, pastries, chocolate, biscuits, milky dessert, ice cream, honey and marmalade, cakes, chips, salted oilseeds, salted biscuits), sweetened drinks, hot drinks, alcohol, butter and plant-based fat. Total daily energy intake was calculated using the food composition table designed for the NutriNet-Santé study⁽²⁷⁾.

Diet quality data

Three dietary indexes were calculated for assessing the trend towards a healthy plant-based diet. The cDQI (Comprehensive Diet Quality Index) is designed to assess overall diet quality by evaluating plant and animal components⁽²⁸⁾.

The pDQI (Plant-based Diet Quality Index) emphasises the quality of plant-based foods, dividing them into two categories: healthy foods (including whole-grain products, fruits, vegetables excluding potatoes, nuts, seeds and legumes, vegetable oils, coffee and tea) and foods to be consumed with moderation (such as refined grains, fruit juices, potatoes, sweetened beverages and sugary foods).

Similarly, the aDQI (Animal-based Diet Quality Index) evaluates the role of dietary quality of animal-origin foods. This index comprises two groups of items: healthy foods (such as fish, seafood, dairy products and poultry) and items to be restricted (including red meat, processed meat and eggs). Each food item is assigned a score ranging from 0 to 5 based on its alignment with the reference consumption. Consequently, the ultimate pDQI scores range from 0 to 55, and the aDQI scores range from 0 to 30. The comprehensive cDQI score is derived by summing the pDQI and aDQI scores, ranging from 0 to 85.

Statistical analysis

This study included 17 187 participants who provided Organic FFQ data on food consumption during at least two collection periods (2014, 2018 and/or 2022). From an initial eligible population of 29 195 individuals who completed the FFQ in 2014, we selected those with a follow-up in either 2018 or 2022 to ensure longitudinal tracking. This approach accommodates missing data in mixed-effects models, allowing for the modelling of consumption trajectories with at least two follow-up points. Individuals who completed the FFQ in 2018 and/or 2022 but did not participate in 2014 were excluded from the analysis. The sample selection process is depicted in online Supplementary Fig. 1.

These participants had no missing information regarding sociodemographic factors (except for the non-mandatory monthly income question) and were not living overseas to permit the computation of a weighting procedure described below. Individuals classified as either underreporting or overreporting their energy intake, as detailed in a previous publication⁽²⁶⁾, were excluded.

In order to correct the low generalisability of the findings from the sample of volunteers in the NutriNet-Santé cohort, the sample was corrected by weighting using the iterative proportional fitting procedure according to 2009 national census reports⁽²⁹⁾ on age, occupational category, educational level, area of residence, presence of children (< 18 years) and marital status.

This method aims to enhance the representativeness of our sample within the French population. Consequently, a weighting factor was computed for each individual, reflecting the probability of their inclusion in a representative sample⁽²⁹⁾.

Study population was described using mean (SD) or *n* % for continuous and categorical variables, respectively. The Pearson's Chi-square test was used for categorical variables, while the ANOVA test was used for continuous variables.

To estimate changes in consumption of twenty-three food groups over time, mixed-effects models for repeated measurements were employed, adjusted for gender, age and total energy intake. Further details are outlined in online Supplementary Method 1.

We secondly aimed to examine socio-economic factors associated with the consumption of four food groups, namely, red meat, processed meats, legumes and whole-grain products, along with their longitudinal change. These food groups are strongly associated with mortality risk, both positively and negatively, based on data from the Global Burden of Disease⁽³⁰⁾, and recognised as significant markers of the transition towards sustainable diets^(31–34). To achieve this, mixed-effects models similar to those used earlier were used, incorporating the relevant covariates, as described in online Supplementary Method 1.

This analysis was conducted on a sample of 16 239 individuals, for whom income data were available.

Furthermore, we computed the percentage variations relative to each food group, examining changes over time, across genders and socio-economic factors using the least squares means of adjusted consumption.

To assess the overall change in the quality of dietary patterns over time, we computed the cDQI indicator⁽²⁸⁾, along with its two components, the aDQI and the pDQI reflecting the DQI of animal and plant-based foods, respectively. This approach allows for a meaningful classification of foods into 'healthy' and 'unhealthy' categories. Similar mixed-effects models as those employed earlier were utilised and detailed in online Supplementary Method 1.

Results

Sample characteristics

After sample weighting, the gender ratio was balanced between men (48 %) and women (52 %), with an average age of 48 (SD = 16) years old (Table 1). A detailed comparison of the differences between respondents and non-respondents is provided in online Supplementary Table 1.

Overall dietary change over 8 years

Significant changes in consumption patterns were observed over the past 8 years among the whole population for the majority of the twenty-three food groups examined (Fig. 1 and online Supplementary Table 2). The significant declines ($P < 0.01$) (online Supplementary Table 3) were in consumption of fruit juices (–40 %), red meat (–19 %), refined cereals (–18 %), sweetened drinks (–15 %), poultry (–12 %), milk (–12 %), alcohol (–12 %) and fish (–6 %). Conversely, food groups with the most noticeable increases ($P < 0.01$) included butter (+100 %), nuts (+59 %), eggs (+39 %), processed meat (+35 %), animal substitutes (+22 %), legumes (+22%), prepared and mixed dishes (+16 %) and whole-grain products (+7 %).

Consumption of vegetables (+4 %), fruits (+4 %) and salty and sweetened fatty foods (+3 %) slightly increased over time ($P < 0.01$), while consumption levels of fruits (+2 %), hot drinks (+2 %) and potatoes (+1 %) remained relatively stable ($P < 0.01$). However, the variations observed for dairy products ($P \approx 0.85$) and plant-based fats ($P \approx 0.36$) over time were not statistically significant.

Consistently with the increase in consumption of healthy foods, a growing cDQI score over time was observed ($P < 0.01$). The same was true for animal (aDQI) and plant (pDQI) components of the diet. It should be noted that these scores were higher for women compared with men (Fig. 1).

Table 1. Participant characteristics, *n* 17 187, NutriNet-Santé Study^{a,†}

	Whole sample		Women		Men		<i>P</i>
Unweighted <i>n</i>	<i>n</i> 17 187		<i>n</i> 12 479 (72.61 %)		<i>n</i> 4708 (27.39 %)		
Weighted <i>n</i>	<i>n</i> 17 187		<i>n</i> 8999 (52.36 %)		<i>n</i> 8188 (47.64 %)		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Age	48.38	15.97	48.81	13.68	47.90	20.83	<0.0001
Education level	%		%		%		<0.0001
Primary	59.92		58.59		61.39		
Secondary	15.19		15.88		14.43		
Post-secondary	24.89		25.53		24.19		
Occupational position							<0.0001
Self-employed/farmer	4.45		2.42		6.67		
Managerial staff/intellectual profession	9.10		6.74		11.69		
Unemployed	8.85		12.63		4.69		
Employee, manual worker	31.19		30.53		31.90		
Students	4.49		4.60		4.40		
Intermediate professions	14.50		14.47		14.53		
Retired	27.42		28.61		26.12		
Monthly income per household unit							<0.0001
NA	6.58		8.49		4.48		
<1200€/C.U.	24.42		27.64		20.89		
1200–1800€/C.U.	30.91		28.53		33.52		
1800–2700€/C.U.	23.39		22.11		24.80		
>2700€/C.U.	14.70		13.23		16.31		
Place of residence							<0.0001
Rural community	23.99		25.62		22.19		
Urban unit (<20 000 inhabitants)	18.63		16.50		20.95		
Urban unit (20 000–200 000 inhabitants)	16.80		18.30		15.17		
Urban unit (>200 000 inhabitants)	40.58		39.57		41.70		
Smoking habits							<0.0001
Never smoker	50.16		55.60		44.17		
Former smoker	39.02		33.71		44.85		
Current smoker	10.83		10.69		10.98		
Physical activity							<0.0001
Low	20.30		20.26		20.35		
Moderate	31.16		31.68		30.59		
High	32.89		33.53		32.18		
Missing data	15.65		14.53		16.88		
BMI							<0.0001
Underweight (<18.5 kg/m ²)	3.70		5.94		1.24		
Healthy (18.5–24.9 kg/m ²)	55.75		58.55		52.67		
Overweight (25–29.9 kg/m ²)	26.90		21.30		33.06		
Obese (≥30 kg/m ²)	13.64		14.21		13.03		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
BMI	24.94	4.99	24.54	4.44	25.38	6.17	<0.0001

Abbreviation: C.U., consumption unit.

^aValues are mean (SD) or % as appropriate; all data are weighted.[†]*P* values calculated using ANOVA or χ^2 test.

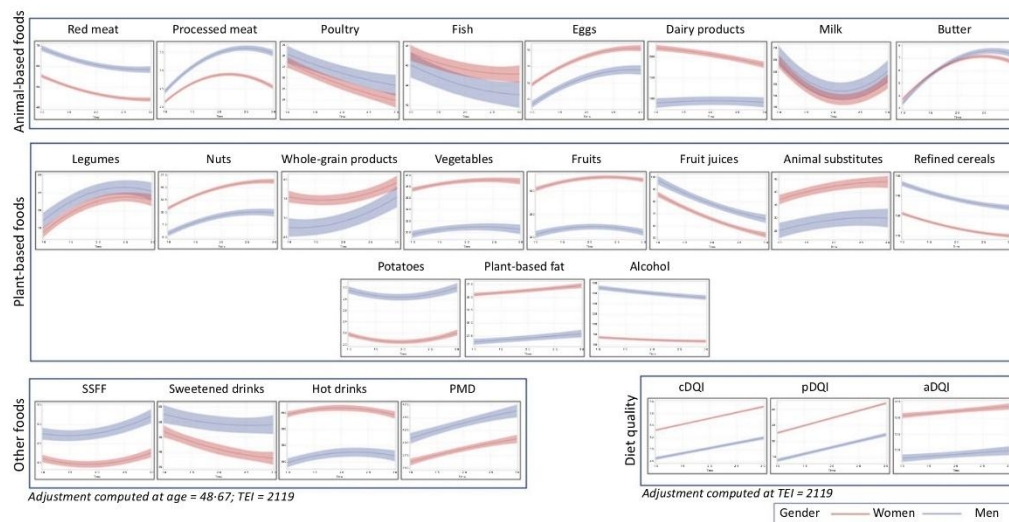


Figure 1. Evolution trajectories for food groups' consumption and diet quality (2014–2022), n 17 187, NutriNet-Santé Study^{1,2,3}. Food groups are formed as follows: red meat include beef, pork, offal and lamb; dairy products include yogurts, fresh cheese and cheese; animal substitutes include tofu, soy-based meat substitute and vegetable patties, soy-based yogurt and soy-based milk; vegetables include all vegetables and soups; fruit include fresh fruit, fruit in syrup and compote and dried fruit and seeds; fish include fatty and lean fish, molluscs and crustaceans; potatoes include other tubers; refined cereals include breakfast cereal low in sugar, bread, semolina and rice and pasta; SSFF (sweetened and salty fatty foods) include croissants, pastries, chocolate, biscuits, milky dessert, ice cream, honey and marmalade, cakes, chips, salted oilseeds and salted biscuits; PMD include sandwich, prepared foods such as pizza, hamburger, ravioli, panini, salted pancake, etc.; plant-based fat include plant-based oils and ready-to-use salad dressing, mayonnaise or cream-based sauces and sour cream and all fat-based sauces; hot drinks include tea, infusions and milk consumed with tea/coffee; sweetened drinks include fruit nectar, syrup, soda (with or without sugar) and plant-based beverages. Abbreviations: TEI, total energy intake over time; PMD, prepared and mixed dishes; cDQI, Comprehensive Diet Quality Index; pDQI, plant-based Diet Quality Index; aDQI, Animal-based Diet Quality Index. ²For the twenty-three food groups, adjustments have been computed at age = 48–67 years and TEI = 2119 kcal/d. For the Diet Quality Indexes, adjustments have been computed at TEI = 2119 kcal/d. ³The x-axis represents time (1 = 2014; 2 = 2018; 3 = 2022), while the y-axis represents consumption in grams per day.

Gender-specific dietary change

Baseline consumption levels (2014) varied depending on gender (Fig. 1 and online Supplementary Tables 2 and 3). Women had higher consumption levels of healthy food groups than men ($P < 0.01$), including nuts (+85 % compared with men), fruits (+40 %), plant-based fats (+34 %), vegetables (+25 %), whole-grain products (+10 %). On the other hand, men had higher consumption levels of red meat (+23 % compared with women; $P < 0.01$), energy-dense foods (potatoes (+35 %; $P < 0.01$) and refined cereals (+27 %; $P < 0.01$), prepared and mixed dishes (+15 %; $P < 0.01$), salty and sweet fatty products (+7 %; $P < 0.01$) and alcohol (+119 %; $P < 0.01$).

Moreover, differences in food groups' consumption over time were observed between genders (Fig. 1 and online Supplementary Tables 2 and 3). A widening discrepancy in the consumption of processed meat was noted, particularly with a notable increase among men (the gap went from +7 % in 2014 to +30 % in 2022, with a higher consumption among men; $P < 0.01$). Additionally, a more pronounced decline in sweetened drink consumption was observed among women (the gap went from +16 % in 2014 to +38 % in 2022, with a higher consumption among men; $P \approx 0.01$).

Socio-economic factors linked to the consumption of food groups highly associated with mortality risk

Socio-economic factors, namely, income, education and occupational status, were associated with the consumption of the food

groups examined in this study to varying degrees (Fig. 2 and online Supplementary Tables 4 and 5). All results were estimated with respect to the reference categories, including 'highest income (> €2700 consumption unit per month)' for income, 'retired' for occupational status and 'post-secondary' for educational level.

Income and education level were primary determinants of baseline consumption patterns, while occupational status played a significant role in influencing changes over time. Participants with higher education levels and lower incomes tended to consume more plant-based foods at the outset, and this trend intensified over time, particularly among students and individuals in higher socio-professional categories. Specifically, legume consumption at baseline was 22 % higher among individuals with the lowest incomes ($P < 0.01$), while whole-grain products consumption was 6 % higher among those with moderate incomes ($P \approx 0.02$). Conversely, individuals with the lowest education levels exhibited the lowest baseline consumption of whole-grain products, with a 13 % reduction in consumption ($P < 0.01$).

Over the period from 2014 to 2022, the increase in legume consumption was notably more pronounced among participants in intermediate professions, showing a rise of 36 % ($P < 0.01$). For whole-grain products, the greatest increases were observed among students (+29 %; $P < 0.01$), those in intermediate professions (+23 %; $P < 0.01$), individuals in intellectual or managerial roles (+14 %; $P < 0.01$) and employees or manual workers (+20 %; $P < 0.01$).

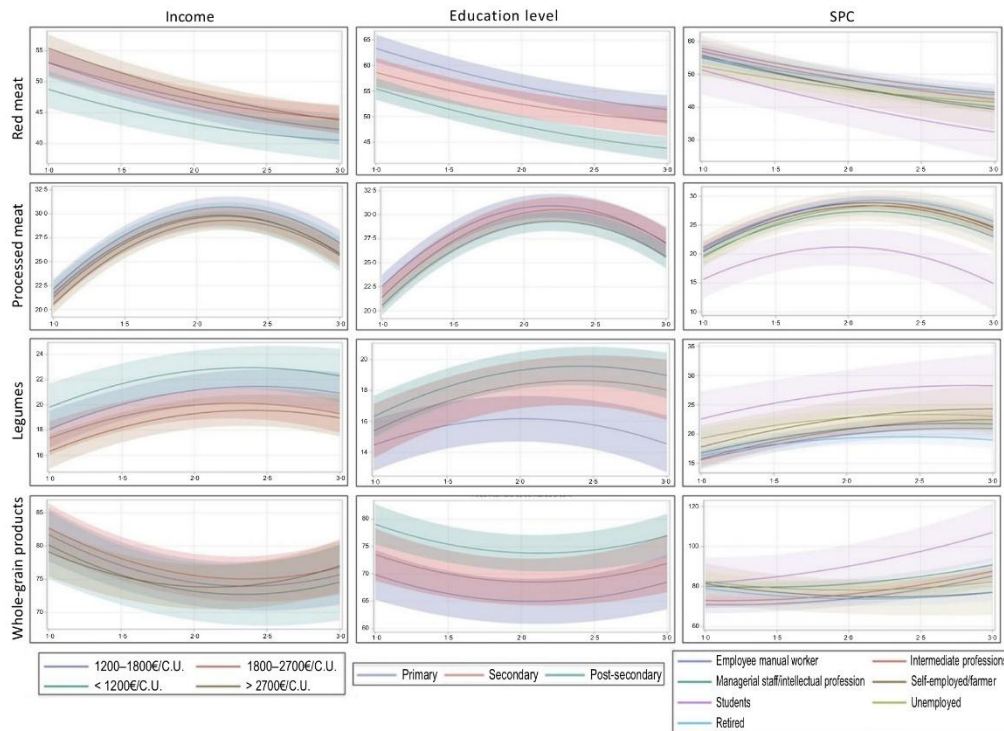


Figure 2. Socio-economic determinants of the consumption evolution for the four food groups strongly associated with mortality risk (red meat, processed meat, legumes and whole-grain products) between 2014 and 2022, n 17 187, NutriNet-Santé Study^{1,2}. Abbreviation: SPC, Socio-Professional Category. ¹ Adjustment computed at age = 48-8; TEI = 2133; gender = women; occupational status = retired; income >2700 €/C.U.; education = post-secondary. ² The x-axis represents time (1 = 2014; 2 = 2018; 3 = 2022), while the y-axis represents consumption in grams per d.

Conversely, participants with lower education levels consumed more animal-based foods. More specifically, at baseline, red meat consumption was 14 % higher ($P < 0.01$) among individuals with the lowest education levels, while processed meat consumption was also highest in this group, with an 8 % greater consumption ($P < 0.01$). In contrast, individuals with the lowest incomes consumed 11 % less red meat ($P < 0.01$), whereas processed meat consumption was 6 % higher among those with moderate incomes ($P < 0.01$). Over time, the decline in red meat consumption from 2014 to 2022 was more pronounced among participants in intermediate professions (−20 %; $P \approx 0.03$), intellectual or managerial professions (−21 %; $P < 0.01$) and high-income earners (−20 %). The gap in red meat consumption between the lowest and highest income groups narrowed over this period, decreasing from an 11 % difference in 2014 to 8 % in 2022 ($P \approx 0.04$). For processed meat, the increase over time was more significant among those in intermediate professions (+32 %; $P \approx 0.01$), intellectual or managerial professions (+34 %; $P < 0.01$) and students (+20 %; $P \approx 0.01$).

Discussion

Towards healthier food consumption

Over the study period (2014–2022), we noted changes for most of the studied food groups' consumption. A notable trend was the

increased consumption of healthy plant-based foods (legumes, nuts and whole-grain products). Concurrently, there was a reduction in the consumption of unhealthy foods, encompassing both animal and plant sources (red meat, refined cereals, sweetened drinks and alcohol). A comparable trajectory was observed in the Netherlands, where a 20-year (1993–2015) cohort analysis revealed positive shifts in dietary practices within isoenergetic diets⁽³⁵⁾. In contrast, findings from a Swedish study showed a deviation from Nordic dietary guidelines over time (2000–2016) among participants in the Northern Sweden Diet Database⁽³⁶⁾. Furthermore, a similar trend towards more plant-based diets has been observed throughout the WHO European region⁽¹⁵⁾.

By extending the analysis to food groups, our research showed a decline in both red meat and poultry consumption. These findings could be interpreted in light of the French household meat purchase data for at-home consumption, revealing a declining trend of purchase volume of meat in both 2021 and 2022⁽³⁷⁾. However, when considering the apparent consumption of meat, an upturn trend was observed over the same period, including out-of-home dining, as well as a significant 11.5 % surge in French meat imports⁽³⁷⁾. Also, it has been shown that the decline in red meat consumption noticed in France from the mid-2000s (−12 % in 10 years) has been, to some extent, compensated by an increase in

poultry consumption⁽³⁸⁾, while our results indicate a decrease in all meat categories (except for processed meat). This could be partially attributed to certain specific characteristics within our population, despite efforts made to adjust for the French census. However, this might be seen in a different light, as a French survey (2010–2019) indicated that the substitution of protein sources has remained heterogeneous⁽³⁹⁾. Thus, it is noteworthy that various approaches to quantifying food consumption produce notably distinct results, compromising the precision and relevance of comparisons. This disparity also applies to the composition of the considered food groups. Therefore, the use of individual consumption data provides a more precise and representative perspective of actual dietary habits.

Moreover, we observed an increase in the consumption of legumes, vegetables and fruits between 2014 and 2018, followed by a plateau in 2022. Indeed, the recent data from the Freshful Consumption Monitor⁽⁴⁰⁾ revealed that twenty EU member states, including France in 2021, still consume quantities of fruit and vegetables below the WHO's recommended daily consumption (at least 400 g/d). The hypothesis related to the context such as inflation and the Covid-19 pandemic may explain such a slowdown in the transition to a diet more in line with sustainable recommendations.

Through the use of a gender-specific approach with energy-adjusted consumption data, our results supported the existing literature^(41–43) according to which gender emerges as a significant determinant of dietary behaviours. We observed that men tended to consume a greater quantity of animal products, energy-dense foods and unhealthy items, while women exhibited a greater inclination towards the consumption of plant-based and healthy foods. Indeed, when investigating the obstacles to changing dietary behaviours, a notable gender-based contrast emerged in relation to portion sizes and preferences⁽⁴⁴⁾. Previous works demonstrated that women are more inclined to adopt diets rich in plant-based foods^(45,46), while an American study indicated that men tended to report less healthy lifestyles compared with women, marked by a reduced willingness to cut back on meat consumption⁽⁴⁴⁾. In fact, gender is among the most influential predictor of meat consumption levels^(47,48), and this gender-related effect could be explained, to some extent, by the perception associating meat consumption with masculinity⁽⁴⁴⁾. Moreover, the consumption trends of certain unhealthy foods were advancing more rapidly over time among men than women. This is evident in the increasing consumption of processed meat and butter, as well as the slower decline in sweetened drinks and fruit juices among men. This pattern was also observed for legumes, where the increase was more pronounced among women.

Furthermore, the observed changes in dietary patterns in our study were reflected in an improvement in the quality of diets, as evidenced by the upward trajectories of the cDQI, aDQI and pDQI scores, with higher levels among women compared with men. The slight increase in the aDQI score could be attributed to a more pronounced decline in unhealthy animal-based foods compared with healthy ones. Regarding plant-based foods, the increased pDQI score might be explained by the increase in healthy plant-based sources like legumes, nuts and whole-grain products, contrasted with a simultaneous decrease in unhealthy plant-based items, such as refined cereals, fruit juices and alcohol. A comparable result was achieved in the previously mentioned Dutch cohort, with an improvement in the Dutch Healthy Diet Index 2015 score for both men (+11 %) and women (+13 %) over two decades, mainly explained by an increased consumption of

(shell)fish and nuts/seeds/nut paste⁽³⁵⁾. Yet, an Australian study involving adults over 55 years old (2010–2014) showed that the improvement in the quality of diets was evident only among men⁽⁴⁹⁾.

Also, the observed trends align with recommendations for promoting a sustainable dietary transition, as the mentioned plant-based foods provide dual benefits for both health and the environment^(9,33,50–53). However, the Dutch study mentioned above noted no significant reduction in greenhouse gas emissions despite a shift towards more sustainable diets. This underscores the ongoing necessity for significant reductions in the consumption of animal-based foods, especially red meat⁽⁵⁴⁾, to achieve diets that are both healthier and more environmentally friendly⁽³⁵⁾.

Dietary transition and socio-economic status

Our results highlighted that individuals with higher education levels tended to consume less red meat and more whole-grain products, while those with the lowest educational attainment demonstrated a higher consumption of processed meat. Indeed, education level has an impact on the experience of barriers to dietary change⁽⁵⁵⁾. Lower education levels are well-established correlates of poorer dietary patterns, while higher education levels at baseline are predictive of a shift towards healthier dietary patterns⁽⁴⁸⁾. Besides, a prior study on the same cohort NutriNet-Santé revealed that socially favoured individuals, with a higher level of education, exhibited healthier lifestyles and displayed a significantly elevated Sustainable Diet Index score⁽⁵⁶⁾. Another study found that individuals with a higher level of education showed a preference for a vegetarian diet⁽⁴⁷⁾. These patterns may be partially attributed to the association between education levels, nutritional knowledge and environmental awareness. However, uncertainty persists about the effectiveness of nutritional knowledge in public health nutrition due to the ongoing ambiguity surrounding the relationship between the nature of knowledge and dietary behaviours⁽⁵⁷⁾. Yet, although of limited influence, nutritional knowledge can play an important role in the adoption of healthier dietary behaviours⁽⁵⁷⁾.

Besides, our study revealed that income significantly influences dietary choices. Low-income individuals consumed less red meat when compared with those with a higher income. Yet, individuals with a higher income demonstrated a more substantial decline in meat consumption over time, narrowing the consumption gap compared with those with a lower income. These results align with a study comparing meat consumption trends based on income in developed countries and the Kuznets environmental curve⁽⁵⁸⁾. The comparison indicated an inverted U-shaped relationship, suggesting that beyond a certain income threshold, increased awareness of environmental and health concerns leads to reduced meat consumption⁽⁵⁹⁾.

Furthermore, our findings revealed that legumes were more consumed by individuals with the lowest incomes and students. While being affordable, this food group plays a significant role in sustainable dietary transition, with environmental and health co-benefits^(30,60–62). However, it is still under-consumed in high-income countries⁽⁶³⁾, and various barriers have been pointed out in the literature. For instance, challenges related to sensory and preparation time and knowledge were observed in Denmark and the UK, whereas participants from Germany, Spain and Poland encountered hurdles linked to digestive problems when incorporating pulses⁽⁶⁴⁾.

This prompts us to consider the significance of 'perception' in shaping dietary preferences. Indeed, adopting a sustainable diet is

often perceived as costly, and studies revealed that affluent individuals are more inclined to embrace sustainable dietary choices. The above-mentioned study on the NutriNet-Santé cohort⁽⁵⁶⁾ revealed that within the subset of individuals with the highest Sustainable Diet Index scores, 56.74% reported high incomes (>2700€ per consumption unit). Conversely, affluent individuals tend to consume more meat than their counterparts with lower incomes. Additionally, traditionally linked to lower-income groups⁽⁶⁵⁾, sustainable foods like legumes are more consumed by individuals with limited financial resources. In this context, two strategies for improving the perception of sustainable diets emerge: optimising the 'price signal' of sustainable foods by incorporating externalities into costs and implementing communication campaigns and practical workshops to promote awareness of the advantages of sustainable dietary choices.

Strengths and limitations

As participants in the NutriNet-Santé cohort are voluntary, our sample is not representative of the French population. Nonetheless, we have sought to mitigate this issue by weighting the data. Despite a selection bias, our longitudinal study design offers unique insights into individual-level dietary changes over time, a perspective not achievable through repeated cross-sectional surveys, thus providing valuable contributions to understanding temporal trends in dietary patterns. Second, our study did not account for potential changes in occupational position and income over time, as we assumed that distinctions among the different classes remained consistent throughout the study period. However, our study is among the few depicting recent individual changes in dietary behaviours in a French cohort study. The substantial size of our sample enables us to explore a diverse range of profiles, including individuals who have already initiated the transition to a sustainable diet. This grants us the opportunity to analyse their profiles and gain insights from their trajectories. Moreover, analysing changes based on socio-economic determinants provides relevant information to develop targeted initiatives tailored to specific food groups and subgroups within the population.

Conclusion

In conclusion, over the past 8 years (2014–2022), the dietary habits of French adults have witnessed an increase in the consumption of healthy, plant-based foods and a decline in the consumption of unhealthy foods of both animal and plant origin. The extent of these changes varied between genders and resulted in an enhanced diet quality score (cDQI). Income, education level and occupational position appear to be determining factors of these observed changes. Our results offer accurate information on current trends and associated factors that could be used to formulate targeted initiatives for specific food groups and subgroups within the population. This approach seeks to direct strategic and personalised interventions, promoting a sustainable transition in dietary habits.

Supplementary material. For supplementary material/s referred to in this article, please visit <https://doi.org/10.1017/S0007114524002514>.

Data Share Statement. Analytic code will be made available upon request pending. Researchers from public institutions can submit a collaboration request including information on the institution and a brief description of the project to collaboration@etude-nutrinet-sante.fr. All requests will be reviewed by the steering committee of the NutriNet-Santé study. If the collaboration is accepted, a data access agreement will be necessary and appropriate

authorisations from the competent administrative authorities may be needed. In accordance with existing regulations, no personal data will be accessible.

Acknowledgements. We thank Cédric Agaësse and Alexandre De-Sa (dietitians); Thi Hong Van Duong and Selim Aloui (IT manager), Régis Gatibelza, Jagatjit Mohinder and Aladi Timera (computer scientists); Julien Allegre, Nathalie Arnault, Laurent Bourhis, Nicolas Dechamp and Fabien Szabo de Edelenyi, PhD (supervisor) (data manager/statisticians), for their technical contribution to the NutriNet-Santé study; Paola Yvrou, MD (health event validator), Maria Gomes (Nutrinaute support) and Marine Ricau, PhD (operational coordination). We thank all the volunteers of the NutriNet-Santé cohort.

The NutriNet-Santé study is funded by the French Ministry of Health and Social Affairs, Santé Publique France, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, National Research Institute for Agriculture, Food and the Environment, Conservatoire National des Arts et Métiers and Sorbonne Paris Nord University. The BioNutriNet project (PI EKG) was supported by the French National Research Agency (Agence Nationale de la Recherche) in the context of the 2013 Programme de Recherche Systèmes Alimentaires Durables (ANR-13-ALID-0001). This work is part of the TRANSFood project funded by the French National Research Agency (under the number ANR-21-CE21-0011-01). Hafsa Toujani was supported by a Doctoral Funding from the National Research Agency. The funders had no role in the study design, data collection, analysis, interpretation of data, preparation of the manuscript and decision to submit the paper.

E. K-G. designed the research. H. T. performed statistical analysis. E. K-G. supervised statistical analysis. H. T. drafted the manuscript. E. K-G. supervised the writing. All authors contributed to the data interpretation, revised each draft for important intellectual content and approved the final manuscript. E. K-G. had primary responsibility for the final content; she was the guarantor.

None of the authors reported a conflict of interest related to the study. The corresponding author (H. T.) attests that all listed authors meet the authorship criteria and that no others meeting the criteria have been omitted.

TRANSFood Consortium. Aurelien Chayre (Solagro, 75, Voie TOEC, CS 27608, F-31076 Toulouse Cedex 3, France), Christian Couturier (Solagro, 75, Voie TOEC, CS 27608, F-31076 Toulouse Cedex 3, France), Helene Charreire (MoISA, Univ Montpellier, CIRAD, CIHEAM-IAMM, INRAE, Institut Agro, IRD, Montpellier, France), Jean-Francois HUNEAU (Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR PNCA, 91120, Palaiseau, France), Juhui Wang (Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR PNCA, 91120, Palaiseau, France), Laurent Muller (University Grenoble Alpes, CNRS, GAEI, INRAE, Grenoble INP, 38000 Grenoble, France), Philippe Pointereau (Solagro, 75, Voie TOEC, CS 27608, F-31076 Toulouse Cedex 3, France), Sabrina Teyssier (University Grenoble Alpes, CNRS, GAEI, INRAE, Grenoble INP, 38000 Grenoble, France), Serge Herberg (Université Sorbonne Paris Nord and Université Paris Cité, Inserm, INRAE, CNAM, Centre of Research in Epidemiology and Statistics (CRESS), Nutritional Epidemiology Research Team (EREN), 93017 Bobigny, France), Sylvaine Berger (Solagro, 75, Voie TOEC, CS 27608, F-31076 Toulouse Cedex 3, France), Thierry Feuillet (Université de Caen Normandie, UMR 6266 IDEES CNRS, Caen, France)

Registration of Clinical Trial. Trial registration number: NCT03335644

URL of registration: <https://clinicaltrials.gov/study/NCT03335644?id=NCT03335644&rank=1>

References

- World Meteorological Organization (2024) European State of the Climate 2023. (Internet). <https://wmo.int/publication-series/european-state-of-climate-2023> (accessed 22 August 2024).
- Campbell BM, Beare DJ, Bennett EM, *et al.* (2017) Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecol Soc* **22**, art8.
- Rockström J, Steffen W, Noone K, *et al.* (2009) A safe operating space for humanity. *Nature* **461**, 472–475.
- Steffen W, Richardson K, Rockström J, *et al.* (2015) Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science* **347**, 1259855.

5. Crippa M, Solazzo E, Guizzardi D, et al. (2021) Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nat Food* **2**, 198–209.
6. WWF Germany & WWF Food Practice (2020) Enhancing NDCs for Food Systems Recommendations for Decision-Makers (Internet). https://climatepromise.undp.org/sites/default/files/research_report_document/undp-ndcsp-wwf-unep-foodwaste-ndc-guide.pdf (accessed August 2024).
7. COP28 (2023) Declaration on Food and Agriculture (Internet). <https://www.cop28.com/en/food-and-agriculture> (accessed August 2024).
8. United Nations (2015) 2030 Agenda for Sustainable Development (Internet). <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (accessed August 2024).
9. Springmann M, Mason-D'Croz D & Wiebe K (2018) Health and Nutritional Aspects of Sustainable Diet Strategies and their Association with Environmental Impacts (Internet). https://cloud.etude-nutrinet-sante.fr/index.php/apps/files/?dir=/2_BIBLIO/%2BDurabilit%C3%A9-Environnement/Durabilit%C3%A9%20-%20Sant%C3%A9&fileid=276872 (accessed August 2022).
10. Poore J & Nemecek T (2018) Reducing Food's Environmental Impacts through Producers and Consumers | Science (Internet). <https://www.sciencemag.org/doi/10.1126/science.aag0216> (accessed September 2022).
11. Shukla PR, Skea J, Reisinger A, et al. (2022) Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (accessed January 2023).
12. Xu X, Sharma P, Shu S, et al. (2021) Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods. *Nat Food* **2**, 724–732.
13. Hallström E, Carlsson-Kanyama A & Börjesson P (2015) Environmental impact of dietary change: a systematic review. *J Cleaner Production* **91**, 1–11.
14. Fouillet H, Dussiot A, Perraud E, et al. (2022) Plant to Animal Protein Ratio in the Diet: Nutrient Adequacy, Long-Term Health, Environmental Pressure (Internet). Nutrition. May 2022. <http://medrxiv.org/lookup/doi/10.1101/2022.05.20.22275349> (accessed 21 February 2023).
15. WHO Regional Office for Europe (2021) Plant-Based Diets and their Impact on Health, Sustainability and the Environment. A Review of the Evidence. WHO-EURO-2021-4007-43766-61591-eng.pdf (Internet). <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/349086/WHO-EURO-2021-4007-43766-61591-eng.pdf?sequence=1> (accessed 09 October 2023).
16. Statista Daily Data (2024) Infographic: What is the Popularity of Meat-Free Diets? (Internet). <https://fr.statista.com/infographie/28645/pourcentage-de-personnes-qui-suivent-un-regime-vegan-ou-vegetarien-par-pays> (accessed September 2024).
17. Insee (2024) Evolution of Household Consumption by Age from 2009 to 2019 – Transformations in Agriculture and Food Consumption (Internet). <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728875?sommaire=7728903> (accessed September 2024).
18. World Health Organization (2010) *A Conceptual Framework for Action on the Social Determinants of Health*. Geneva: WHO, p. 76.
19. Agurs-Collins T, Alvidrez J, ElShourbagy Ferreira S, et al. (2024) Perspective: nutrition health disparities framework: a model to advance health equity. *Adv Nutr* **15**, 100194.
20. Darmon N & Drewnowski A (2015) Contribution of food prices and diet cost to socioeconomic disparities in diet quality and health: a systematic review and analysis. *Nutr Rev* **73**, 643–660.
21. Bennett MK (1941) Wheat in National Diets. *Wheat Studies* (Internet) **18**, 37–76. <https://econpapers.repec.org/article/agsfrs/142802.htm> (accessed 25 September 2024).
22. Desbouys L, Méjean C, Henaou SD, et al. (2020) Socio-economic and cultural disparities in diet among adolescents and young adults: a systematic review. *Public Health Nutr* **23**, 843–860.
23. Herberg S, Castebon K, Czernichow S, et al. (2010) The NutriNet-Santé Study: a web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC Public Health* **10**, 242.
24. Vergnaud AC, Touvier M, Méjean C, et al. (2011) Agreement between web-based and paper versions of a socio-demographic questionnaire in the NutriNet-Santé study. *Int J Public Health* **56**, 407–417.
25. INSEE (2009) Definition - Number of Consumption Units in the Household for Tax Purposes | Insee. <https://www.insee.fr/fr/metadata/definition/c1001> (accessed January 2024).
26. Baudry J, Méjean C, Allès B, et al. (2015) Contribution of organic food to the diet in a large sample of French adults (the NutriNet-Santé Cohort Study). *Nutrients* **7**, 8615–8632.
27. NutriNet-Santé (2013) Food Composition Table NUTRINET-SANTÉ Study - Economica. <https://www.economica.fr/livre-table-de-composition-des-aliments-etude-nutrinet-sante-c2x32211075> (accessed January 2023).
28. Keaver L, Ruan M, Chen F, et al. (2021) Plant- and animal-based diet quality and mortality among US adults: a cohort study. *Br J Nutr* **125**, 1405–1415.
29. INSEE (2021) INSEE The SAS CALMAR Macro | (Internet). <https://www.insee.fr/fr/information/2021902> (accessed June 2023).
30. GBD 2019 Risk Factors Collaborators (2020) Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet* **396**, 1223–1249.
31. Clark M, Hill J & Tilman D (2018) The diet, health, and environment trilemma. *Ann Rev Environ Resour* **43**, 109–134.
32. Clark MA, Springmann M, Hill J, et al. (2019) Multiple health and environmental impacts of foods. *Proc Natl Acad Sci USA* **116**, 23357–23362.
33. Auestad N & Fulgoni VL (2015) What current literature tells us about sustainable diets: emerging research linking dietary patterns, environmental sustainability, and economics. *Adv Nutr* **6**, 19–36.
34. Springmann M, Wiebe K, Mason-D'Croz D, et al. (2018) Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: a global modelling analysis with country-level detail. *Lancet Planet Health* **2**, e451–e461.
35. Biesbroek S, Verschuren WM, Boer JM, et al. (2019) Are our diets getting healthier and more sustainable? Insights from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition – Netherlands (EPIC-NL) cohort. *Public Health Nutr* **22**, 2931–2940.
36. Huseinovic E, Hörnell A, Johansson I, et al. (2019) Changes in food intake patterns during 2000–2007 and 2008–2016 in the population-based Northern Sweden Diet Database. *Nutr J* **18**, 36.
37. FranceAgriMer (2022) SYN-VIA-Conso Meat Consumption France 2022.pdf (Internet). <https://www.franceagrimer.fr/content/download/71709/document/SYN-VIA-Conso%20viande%20Fce2022.pdf> (accessed October 2023).
38. Testut-Neves M (2018) FranceAgriMer Studies 2018 / Livestock / Beef Cattle / Volume 1. FranceAgriMer. <https://www.franceagrimer.fr/> (accessed February 2024).
39. Perraud S (2020) Changes in Protein Consumption by Food Sources from 2010 to 2019 According to Consumer Profiles. 2020 Dec 16. <https://zenodo.org/record/4327397> (accessed October 2023).
40. Freshfel (2023) Freshfel Consumption Monitor | (Internet). <https://freshfel.org/what-we-do/consumption-monitor/> (accessed October 2023).
41. Vari R, Scaccocchio B, Del Papa S (2017) Dietary habits and gender differences. *Ital J Gender-Specific Med* **3**, 55–58. <http://dx.doi.org/10.1723/2836.28632> (accessed February 2024).
42. Li KK, Concepcion RY, Lee H, et al. (2012) An examination of sex differences in relation to the eating habits and nutrient intakes of University Students. *J Nutr Educ Behav* **44**, 246–250.
43. Wardle J, Haase AM, Steptoe A, et al. (2004) Gender differences in food choice: the contribution of health beliefs and dieting. *Ann Behav Med* **27**, 107–116.
44. Nakagawa S & Hart C (2019) Where's the beef? How masculinity exacerbates gender disparities in health behaviors. *Socius* **5**, 2378023119831801.
45. Satija A & Hu FB (2018) Plant-based diets and cardiovascular health. *Trends Cardiovasc Med* **28**, 437–441.
46. Derbyshire EJ (2017) Flexitarian diets and health: a review of the evidence-based literature. *Front Nutr* **3**, 55.

47. Stoll-Kleemann S & Schmidt UJ (2017) Reducing meat consumption in developed and transition countries to counter climate change and biodiversity loss: a review of influence factors. *Reg Environ Change* **17**, 1261–1277.
48. Tobler C, Visschers VHM & Siegrist M (2011) Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors. *Appetite* **57**, 674–682.
49. Thorpe MG, Milte CM, Crawford D, *et al.* (2019) Education and lifestyle predict change in dietary patterns and diet quality of adults 55 years and over. *Nutr J* **18**, 67.
50. Clark M, Hill J & Tilman D (2018) The Diet, Health, and Environment Trilemma (Internet). https://cloud.etude-nutrinet-sante.fr/index.php/apps/files/?dir=/2_BIBLIO/R%C3%A9gimes/R%C3%A9gime%20Mediterraneen/Durabilit%C3%A9%20au%20global&fileid=1271145 (accessed 24 August 2022).
51. Weindl I, Ost M, Wiedmer P, *et al.* (2020) Sustainable Food Protein Supply Reconciling Human, Ecosystem Health: A Leibniz Position (Internet). https://cloud.etude-nutrinet-sante.fr/index.php/apps/files/?dir=/2_BIBLIO/%2BDurabilit%C3%A9-Environnement/Syst%C3%A8mes_durables_transition&fileid=289928 (accessed 11 September 2022).
52. Mariotti F (2019) Animal and plant proteins: what are their effects on cardiometabolic health? *Médecine des Maladies Métaboliques* **13**, 245–251.
53. Toujgani H, Brunin J, Perraud E, *et al.* (2023) The nature of protein intake as a discriminating factor of diet sustainability: a multi-criteria approach. *Sci Rep* **13**, 17850.
54. Hjorth T, Huseinovic E, Hallström E, *et al.* (2020) Changes in dietary carbon footprint over ten years relative to individual characteristics and food intake in the Västerbotten Intervention Programme. *Sci Rep* **10**, 20.
55. Naska A, Fouskakis D, Oikonomou E, *et al.* (2006) Dietary patterns and their socio-demographic determinants in 10 European countries: data from the DAFNE databank. *Eur J Clin Nutr* **60**, 181–190.
56. Seconda L, Baudry J, Pointereau P, *et al.* (2019) Development and validation of an individual sustainable diet index in the NutriNet-Santé study cohort. *Br J Nutr* **121**, 1166–1177.
57. Worsley A (2002) Nutrition knowledge and food consumption: can nutrition knowledge change food behaviour? *Asia Pac J Clin Nutr* **11**, S579–S585.
58. Dinda S (2004) Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. *Ecol Econ* **49**, 431–455.
59. Vranken L, Avermaete T, Petalios D, *et al.* (2014) Curbing global meat consumption: emerging evidence of a second nutrition transition. *Environ Sci Policy* **39**, 95–106.
60. Voisin AS, Guéguen J, Huyghe C, *et al.* (2014) Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agron Sustain Dev* **34**, 361–380.
61. Semba RD, Ramsing R, Rahman N, *et al.* (2021) Legumes as a sustainable source of protein in human diets. *Global Food Secur* **28**, 100520.
62. Havemeier S, Erickson J & Slavin J (2017) Dietary guidance for pulses: the challenge and opportunity to be part of both the vegetable and protein food groups. *Ann NY Acad Sci* **1392**, 58–66.
63. Huebbe P & Rimbach G (2020) Historical reflection of food processing and the role of legumes as part of a healthy balanced diet. *Foods* **9**, 1056.
64. Henn K, Goddyn H, Olsen SB, *et al.* (2022) Identifying behavioral and attitudinal barriers and drivers to promote consumption of pulses: a quantitative survey across five European countries. *Food Qual Preference* **98**, 104455.
65. Albala K (2017) *Beans: A History*. London: Bloomsbury Publishing. p. 270.

Online Supplemental material

Supplemental Method 1: Mixed-effects models

To estimate changes in consumption of 23 food groups over time, mixed-effects models for repeated measurements were employed. The general model for each food group was specified as:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 T_{ij} + \beta_2 S_i + \beta_3 A_i + \beta_4 E_{ij} + \beta_5 (T_{ij} \times S_i) + \beta_6 T_{ij}^2 + \mu_i + \varepsilon_{ij}$$

Where:

Y_{ij} : Food group consumption for subject i at time point j .

T_{ij} : Time variable (fixed effect) for subject i at time point j

S_i : Sex (fixed effect) for subject i

A_i : Age at baseline (fixed effect) for subject i

E_{ij} : Total energy intake (repeated measure) for subject i at time point j

μ_i : Random effects for subject i , including at least random intercept and slope

$\varepsilon_{i,j}$: Residual error term for subject i at time point j

Time was modelled to serve both as a fixed effect, capturing the average effect across the entire population, and as a random effect, accounting for individual variability in the temporal trajectory. An interaction term between time and gender was added to estimate the potential differences in evolution trajectories between men and women. The polynomial term Time^2 was introduced to capture potential non-linearity in the trajectory. The spatial power law $SP(\text{POW})(\text{time})$ of the SAS MIXED procedure was utilized to model the correlation structure of repeated measures, due to variations in correlation over time, attributed to the inconsistent time intervals between successive questionnaires. For random effects, various structures for the variance-covariance matrix were explored, and the optimal one (unstructured) was chosen.

In the second part of our analysis, which focuses on examining socioeconomic factors associated with the consumption of four food groups, namely red meat, processed meats, legumes, and wholegrain products, we utilized mixed-effects models similar to those employed earlier, incorporating the relevant covariates as follows:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 T_{ij} + \beta_2 S_i + \beta_3 A_i + \beta_4 E_{ij} + \beta_5 Ed_i + \beta_6 O_i + \beta_7 I_i + \beta_8 (T_{ij} \times S_i) \\ + \beta_9 (T_{ij} \times Ed_i) + \beta_{10} (T_{ij} \times I_i) + \beta_{11} (T_{ij} \times O_i) + \beta_{12} T_{ij}^2 + \mu_i + \varepsilon_{ij}$$

Where additional terms include:

Ed_i: Education level at baseline (fixed effect) for subject i

O_i: Occupational status at baseline (fixed effect) for subject i

I_i: Income at baseline (fixed effect) for subject i

Interaction terms between each of the covariates and time were incorporated into the model to capture their impact on consumption over time.

Similar mixed-effects models were utilized to model the trajectory of each of the the cDQI indicator, and its two components, the aDQI and the pDQI, as follows:

$$cDQI_{i,j} = \beta_0 + \beta_1 T_{i,j} + \beta_2 S_i + \beta_3 E_{i,j} + \beta_4 (T_{i,j} \times S_i) + \mu_i + \varepsilon_{i,j}$$

Supplemental Table 1: Sociodemographic Characteristics Across Study Waves^{1,2,3}

	2014	2018 Resp.	2018 Non-resp.	P	2022 Resp.	2022 Non-resp.	P	2014_2018_ 2022 Resp.	2014_2018_ 2022 Non-resp.	P
Unweighted n	17,187	15,548	1,639		10,734	6,453		9,095	8,092	
Sex				<0.0001			0,10			0,10
Women	52.36	53.07	46.8		51.81	53.1		53.05	51.76	
Men	47.64	46.93	53.2		48.19	46.9		46.95	48.24	
Age	48.38 (15.97)	48.48 (16.02)	47.59 (15.47)	<0.0001	49.44 (14.43)	49.94 (18.13)	<0.0001	49.90 (14.19)	47.07 (17.63)	<0.0001
Education level				0.0008			<0.0001			<0.0001
Primary	59.92	59.88	60.21		61.96	57.15		62.39	57.8	
Secondary	15.19	15.52	12.63		12.38	19.01		12.32	17.65	
Post-secondary	24.89	24.6	27.16		25.66	23.85		25.29	24.55	
Occupational position				<0.0001			<0.0001			<0.0001
Self-employed/farmer	4.45	4.6	3.22		3.91	5.17		4.08	4.76	
Managerial staff/intellectual profession	9.10	8.69	12.26		10.74	6.87		10.36	8.02	
Unemployed	8.85	9.34	5.04		11.46	5.29		13.05	5.24	
Employee. manual worker	31.19	30.52	36.3		28.67	34.59		26.78	34.96	
Students	4.49	4.34	5.74		2.67	6.98		1.91	6.72	
Intermediate professions	14.50	13.94	18.83		15.1	13.68		14.18	14.77	
Retired	27.42	28.56	18.6		27.44	27.41		29.63	25.54	
Monthly income per household unit				<0.0001			<0.0001			<0.0001
NA	6.58	6.83	4.65		6.44	6.77		6.88	6.32	
< 1200€/C.U.	24.42	25.27	17.87		24.44	24.4		26.07	23.01	
1200 - 1800€/ C.U.	30.91	29.16	44.51		29.13	33.33		25.33	35.7	
1800 - 2700€/ C.U.	23.39	23.84	19.91		23.54	23.19		24.44	22.5	
>2700€/ C.U.	14.70	14.91	13.07		16.46	12.31		17.29	12.47	
Place of residence				<0.0001			<0.0001			<0.0001
Rural community	23.99	24.61	19.16		24.39	23.43		25.69	22.52	
Urban unit (<20,000 inhabitants)	18.63	19.29	13.4		18.62	18.64		19.91	17.53	
Urban unit (20,000 to 200,000 inhabitants)	16.80	16.3	20.77		15.92	18		14.73	18.59	
Urban unit (>200,000 inhabitants)	40.58	39.8	46.67		41.06	39.93		39.68	41.36	

Abbreviations: C.U., consumption unit; Resp., respondents ; Non-resp., Non- respondents.

¹Values are mean (SD) or % as appropriate, all data are weighted.

Annexes

²P-values, calculated using ANOVA or Chi² test, indicate the significance of the differences between respondents and non-respondents for each wave of the study.

Supplemental Table 2: Parameters of the mixed-effects models modeling the evolution trajectories of food groups (2014 to 2022), n = 17,187, NutriNet-Santé Study^{1,2}

Food groups	Intercept	Age	TEI	Time	Sex (Men vs Women)	Time x Sex	Time x Time
Alcohol	-38.22 (-48.25;-28.19)	1.18 (1.03;1.33)	0.03 (0.03;0.03)	-9.03 (-14.22;-3.84)	102.44 (96.5;108.39)	-5.81 (-7.95;-3.67)	1.3 (-0.01;2.6)
Animal substitutes	10.23 (2.39;18.06)	-0.33 (-0.43;-0.23)	0.02 (0.01;0.02)	10.32 (4.86;15.77)	-10.95 (-15.45;-6.45)	-1.03 (-3.08;1.03)	-1.72 (-3.1;-0.35)
Butter	-9.14 (-9.68;-8.6)	0.03 (0.02;0.04)	0 (0;0)	7.91 (7.49;8.32)	-0.79 (-1.1;-0.47)	0.48 (0.32;0.65)	-1.6 (-1.71;-1.5)
Dairy products	1.5 (-9.67;12.66)	0.58 (0.43;0.73)	0.09 (0.08;0.09)	-0.69 (-7.92;6.54)	-61.27 (-68.16;-54.38)	8.44 (5.65;11.23)	-1.85 (-3.66;-0.03)
Eggs	-9.31 (-10.49;-8.13)	0.1 (0.09;0.11)	0 (0;0.01)	7.16 (6.22;8.1)	-2.3 (-2.93;-1.67)	-0.11 (-0.44;0.22)	-1.24 (-1.48;-1)
Fish	-10.07 (-13.28;-6.87)	0.46 (0.42;0.5)	0.02 (0.02;0.02)	-3.52 (-5.76;-1.28)	-0.77 (-2.73;1.18)	-0.44 (-1.25;0.37)	0.61 (0.05;1.18)
Fruit juice	95.53 (87.45;103.61)	-0.51 (-0.6;-0.42)	0.02 (0.02;0.02)	-31.54 (-37.39;-25.69)	10.72 (4.33;17.1)	0.89 (-1.94;3.71)	3.68 (2.22;5.14)
Fruits	-221.42 (-241.22;-201.63)	4.06 (3.84;4.28)	0.13 (0.13;0.13)	67.3 (51.45;83.15)	-90.26 (-102.2;-78.32)	-7.6 (-12.46;-2.75)	-14.37 (-18.34;-10.39)
Hot drinks	432.4 (384.52;480.29)	2.94 (2.5;3.39)	0.1 (0.09;0.11)	81.3 (36.39;126.21)	-159.98 (-178.98;-140.98)	11.56 (2.91;20.21)	-20.54 (-31.82;-9.27)
Legumes	3.09 (0.66;5.53)	-0.23 (-0.26;-0.2)	0.01 (0.01;0.01)	8.68 (6.76;10.59)	1.5 (0.03;2.97)	-0.16 (-0.83;0.5)	-1.71 (-2.19;-1.23)
Milk	54.05 (43.4;64.7)	-0.37 (-0.5;-0.24)	0.03 (0.03;0.03)	-50.06 (-57.74;-42.39)	1.76 (-4.71;8.23)	0.84 (-2.02;3.71)	11.48 (9.55;13.41)
Nuts	-11.54 (-12.99;-10.1)	0.03 (0.01;0.05)	0.01 (0.01;0.01)	8.79 (7.81;9.76)	-4.45 (-5.31;-3.6)	-0.63 (-1.05;-0.2)	-1.52 (-1.76;-1.27)
PMD	18.21 (15.71;20.71)	-0.45 (-0.48;-0.42)	0.02 (0.02;0.02)	3.59 (1.81;5.37)	4.24 (2.21;6.28)	0.44 (-0.55;1.43)	-0.33 (-0.77;0.11)
Plant-based fat	-3.76 (-5.39;-2.12)	0.08 (0.06;0.1)	0.02 (0.02;0.02)	0.6 (-0.69;1.88)	-9.13 (-10.05;-8.22)	-0.07 (-0.52;0.37)	0.07 (-0.26;0.39)
Potatoes	-0.97 (-2.67;0.73)	0.07 (0.05;0.09)	0.01 (0.01;0.01)	-5.85 (-7.13;-4.57)	7.74 (6.72;8.77)	0.08 (-0.42;0.57)	1.5 (1.18;1.82)
Poultry	18.62 (16.5;20.74)	-0.24 (-0.27;-0.22)	0.01 (0.01;0.01)	-2.91 (-4.56;-1.26)	0.41 (-0.88;1.71)	0.32 (-0.31;0.95)	0.3 (-0.12;0.71)
Processed meat	-15.15 (-16.97;-13.33)	-0.14 (-0.16;-0.12)	0.01 (0.01;0.01)	23.16 (21.76;24.55)	-0.36 (-1.34;0.61)	3.19 (2.71;3.68)	-5.28 (-5.63;-4.93)
Red meat	2.72 (-0.76;6.21)	0.22 (0.17;0.26)	0.03 (0.03;0.03)	-17.54 (-20;-15.09)	12.94 (10.66;15.22)	0.52 (-0.51;1.55)	2.95 (2.34;3.57)
Refined cereals	104.36 (98.07;110.64)	-1.27 (-1.35;-1.19)	0.05 (0.05;0.05)	-25.81 (-30.2;-21.43)	30.45 (26.47;34.43)	-0.83 (-2.58;0.92)	3.66 (2.56;4.76)
SSFF	17.9 (13.97;21.83)	-0.3 (-0.35;-0.25)	0.04 (0.04;0.04)	-8 (-10.66;-5.33)	4.87 (2.48;7.26)	1.54 (0.48;2.6)	2.18 (1.51;2.85)
Sweet drinks	57 (48.22;65.79)	-0.85 (-0.94;-0.77)	0.02 (0.02;0.02)	-10.29 (-17.92;-2.67)	2.99 (-1.83;7.81)	2.69 (0.61;4.76)	1.47 (-0.45;3.38)
Vegetables	-74.64 (-91.21;-58.06)	3.06 (2.87;3.25)	0.13 (0.12;0.13)	39.42 (26.57;52.27)	-75.06 (-85.65;-64.48)	-2.99 (-8.47;2.5)	-8.02 (-11.25;-4.79)
Wholegrain products	-4.49 (-10.95;1.96)	-0.04 (-0.11;0.04)	0.04 (0.04;0.04)	-7.84 (-12.75;-2.94)	-10.16 (-13.94;-6.38)	2.14 (0.48;3.8)	2.42 (1.19;3.65)

¹Abbreviations: TEI, Total energy intake over time; SSFF, Sweetened / Salty and Fatty Foods; PMD, Prepared and Mixed Dishes.²Values are of the β -coefficients (95% CI) of the mixed-effects models of the evolution trajectories of food groups. Models have been adjusted for sex, age and TEI.

Supplemental Table 3: Food group consumption over time (2014 to 2022), n = 17,187, NutriNet-Santé Study^{1,2}

Food groups	Whole sample			Men			Women		
	2014	2018	2022	2014	2018	2022	2014	2018	2022
Processed meat	21.59 (21.27;21.92)	29.4 (28.99;29.81)	29.1 (28.63;29.58)	22.37 (21.81;22.93)	33.18 (32.48;33.89)	32.86 (32.05;33.66)	20.82 (20.47;21.16)	25.62 (25.18;26.05)	25.35 (24.84;25.87)
Legumes	16.47 (15.97;16.97)	18.96 (18.47;19.46)	20.03 (19.53;20.53)	17.19 (16.33;18.05)	19.29 (18.43;20.15)	20.47 (19.62;21.33)	15.75 (15.22;16.27)	18.64 (18.12;19.16)	19.59 (19.05;20.13)
Plant-based fat	30.67 (30.38;30.97)	30.9 (30.54;31.25)	32.28 (31.88;32.68)	26.21 (25.70;26.72)	26.03 (25.42;26.64)	27.75 (27.07;28.42)	35.14 (34.82;35.45)	35.76 (35.39;36.14)	36.82 (36.39;37.25)
SSFF	78.98 (78.13;79.83)	80.17 (79.17;81.18)	81.33 (80.55;82.11)	81.61 (80.15;83.07)	84.56 (82.84;86.28)	85.22 (83.90;86.55)	76.36 (75.44;77.27)	75.79 (74.71;76.86)	77.43 (76.56;78.30)
Fish	47.88 (47.19;48.57)	47.82 (47.18;48.46)	45.22 (44.39;46.04)	47.17 (45.98;48.36)	47.27 (46.16;48.38)	44.13 (42.73;45.53)	48.59 (47.86;49.32)	48.37 (47.70;49.04)	46.3 (45.41;47.19)
Potatoes	24.98 (24.64;25.31)	24.66 (24.29;25.02)	25.18 (24.74;25.62)	28.71 (28.13;29.29)	28.83 (28.21;29.45)	29.08 (28.34;29.83)	21.25 (20.90;21.60)	20.48 (20.10;20.86)	21.28 (20.80;21.75)
Poultry	25.56 (25.15;25.97)	23.24 (22.80;23.68)	22.52 (21.94;23.10)	25.86 (25.15;26.57)	23.8 (23.04;24.56)	23.15 (22.18;24.13)	25.26 (24.83;25.69)	22.69 (22.23;23.15)	21.89 (21.27;22.52)
PMD	33.32 (32.57;34.06)	37.03 (36.59;37.48)	38.5 (37.99;39.01)	35.62 (34.38;36.86)	40.01 (39.30;40.72)	40.93 (40.12;41.74)	31.01 (30.19;31.84)	34.06 (33.54;34.58)	36.07 (35.44;36.70)
Refined cereals	125.85 (124.18;127.52)	110.54 (109.40;111.69)	102.77 (101.05;104.48)	140.7 (137.83;143.57)	125.51 (123.53;127.49)	117.25 (114.34;120.17)	110.99 (109.23;112.75)	95.58 (94.385;96.778)	88.28 (86.448;90.129)
Alcohol	128.16 (126.08;130.24)	122.1 (119.92;124.28)	112.9 (110.64;115.17)	176.03 (172.44;179.62)	167.08 (163.33;170.84)	153.95 (150.08;157.82)	80.29 (78.097;82.485)	77.12 (74.839;79.405)	71.86 (69.417;74.313)
Butter	3.47 (3.37;3.56)	7.15 (7.01;7.29)	6.923 (6.76;7.07)	3.25 (3.09;3.41)	7.47 (7.23;7.70)	7.12 (6.86;7.38)	3.68 (3.58;3.78)	6.84 (6.69;6.98)	6.72 (6.55;6.89)
Sweet drinks	43.01 (41.35;44.67)	38.23 (36.30;40.17)	36.63 (35.04;38.22)	46.23 (43.37;49.09)	43.29 (39.97;46.61)	42.49 (39.77;45.21)	39.79 (38.04;41.54)	33.18 (31.15;35.20)	30.77 (29.05;32.49)
Wholegrain products	68.01 (66.77;69.26)	70.38 (69.02;71.75)	72.64 (71.12;74.16)	64.72 (62.56;66.87)	67.17 (64.81;69.52)	71.09 (68.51;73.68)	71.31 (69.99;72.63)	73.6 (72.17;75.04)	74.18 (72.54;75.82)
Fruit juice	85.76 (83.86;87.66)	68.07 (66.35;69.79)	51.66 (50.10;53.22)	91.61 (88.35;94.88)	74.06 (71.11;77.01)	58.16 (55.50;60.82)	79.9 (77.90;81.91)	62.08 (60.28;63.88)	45.16 (43.47;46.84)
Milk	58.86 (56.62;61.09)	48.03 (45.67;50.40)	51.58 (47.40;55.77)	60.33 (56.47;64.18)	50 (45.93;54.08)	53.57 (46.47;60.67)	57.38 (55.02;59.75)	46.06 (43.58;48.55)	49.59 (45.11;54.07)
Nuts	8.4 (8.122;8.685)	11.49 (11.14;11.84)	13.38 (12.94;13.81)	5.898 (5.412;6.384)	8.32 (7.715;8.929)	10.22 (9.489;10.95)	10.9 (10.61;11.20)	14.66 (14.29;15.03)	16.53 (16.06;17.00)
Eggs	11.18 (10.99;11.37)	14.23 (13.94;14.52)	15.52 (15.20;15.85)	10.13 (9.807;10.45)	12.93 (12.44;13.43)	14.44 (13.89;14.98)	12.23 (12.03;12.43)	15.53 (15.22;15.83)	16.61 (16.26;16.96)
Dairy products	182.58 (180.45;184.72)	177.39 (174.70;180.07)	175.85 (173.38;178.32)	156.66 (152.97;160.35)	155.84 (151.23;160.45)	157.64 (153.44;161.85)	208.51 (206.25;210.76)	198.93 (196.12;201.74)	194.06 (191.39;196.73)

Annexes

Red meat	61.36 (60.6;62.12)	54.09 (53.33;54.86)	49.87 (49.11;50.63)	67.63 (66.33;68.93)	61.54 (60.24;62.85)	56.47 (55.17;57.77)	55.09 (54.28;55.89)	46.65 (45.84;47.45)	43.27 (42.44;44.10)
Animal substitutes	26.11 (24.39;27.82)	32.21 (30.31;34.11)	31.78 (29.41;34.15)	22.22 (19.39;25.06)	25.23 (22.08;28.39)	26.28 (22.37;30.19)	29.99 (28.02;31.96)	39.19 (37.05;41.34)	37.28 (34.57;39.99)
Vegetables	351.79 (348.26;355.33)	358.51 (354.59;362.42)	365.73 (361.16;370.30)	312.92 (306.89;318.94)	315.04 (308.39;321.69)	324.38 (316.73;332.04)	390.66 (386.80;394.53)	401.98 (397.76;406.19)	407.07 (401.96;412.19)
Hot drinks	767.17 (758.20;776.14)	796.5 (787.69;805.30)	781.7 (770.72;792.68)	711.84 (696.90;726.78)	736.32 (721.68;750.96)	736.9 (718.70;755.11)	822.49 (812.32;832.67)	856.67 (846.72;866.62)	826.5 (814.00;839.00)
Fruits	276.40 (272.32;280.49)	293.65 (289.32;297.98)	288.37 (284.34;292.41)	229.9 (222.87;236.94)	238.11 (230.68;245.54)	235.33 (228.46;242.21)	322.9 (318.59;327.21)	349.18 (344.65;353.71)	341.42 (337.05;345.78)

¹Abbreviations: SSFF, Sweetened / Salty and Fatty Foods; PMD, Prepared and Mixed Dishes.

²Values are the least squares means (CI) of adjusted consumptions (for sex, age and total energy intake).

Supplemental Table 4: Parameters of mixed-effects models modeling the socioeconomic determinants of the consumption over time (2014 to 2022), for the 4 food groups strongly associated with mortality risk (red meat, processed meat, legumes, and whole products), n =17 187, NutriNet-Santé Study^{1,2}

	Red meat		Processed meat		Legumes		Wholegrain products	
	Estimate	Pvalue	Estimate	Pvalue	Estimate	Pvalue	Estimate	Pvalue
Intercept	4.17 (-1.78;10.12)	0.16	-16.58 (-19.47;-13.68)	< 0.0001	-1.09 (-4.95;2.77)	0.58	-1.12 (-11.51;9.26)	0.83
Time	-11.61 (-14.25;-8.97)	< 0.0001	26.35 (24.81;27.9)	< 0.0001	8 (5.88;10.12)	< 0.0001	-17.8 (-22.93;-12.67)	< 0.0001
Age	0.1 (0.03;0.17)	0.01	-0.19 (-0.22;-0.15)	< 0.0001	-0.14 (-0.18;-0.09)	< 0.0001	0.13 (0.01;0.25)	0.04
Total Energy Intake	0.03 (0.03;0.03)	< 0.0001	0.01 (0.01;0.01)	< 0.0001	0.01 (0.01;0.01)	< 0.0001	0.04 (0.04;0.04)	< 0.0001
Sex (Men vs Women)	13.29 (10.97;15.62)	< 0.0001	-0.09 (-1.11;0.92)	0.86	0.99 (-0.56;2.55)	0.21	-12.36 (-16.43;-8.29)	< 0.0001
Time x Sex (Men vs Women)	0.34 (-0.62;1.31)	0.48	3.19 (2.69;3.7)	< 0.0001	0.23 (-0.47;0.93)	0.52	3.02 (1.23;4.81)	< 0.0001
Income								
< 1200€/C.U.	-8.39 (-12.29;-4.48)	< 0.0001	1.57 (-0.14;3.28)	0.07	3.58 (0.97;6.2)	0.01	2.84 (-3.99;9.68)	0.41
1200 - 1800€/C.U.	-2.82 (-5.69;0.06)	0.05	1.72 (0.45;2.98)	0.01	1.65 (-0.27;3.58)	0.09	4.6 (-0.44;9.64)	0.07
1800 - 2700€/C.U.	-3.57 (-6.17;-0.98)	0.01	0.98 (-0.16;2.12)	0.09	1.4 (-0.34;3.13)	0.11	5.58 (1.04;10.12)	0.02
>2700€/C.U.	ref		ref		ref		ref	
Time x Income								
< 1200€/C.U.	1.71 (0.07;3.35)	0.04	-0.47 (-1.33;0.39)	0.29	-0.08 (-1.28;1.11)	0.89	-1.77 (-4.81;1.27)	0.25
1200 - 1800€/C.U.	0.44 (-0.78;1.65)	0.48	-0.13 (-0.77;0.5)	0.68	0.1 (-0.78;0.99)	0.82	-1.99 (-4.24;0.26)	0.08
1800 - 2700€/C.U.	1.26 (0.16;2.35)	0.02	-0.25 (-0.82;0.33)	0.40	-0.36 (-1.15;0.44)	0.38	-1.95 (-3.98;0.08)	0.06
>2700€/C.U.	ref		ref		ref		ref	
Education								
< Baccaulaureate	8.05 (5.28;10.82)	< 0.0001	2.3 (1.09;3.51)	0.0001	-0.55 (-2.4;1.3)	0.56	-9.62 (-14.47;-4.78)	< 0.0001
Baccaulaureate	2.16 (-0.92;5.23)	0.17	0.52 (-0.83;1.87)	0.45	-0.93 (-2.99;1.13)	0.38	-5.78 (-11.17;-0.39)	0.03
> Baccaulaureate	ref		ref		ref		ref	
Time x Education								
< Baccaulaureate	-0.16 (-1.31;0.99)	0.78	-0.31 (-0.91;0.29)	0.31	-1.29 (-2.13;-0.45)	0.002	0.37 (-1.76;2.51)	0.73
Baccaulaureate	1.04 (-0.26;2.34)	0.12	0.31 (-0.37;0.99)	0.38	0 (-0.95;0.95)	0.10	0.23 (-2.18;2.65)	0.85
> Baccaulaureate	ref		ref		ref		ref	
Occupational status								

Annexes

Employee/manual worker	3.45 (-0.23;7.13)	0.07	1.01 (-0.62;2.64)	0.22	-2.05 (-4.49;0.38)	0.10	-16.34 (-22.76;-9.92)	< 0.0001
Intermediate professions	3.12 (-0.32;6.55)	0.07	1.5 (-0.02;3.02)	0.05	-2.55 (-4.82;-0.28)	0.02	-14.38 (-20.36;-8.39)	< 0.0001
Managerial staff/intellectual profession	1.37 (-1.84;4.59)	0.40	0.02 (-1.41;1.45)	0.97	-0.73 (-2.84;1.39)	0.50	-5.22 (-10.81;0.37)	0.07
Unemployed	-3.29 (-7.61;1.03)	0.13	-1.31 (-3.23;0.6)	0.18	2.37 (-0.51;5.25)	0.11	2.32 (-5.23;9.87)	0.55
Self-employed/farmer	2.86 (-5.56;11.28)	0.50	0.65 (-3.01;4.3)	0.73	-0.43 (-6.06;5.19)	0.88	3.38 (-11.35;18.1)	0.65
Students	-0.32 (-11.12;10.47)	0.95	-2.02 (-6.77;2.73)	0.40	4.75 (-2.46;11.96)	0.20	-11.04 (-29.94;7.86)	0.25
Retired	ref		ref		ref		ref	
Time x Occupational status								
Employee. manual worker	-0.93 (-2.38;0.51)	0.20	-0.66 (-1.42;0.09)	0.08	1.33 (0.28;2.39)	0.01	8.21 (5.54;10.89)	< 0.0001
Intermediate professions	-1.47 (-2.81;-0.13)	0.03	-0.88 (-1.58;-0.18)	0.01	2.02 (1.04;2.99)	< 0.0001	8.32 (5.84;10.81)	< 0.0001
Managerial staff/intellectual profession	-1.67 (-2.9;-0.43)	0.01	-0.89 (-1.54;-0.25)	0.01	1.16 (0.27;2.06)	0.01	6.34 (4.05;8.62)	< 0.0001
Unemployed	0.35 (-1.45;2.15)	0.70	0.16 (-0.78;1.11)	0.73	0.57 (-0.74;1.88)	0.40	1.02 (-2.31;4.36)	0.55
Self-employed/farmer	-2.43 (-5.88;1.01)	0.17	-0.73 (-2.52;1.07)	0.43	1.92 (-0.59;4.43)	0.13	-1.09 (-7.48;5.3)	0.74
Students	-3.68 (-8.08;0.72)	0.10	-2.9 (-5.21;-0.59)	0.01	1.52 (-1.71;4.74)	0.36	13.68 (5.49;21.87)	< 0.0001
Retired	ref		ref		ref		ref	
Time x Time	1.45 (0.84;2.06)	< 0.0001	-5.95 (-6.32;-5.59)	< 0.0001	-1.67 (-2.16;-1.17)	< 0.0001	4.19 (3;5.38)	< 0.0001

¹Values are of the β -coefficients (95% CI) of the mixed-effects models of the evolution trajectories of food groups. Models have been adjusted for sex, age, TEI and socioeconomic variables (Income, education and occupational status).

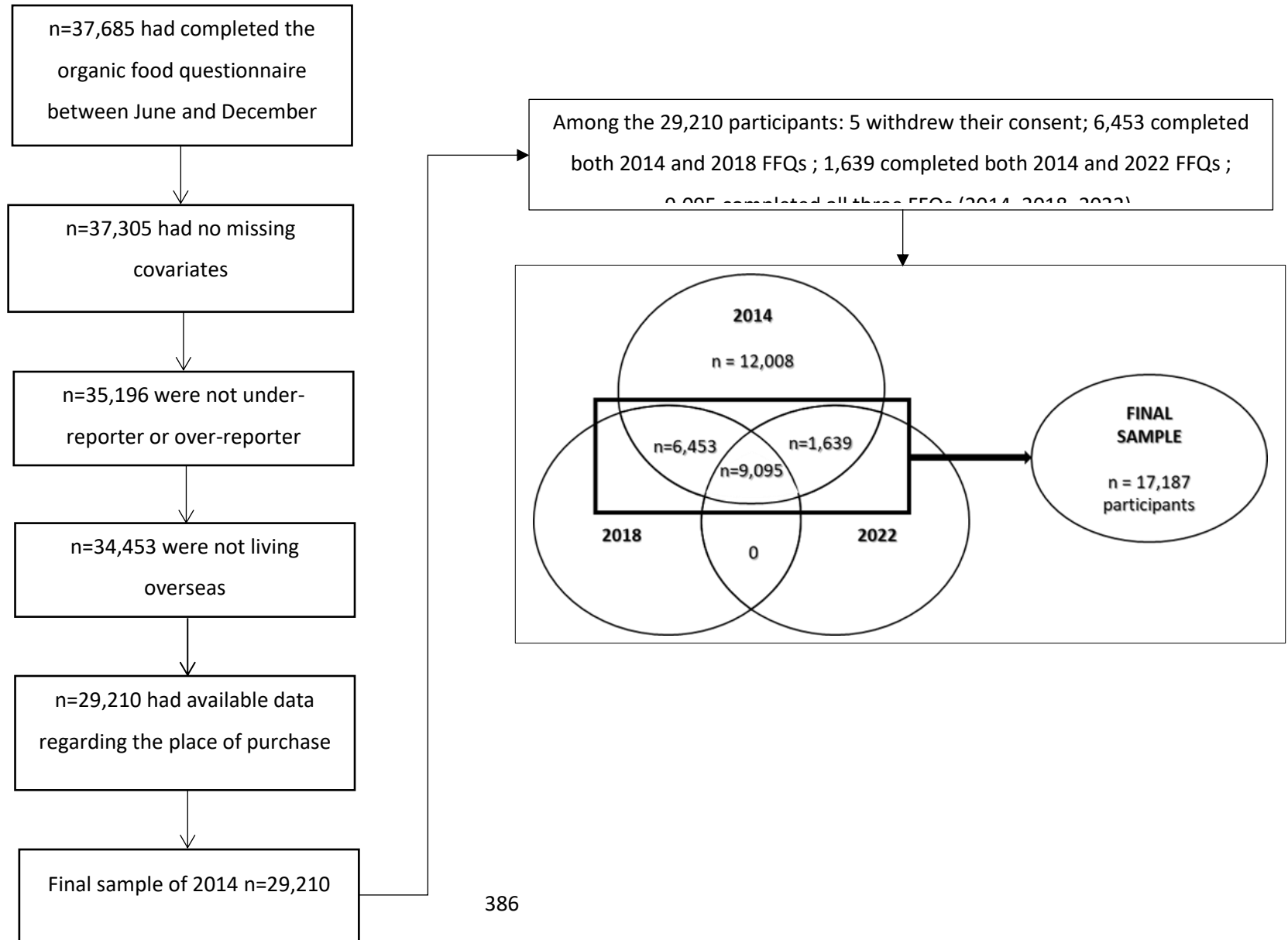
²P-values are those of β -coefficients.

Supplemental Table 5: Food group consumption over time (2014 to 2022) in each socioeconomic category, n = 17,187, NutriNet-Santé Study¹

	Red meat			Processed meat			Legumes			Wholegrain products		
	2014	2018	2022	2014	2018	2022	2014	2018	2022	2014	2018	2022
Income												
< 1200€/C.U.	57.00 (54.35;59.65)	50.85 (48.41;53.29)	47.07 (44.52;49.62)	21.85 (20.81;22.88)	29.10 (27.80;30.41)	28.81 (27.24;30.38)	19.43 (17.87;21.00)	22.46 (20.94;23.98)	23.95 (22.18;25.72)	64.93 (60.93;68.93)	71.16 (66.94;75.39)	69.59 (64.58;74.60)
1200 - 1800€/C.U.	61.74 (59.56;63.91)	53.45 (51.45;55.46)	49.08 (46.98;51.18)	22.22 (21.37;23.06)	30.14 (29.07;31.21)	29.04 (27.75;30.33)	17.59 (16.30;18.87)	20.98 (19.73;22.22)	22.35 (20.89;23.81)	66.96 (63.67;70.25)	70.98 (67.51;74.44)	72.66 (68.52;76.79)
1800 - 2700€/C.U.	61.88 (59.74;64.02)	54.39 (52.43;56.36)	50.32 (48.27;52.37)	21.39 (20.56;22.23)	29.02 (27.97;30.08)	28.25 (26.98;29.52)	17.51 (16.25;18.77)	19.41 (18.18;20.63)	22.31 (20.88;23.73)	68.10 (64.87;71.34)	71.67 (68.26;75.08)	73.49 (69.44;77.53)
>2700€/C.U.	64.24 (62.12;66.36)	55.77 (53.83;57.71)	51.42 (49.41;53.43)	21.01 (20.18;21.83)	28.35 (27.30;29.40)	28.41 (27.16;29.66)	15.95 (14.70;17.20)	19.11 (17.90;20.32)	20.94 (19.54;22.34)	64.03 (60.83;67.23)	69.77 (66.39;73.16)	73.77 (69.80;77.75)
Education												
Primary	65.65 (63.42;67.89)	57.03 (54.98;59.08)	52.41 (50.26;54.55)	22.31 (21.45;23.18)	30.00 (28.90;31.10)	29.66 (28.34;30.99)	16.76 (15.44;18.08)	17.92 (16.64;19.19)	20.41 (18.91;21.91)	60.63 (57.27;63.99)	65.70 (62.16;69.25)	67.57 (63.35;71.80)
Secondary	61.20 (58.80;63.60)	53.29 (51.09;55.49)	49.90 (47.60;52.20)	21.48 (20.55;22.41)	28.83 (27.65;30.02)	29.12 (27.70;30.54)	17.19 (15.77;18.61)	20.29 (18.91;21.66)	22.33 (20.73;23.94)	63.64 (60.02;67.26)	69.58 (65.76;73.40)	69.90 (65.36;74.44)
Post-secondary	57.66 (55.85;59.48)	49.25 (47.58;50.93)	44.99 (43.24;46.74)	20.58 (19.86;21.29)	27.92 (27.03;28.82)	27.39 (26.32;28.45)	17.85 (16.78;18.92)	21.73 (20.69;22.77)	23.01 (21.81;24.22)	69.55 (66.79;72.31)	74.78 (71.87;77.68)	75.99 (72.57;79.41)
Occupational status												
Employee/manual worker	64.90 (62.61;67.18)	56.45 (54.34;58.56)	52.70 (50.54;54.87)	22.64 (21.75;23.54)	29.95 (28.82;31.07)	30.40 (29.07;31.73)	15.32 (13.97;16.67)	17.55 (16.24;18.87)	20.39 (18.89;21.89)	57.41 (53.95;60.86)	66.33 (62.67;69.98)	68.86 (64.62;73.10)
Intermediate professions	63.48 (61.22;65.75)	55.09 (53.00;57.18)	50.60 (48.50;52.70)	23.04 (22.16;23.92)	29.83 (28.71;30.95)	30.36 (29.07;31.65)	15.54 (14.20;16.87)	18.74 (17.43;20.04)	21.13 (19.68;22.58)	58.87 (55.45;62.29)	69.31 (65.67;72.94)	72.48 (68.37;76.59)
Managerial staff/intellectual profession	61.22 (59.09;63.35)	52.96 (51.00;54.93)	48.34 (46.36;50.32)	21.35 (20.52;22.19)	28.47 (27.41;29.52)	28.67 (27.46;29.89)	16.32 (15.07;17.58)	19.19 (17.96;20.41)	20.42 (19.06;21.78)	66.81 (63.56;70.06)	73.40 (69.97;76.84)	76.24 (72.35;80.13)
Unemployed	59.22 (56.46;61.98)	52.27 (49.74;54.79)	49.54 (46.91;52.17)	20.82 (19.75;21.89)	29.31 (27.94;30.68)	29.25 (27.61;30.89)	18.63 (17.00;20.26)	21.32 (19.74;22.90)	22.02 (20.18;23.86)	68.63 (64.42;72.84)	69.83 (65.40;74.26)	70.02 (64.76;75.28)
Self-employed/farmer	62.49 (56.41;68.56)	52.45 (46.87;58.03)	48.94 (43.26;54.61)	22.98 (20.65;25.32)	30.56 (27.54;33.58)	31.25 (27.74;34.76)	17.22 (13.64;20.80)	19.63 (16.13;23.12)	22.35 (18.41;26.29)	66.78 (57.68;75.88)	66.27 (56.59;75.96)	60.05 (48.92;71.17)
Students	57.29 (49.96;64.61)	47.49 (40.74;54.25)	41.77 (34.31;49.24)	17.30 (14.44;20.16)	23.86 (20.26;27.47)	20.76 (16.15;25.37)	21.47 (17.16;25.79)	26.07 (21.87;30.27)	29.17 (23.93;34.42)	67.36 (56.33;78.40)	80.48 (68.83;92.12)	86.72 (71.93;101.5)
Retired	61.94 (60.33;63.55)	55.63 (54.13;57.13)	51.79 (50.25;53.33)	22.06 (21.41;22.71)	30.46 (29.68;31.24)	30.37 (29.47;31.27)	16.36 (15.41;17.31)	17.34 (16.42;18.26)	17.95 (16.92;18.98)	66.38 (63.90;68.86)	64.53 (61.96;67.10)	63.71 (60.78;66.64)

¹Values are the least squares means (CI) of adjusted consumptions (for sex, age, total energy intake, education, income and occupational status).

Supplemental Figure 3: Selection of the study sample



Annexe 26 : Article publié « Dietary consumption trajectory profiles over time of French adults from the NutriNet-Santé cohort (2014–2022): multicriteria analysis of sustainability »

Toujgani et al. *Int J Behav Nutr Phys Act* (2025) 22:76
<https://doi.org/10.1186/s12966-025-01777-w>

International Journal of Behavioral
 Nutrition and Physical Activity

RESEARCH

Open Access



Dietary consumption trajectory profiles over time of French adults from the NutriNet-Santé cohort (2014–2022): multicriteria analysis of sustainability

Hafsa Toujgani¹, Juhui Wang², Elie Perraud², Julia Baudry¹, Justine Berlivet¹, Benjamin Allès¹, Hélène Fouillet², Serge Hercberg¹, Mathilde Touvier¹, Denis Lairon³, Philippe Pointereau⁴, Christian Couturier⁴, François Mariotti², Emmanuelle Kesse-Guyot^{1*} and the TRANSFood Consortium

Abstract

Background Dietary patterns significantly impact climate change and morbidity, making transitions to sustainable diets urgent. Few studies explore repeated dietary measures collected over several years or variations across distinct consumer profiles characterized by sociodemographic and dietary patterns.

Objective Our study aims to identify dietary trajectory profiles in French adults (2014–2022), assessing environmental, nutritional, and health outcomes.

Methods Consumption data from 17,187 NutriNet-Santé cohort participants (52% women, average age 48y, SD=16) were collected via food frequency questionnaires in 2014 (weighted to the French Census), 2018, and 2022. Dietary trajectory profiles were modeled using Group-based multi-trajectory modeling based on principal component analysis of energy-adjusted consumption data. Associations with environmental (greenhouse gas (GHG) emissions) and nutritional (adherence to French dietary guidelines, diet quality index) dimensions were assessed via multivariable mixed models. Health impacts were evaluated as Disability-Adjusted Life Years (DALYs) avoided, using the Comparative Risk Assessment approach.

Results Six dietary trajectory profiles (P) with distinct starting diets and evolutions were identified. P0 had average intakes, while P1 and P5 were meat-focused, with P5 showing the highest animal consumption. P3 and P4 leaned plant-based, with P4 maintaining high fish and plant intakes, and P3 increasing ruminant meat. P2 initially high in salty or sweet fatty foods, shifted significantly toward plant-based diets. Over time, GHG emissions decreased (–5% to –14%), diet quality (PNNS-GS2 score) improved (+12% to +174%), and health risks declined in four profiles due to reduced red meat and higher whole grains/fruits but increased for P4 and P5 due to processed meat.

Conclusion These profiles reflect diverse population segments with distinct dietary profiles and degrees of sustainability improvements. However, significant advancements remain limited, highlighting the need for further research on economic, psychological, and cultural factors to guide sustainable changes.

*Correspondence:
 Emmanuelle Kesse-Guyot
 e.kesse@eren.smbh.univ-paris13.fr
 Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2025 **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Trial Registration Trial registration number: NCT03335644. URL of registration: <https://clinicaltrials.gov/study/NCT03335644?id=NCT03335644&rank=1>

Highlights

- Six distinct profiles of 8y-dietary trajectories were identified, characterized by specific starting diets and subsequent evolution.
- With varying magnitude, GHG emissions decreased (−5% to −14%), and diet quality improved (+12% to +174% in PNNS-GS2 score) for all profiles.
- Health risks declined in four profiles due to reduced red meat and higher whole grains/fruits but increased in two profiles due to higher processed meat intake.

Keywords Consumption trajectories, Greenhouse gas emissions, Nutritional quality, Socioeconomic factors, Diet-related diseases

Background

Dietary consumption patterns are a significant driver of climate change, as food systems account for nearly one-third of global greenhouse gas (GHG) emissions [1]. Despite their crucial role, dietary consumption often remains underrepresented in climate policies that prioritize production-focused interventions [2]. This oversight is alarming given the transgression of six planetary boundaries, including climate change, biosphere integrity, and biogeochemical flows, which now operate beyond safe ecological limits [3–6]. Among these, climate change and biosphere integrity are approaching irreversible thresholds due to self-reinforcing feedbacks, such as CO₂ persistence and species extinction rates exceeding 100 extinctions per million species-years [6]. Urgent shifts in food consumption are critical to mitigate these systemic risks, as dietary changes directly impact land use, nitrogen cycles, and carbon emissions [7, 8]. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change [9], aligning mitigation strategies with local consumption behaviors and cultural contexts is key to enhancing effectiveness [2] and achieving the Sustainable Development Goals by 2030 [10].

In addition to their environmental impact, diets also play a pivotal role in the global burden of morbidity. The Global Burden of Disease study [11] reveals that suboptimal diets cause more deaths than any other risk factor, including tobacco smoking, and that one in five deaths around the world could be prevented by improving dietary habits. Non-optimal intake of whole grains, fruits, and excessive sodium accounts for over 50% of diet-related deaths and 66% of disability-adjusted life years (DALYs).

Thus, although the transition to sustainable diets [12] is urgently needed, reconciling the four key dimensions (environment, nutrition and health, economy, and culture) presents a complex challenge. This difficulty is

exacerbated by disciplinary fragmentation, which limits the development of integrated solutions that are both effective and acceptable to consumers [13]. While evidence suggests that dietary changes aimed at reducing non-communicable diseases can also support the achievement of international environmental goals [14, 15], a thorough understanding of current dietary trends is essential to identify existing gaps, monitor progress, and inform targeted strategies for promoting healthier and more sustainable diets.

While national food surveys provide valuable insights, they are often limited by the lack of longitudinal data, limiting the ability to analyze individual characteristics with temporal dietary changes. Furthermore, they frequently fail to assess diets from a sustainability perspective and primarily focus on population-level trends, overlooking variations within specific consumer segments. This knowledge gap is particularly evident in longitudinal data, which remains scarce and outdated [16–18], which limits the ability to focus on recent trends within the context of the ecological crisis.

Based on individual longitudinal data from the French population-based cohort NutriNet-Santé, our previous work explored the associations between food group consumption trends and socioeconomic factors in the general population [19]. Based on these findings, we hypothesized that dietary changes likely vary across different population segments, with distinct trajectories emerging. Understanding these trajectories is crucial for providing more precise documentation that could inform the development of targeted actions tailored to diverse consumer profiles/specific identities and needs.

In this context, our study aims to analyze recent trends in food consumption changes in the NutriNet-santé cohort by identifying various food trajectory profiles over 8 years (2014–2022). This segmentation approach allows for a detailed examination of the evolving dietary

patterns and their impacts on sustainability. We further assess these profiles through sustainability indicators, focusing on environmental, nutritional, and health outcomes.

Methods and data

Study population

This research employed longitudinal observational data from 2014 to 2022, derived from a subset of the NutriNet-Santé cohort study participants. Launched in May 2009, the NutriNet-Santé study is an online cohort study designed to explore the determinants of diet, nutritional status, physical activity, and their relationships with health outcomes [20]. The study includes adult participants residing in France who have internet access and were recruited voluntarily. Participants must complete annual or biannual questionnaires addressing socioeconomic status, lifestyle, anthropometry, diet, and physical activity habits [21]. Additional non-mandatory questionnaires are administered periodically. Gender, occupational status, income, place of residence, physical activity levels, and smoking habits are all self-reported through validated questionnaires [21]. The NutriNet-Santé study complies with the principles outlined in the Helsinki Declaration and has received validation from both the Inserm Ethical Evaluation Committee (CEI) (no. 0000388FWA00005831) and the National Committee for Information Technology and Freedom (CNIL) (nos. 908450 and 909,216). The study is also registered on ClinicalTrials.gov (NCT03335644).

This study was based on an initial sample of $n = 29,195$ participants residing within mainland France who completed the Org-FFQ in 2014, thus enabling the computation of a weighting procedure described below. Those considered under- or over-reporters for energy intake were excluded as previously published [22]. A subset of $n = 17,187$ participants who also completed the Org-FFQ in 2018 and/or 2022 was selected from the initial sample and used in constructing the typology described below. A flowchart is provided in Supplemental Fig. 1.

Assessment of food group consumption

Food consumption data were collected in 2014, 2018, and 2022 using an Organic Food Frequency Questionnaire (Org-FFQ), which includes 264 organic and conventional food items. Specifically, for each of the 264 items in the questionnaire, participants were asked to indicate their frequency of consumption and the quantity consumed of organic food items over the past year, using a 5-point ordinal scale. Further details on this method are provided in a previous study [22] and are summarized in Supplemental Method 1. For the current study, a classification into 25 food groups has been established based

on their nutritional value and contents and the greenhouse gas emissions related to their production, as follows: ruminant meat (including beef and lamb), pork, offal, processed meat, poultry, fish, eggs, dairy products (excluding milk), milk, plant-based substitutes, vegetables, fruits, fruit juices, legumes, wholegrain products, nuts, potatoes, refined cereals, prepared and mixed dishes (PMD, including sandwich, prepared foods such as pizza, hamburger, ravioli, panini, salted pancake, etc.), salty or sweet and fatty foods (SSFF), sugar-sweetened beverages (SSBs), hot drinks, alcoholic beverages, butter, and oils. Detailed information on the composition of the food groups is provided in the legend of Fig. 1. Total daily energy intake (TEI) and nutrient intakes were calculated using the food composition table designed for the NutriNet-Santé study [23].

Environmental data

Greenhouse gas (GHG) emissions (kg CO₂eq) were assessed using the DIALECTE tool [24]. Developed by Solagro, DIALECTE tool is designed to evaluate the environmental performance of French farms comprehensively. The Life Cycle Assessment method was applied to 60 raw agricultural products, completed by literature data for 32 products. DIALECTE focuses exclusively on the agricultural production stage and differentiates between organic and conventional products [25]. More details are provided in Supplemental Material 2. GHG emissions were selected as the primary indicator for assessing environmental impact due to their well-established relevance to climate change and their widespread use in the literature as a core metric for evaluating the environmental footprint of food systems [26–28]. Food production is responsible for approximately one-quarter to one-third of global GHG emissions, making it a major driver of planetary boundary transgression related to climate change [1, 28]. Furthermore, GHG emissions data are widely available and allow for robust cross-study and cross-country comparisons [26, 27]. Given these factors, GHG emissions were considered a representative and policy-relevant indicator for this analysis.

Dietary quality scores

Two dietary indexes were computed. Adherence to the French dietary guidelines was assessed using the PNNS-GS2 score [29], which evaluates the intake of 13 food groups categorized as either healthy (to be encouraged) or unhealthy (to be limited), based on the 2017 recommendations of the High Council of Public Health [30]. Points are awarded for meeting recommended intakes of healthy foods and deducted for excessive consumption of foods to be limited, with additional weighting reflecting the strength of evidence linking each component to

health outcomes. The score also incorporates a penalty for excessive energy intake and considers organic food consumption for certain plant-based groups. The final score provides a comprehensive measure of overall dietary quality, with details of the scoring system and reference portions provided in Supplemental Material 3.

Diet quality was assessed using the Comprehensive Diet Quality Index (cDQI), which combines two sub-scores: the Plant-based Diet Quality Index (pDQI) and the Animal-based Diet Quality Index (aDQI) [31]. The pDQI evaluates the consumption of eleven plant-based food groups, while the aDQI covers six animal-based food groups. Each food component sub-score ranges from 0 to 5. For each group, foods are classified as either healthy or unhealthy based on current scientific evidence and international dietary guidelines [31]. Scores are assigned proportionally to intake: higher consumption of healthy foods and lower consumption of unhealthy foods yield higher scores. The final cDQI score is the sum of the pDQI and aDQI, ranging from 0 to 85, with higher values reflecting better overall diet quality. Details of the food groups, scoring system, and reference intakes are provided in Supplemental Material 3.

Statistical analysis

Modeling the typology of food transition trajectories

The construction of dietary consumption trajectory profiles was conducted in three main steps: The first step involved creating a longitudinal database synthesizing individual consumption information across 25 food groups. Initially, a Principal Component Analysis (PCA) was performed on the 25 food groups using the baseline sample in 2014 ($n = 29,195$). Those considered as under- or over-reporters for energy intake were excluded as previously published [22]. This sample was chosen to capture the broad diversity of dietary patterns within the population. The PCA identified new axes (principal components) that summarize the main dietary patterns in the population.

The 2014 dietary data were adjusted for total energy intake (TEI) using the residual method [32] and weighted using the iterative proportional fitting procedure according to 2009 national census data [33]. These weights were computed using data on age, occupational status, educational level, area of residence, presence of children (< 18 years), and marital status. This weighting method aimed to mitigate the low generalizability associated with the volunteer sample of the NutriNet-Santé cohort and to enhance its representativeness of the French population. A weighting factor was calculated for each individual, reflecting their probability of inclusion in a representative sample [33].

In the second step, the eigenvector matrix (component loadings) derived from the 2014 PCA was used to project dietary data from 2018 and 2022 onto the same principal component space, to ensure comparability of dietary pattern scores across all years. Specifically, for each participant and time point, energy-adjusted food group intakes were multiplied by the 2014 PCA loadings to calculate individual component scores. For this step, a subset of $n = 17,187$ participants was selected from the initial sample ($n = 29,195$), including individuals who completed the Org-FFQ in 2018 and/or 2022.

The third step involved modeling dietary consumption trajectory profiles. Based on the PCA scores for each individual at each time point (2014, 2018, and/or 2022), the Group-Based Multi-Trajectory Modeling (GBMT) method was employed to identify trajectory profiles. A first-degree model adjusted for age, sex, and TEI was used. Further methodological details related to the trajectories' analysis are available in Supplemental Material 4.

Description and comparison of trajectory profiles

The identified profiles were described according to the socio-demographic characteristics reporting mean (SD) for continuous variables or % for categorical variables. Means comparison across clusters was performed using Pearson's Chi-square test for categorical variables and ANOVA test for continuous variables.

A multicriteria analysis of profiles' sustainability was conducted, addressing two of the four dimensions of sustainable diets as defined by the FAO [12]: environmental impact and health/nutrition. The environmental dimension was assessed using GHG emissions, while the nutritional dimension was evaluated through compliance with French dietary guidelines (PNNS-GS2) and diet quality indices (cDQI, aDQI, pDQI). Additional indicators included the proportion of plant-based proteins and organic food in the diet, both of which are associated with documented health and environmental benefits. Higher plant-based protein intake is linked to a reduced risk of chronic diseases and lower greenhouse gas emissions compared to animal-based proteins [8, 15, 34–37]. Similarly, greater consumption of organic foods is associated with reduced exposure to synthetic pesticides and environmental benefits such as lower chemical pollution and enhanced biodiversity [38–43].

Analyses of food consumption changes in the 25 food groups and changes in indicators related to sustainability were conducted using multivariable mixed-effects models. For each model, the dependent variable was the consumption of a given food group or indicator, while the independent variables included trajectory profile, time, their interaction, as well as sex, age, and total energy

intake (TEI). Random effects were used to account for repeated measurements within individuals. Adjusted least squares means (LSmeans) of food group intakes and sustainability indicators (accounting for sex, age, and total energy intake) were estimated from these models for each trajectory profile at three time points: 2014, 2018, and 2022. To enable comparisons across profiles, percentage variations for each food group and indicator at baseline were computed relative to the reference profile (P0, as defined in the Results section). Additionally, percentage variations within each profile were calculated to assess changes in food group consumption and sustainability indicators over the study period (2014–2022).

Health risk assessment was performed using the Comparative Risk Assessment (CRA) framework through the EpiDiet (Evaluate the Potential Impact of a Diet) model [44]. This approach enabled the assessment of the impact of dietary trajectories on health outcomes across profiles from 2014 to 2022, measured through DALYs avoided over time, while also examining the contributions of specific food groups to these modeled changes in health outcomes. Input data included the consumption of various food groups (fruits, vegetables, whole grains, nuts, seeds, milk, red meats, processed meats, sugar-sweetened beverages, legumes) and energy intake (means and standard deviations). The list of diet-related chronic diseases was derived from the 2017 Global Burden of Disease Study [45] and categorized using the 10th revision of the International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems [46].

DALYs combine two components: Years of Life Lost (YLL), reflecting premature mortality, and Years Lived with Disability (YLD), reflecting morbidity. YLLs were calculated as the number of premature deaths from diet-related chronic diseases multiplied by the standard life expectancy at the age of death, using age- and sex-specific mortality data from the Global Burden of Disease (GBD) Study 2017. YLDs were estimated by applying age-, sex-, and disease-specific conversion rates from GBD 2017, which represent the average ratio of YLD to YLL for each disease. This method allows for the estimation of DALYs at the population level without requiring individual-level data on disease duration or disability weights.

Point estimates of DALYs avoided for each profile were assessed in 2014 and 2022, relative to the reference scenario (whole sample in 2014). The change over time (2014–2022) was calculated by subtracting the baseline value (2014 compared to the whole sample in 2014) from the endpoint value (2022 compared to whole sample in 2014) within each profile. A positive value for DALYs avoided indicates a lower health risk for the profile, while a negative value indicates a higher health risk. To enable comparisons between profiles, percentage variations

in total DALYs avoided were calculated at baseline and over time, as previously described. Decomposition Based on Absolute Contributions was applied to express the contributions of food groups to DALYs avoided as percentages, normalizing both positive and negative values relative to the total absolute sum within each profile.

The detailed methodology is provided in the Supplemental Method 5.

Data management and statistical analyses were performed using SAS software, Version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) and RStudio software (RStudio, Version 1.4.1717, © 2009–2021 RStudio, PBC).

Results

Characterization and description of dietary consumption trajectory profiles

Six dietary consumption trajectory profiles (P) were identified. The characteristics of the participants in the 6 profiles are shown in Table 1. The detailed values of food group consumption across profiles are presented in Table 2, and Fig. 1.

Profile P0 (35% of the population, 56% women, average age = 48 y (SD = 15)) was the largest group, with socioeconomic characteristics similar to those of the whole sample. This profile was characterized by baseline consumption levels close to the population average for nearly all food groups. Given its sociodemographic similarity to the overall population and its alignment with the consumption levels previously observed in the whole sample [19], P0 was chosen as the reference trajectory. Over time (2014–2022), individuals within this profile showed statistically significant increases in the consumption of plant-based substitutes (a 85% increase), wholegrain products (+ 67%), fruits (+ 9%), hot drinks (+ 6%) and vegetables (+ 4%). Conversely, their consumption of ruminant meat (–20%) decreased over the same period, as did their intake of fruit juices (–53%), milk (–46%), refined cereals (–20%), and SSB (–19%).

All changes in food group consumption between baseline and 2022 were statistically significant within each profile ($p < 0.05$), except for prepared and mixed dishes (PMD), for which no significant change was observed.

Profile P1 (6% of the population, 87% men, average age = 61y (SD = 10)) had the highest baseline consumption of alcohol (+ 301%), butter (+ 48%), and offal (+ 281%), along with elevated intakes of pork (+ 32%) and ruminant meat (+ 29%) compared to P0. Over time (2014–2022), and compared to changes observed in the other profiles, this profile showed the greatest increase in the consumption of processed meat (40 g/day in 2022; + 74% compared to 2014), PMD (40 g/day; + 31%), and SSSF (80 g/day; + 23%), along with the most substantial decrease in

Table 1 Participants' characteristics in the whole sample and in the dietary trajectory profiles (2014), n = 17,187, NutriNet-Santé Study^{1,2}

	Whole Sample	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P
Weighted n	n = 17,187	5,976	970	2,588	1,565	2,898	3,190	
Sex (%)								
Males	47.64	44.15	86.75	45.06	40.01	17.45	75.56	
Females	52.36	55.85	13.25	54.94	59.99	82.55	24.44	
Age (year)	48.38 (15.97)	48.22 (14.79)	60.52 (10.00)	40.61 (17.08)	40.93 (16.71)	60.93 (9.30)	43.55 (19.72)	< 0.0001
Occupational position (%)								< 0.0001
Self-employed/farmer	4.45	2.34	15.97	4.74	2.70	5.32	4.73	
Managerial staff/intellectual profession	9.10	11.93	5.42	8.27	10.01	4.75	9.11	
Unemployed	8.85	7.37	2.84	9.10	23.24	5.15	9.53	
Employee, manual worker	31.19	28.56	13.15	42.66	25.91	16.83	47.87	
Students	4.49	4.74	0	10.51	7.65	1.15	2.05	
Intermediate professions	14.50	19.02	7.14	15.09	13.34	9.48	12.89	
Retired	27.42	26.03	55.48	9.63	17.15	57.32	13.83	
Monthly income per household unit (%)								< 0.0001
Refuse to declare	6.58	5.78	3.95	4.90	8.33	8.43	7.70	
< 1200€/C.U	24.42	20.85	7.22	35.94	35.96	14.86	30.02	
1200—1800€/C.U	30.91	34.91	26.35	28.26	23.62	27.70	33.45	
1800—2700€/C.U	23.39	22.07	40.89	20.26	19.80	30.01	18.84	
> 2700€/C.U	14.70	16.39	21.60	10.64	12.30	18.99	10.00	
Place of residence (%)								< 0.0001
Rural community	23.99	23.27	29.06	22.81	15.03	25.02	28.19	
Urban unit (< 20,000 inhabitants)	18.63	18.88	16.52	18.11	17.57	16.19	21.93	
Urban unit (20,000 to 200,000 inhabitants)	16.80	16.48	13.27	12.1	15.64	20.52	19.48	
Urban unit (> 200,000 inhabitants)	40.58	41.37	41.16	46.97	51.74	38.26	30.38	
Smoking habits (%)								< 0.0001
Never smoker	50.16	53.16	24.24	58.63	61.13	50.53	39.81	
Former smoker	39.02	37.46	51.89	31.53	32.48	43.78	42.98	
Current smoker	10.83	9.38	23.88	9.85	6.39	5.70	17.21	
Physical activity (%)								< 0.0001
Low	20.30	22.43	29.16	21.55	9.27	11.62	25.91	
Moderate	31.16	30.96	24.35	41.36	33.74	29.79	25.32	
High	32.89	31.56	36.23	23.87	46.68	44.67	24.19	
Missing data	15.65	15.05	10.25	13.22	10.30	13.92	24.58	
BMI (kg/m ²)	24.94 (4.99)	24.66 (4.45)	26.37 (3.70)	24.49 (5.50)	21.73 (3.19)	24.68 (3.44)	27.21 (9.10)	0.068

Abbreviations: BMI body mass index, C.U consumption unit;

¹ Values are mean (SD) or % as appropriate, all data are weighted

² P values were calculated using ANOVA or Chi² test

offal (1 g/day; −95%). All these changes were statistically significant.

Profile P2 (15% of the population, 55% of women, average age = 41y (SD = 17)) was characterized by the highest proportion of low-income individuals (68% with income < 1800€/C.U.) and a notable proportion of students (10%). This profile had significantly higher baseline consumption of SSB (+ 251%), milk (+ 187%), fruit juices (+ 58%),

and SSFF (+ 41%) compared to P0. Over time, compared to 2014, this profile exhibited the sharpest increase in the consumption of plant-based substitutes (39 g/day in 2022; + 1737% compared to 2014), wholegrain products (45 g/day; + 139%) and vegetables (302 g/day; + 37%), alongside marked decreases in SSB (64 g/day; −51%), and fruits (194 g/day; −21%).

Table 2 Food group consumption (g/d) over time (2014–2022) by profile, $n = 17,187$, NutriNet-Santé Study^{1,2}

Food groups	P1		P2		P3		P4		P5	
	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022
Alcohol	101 (97;104)	95 (91;98)	404 (396;412)	394 (385;402)	70 (64;76)	75 (68;82)	93 (89;97)	81 (76;86)	109 (104;115)	105 (99;112)
P-value	ref	< 0.0001	0.26	< 0.0001	0.05	< 0.0001	0.004	0.01	0.008	0.46
Butter	6 (6;7)	8 (7;8)	10 (9;10)	14 (13;14)	6 (6;6)	7 (7;8)	2 (1;2)	4 (3;4)	5 (5;6)	7 (6;7)
P-value	ref	< 0.0001	< 0.0001	0.003	0.52	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0007	0.0009
Dairy products	181 (177;185)	182 (177;186)	136 (127;145)	130 (119;141)	182 (175;188)	104 (97;112)	79 (70;87)	201 (195;207)	187 (180;193)	148 (141;155)
P-value	ref	< 0.0001	0.22	< 0.0001	0.80	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Eggs	10 (10;11)	16 (15;16)	9 (8;10)	12 (11;14)	10 (9;11)	12 (11;13)	10 (10;11)	27 (26;28)	11 (11;12)	14 (13;15)
P-value	ref	< 0.0001	0.003	0.02	0.38	< 0.0001	0.66	< 0.0001	0.04	< 0.0001
Fish	44 (43;45)	42 (40;43)	45 (42;47)	45 (42;48)	35 (33;36)	34 (31;36)	46 (44;48)	37 (35;40)	61 (59;62)	44 (42;46)
P-value	ref	< 0.0001	0.13	< 0.0001	0.38	0.05	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Fruit juices	80 (77;83)	38 (34;41)	89 (82;96)	72 (64;80)	126 (121;131)	115 (109;121)	112 (109;115)	85 (81;89)	47 (42;52)	38 (33;44)
P-value	ref	< 0.0001	0.02	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.04	0.12	< 0.0001
Fruits	245 (239;252)	267 (259;274)	193 (177;209)	184 (166;203)	247 (236;259)	194 (181;208)	349 (336;362)	399 (385;414)	427 (418;436)	419 (408;430)
P-value	ref	< 0.0001	0.001	< 0.0001	0.72	< 0.0001	0.0002	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Hot drinks	761 (747;774)	805 (790;820)	779 (747;811)	808 (772;845)	548 (525;572)	616 (589;643)	738 (711;764)	780 (751;809)	916 (898;933)	964 (944;985)
P-value	ref	< 0.0001	0.31	0.37	< 0.0001	0.06	0.12	0.86	< 0.0001	0.72
Legumes	13 (12;14)	18 (17;19)	9 (7;11)	14 (11;16)	6 (4;7)	10 (9;12)	41 (39;42)	53 (51;55)	17 (16;18)	20 (18;21)
P-value	ref	< 0.0001	0.0002	0.91	< 0.0001	0.79	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.09
Milk	60 (56;64)	33 (28;37)	18 (9;27)	12 (12;22)	172 (166;179)	151 (143;159)	23 (15;30)	19 (10;27)	58 (53;63)	48 (41;54)
P-value	ref	< 0.0001	0.0002	< 0.0001	0.12	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.54	< 0.0001
Nuts	4 (3;4)	10 (9;10)	4 (3;5)	6 (5;7)	2 (1;3)	8 (7;9)	30 (29;31)	42 (41;43)	12 (12;13)	20 (19;20)
P-value	ref	< 0.0001	0.97	< 0.0001	0.33	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Offal	4 (4;5)	4 (3;4)	16 (15;17)	1 (0;2)	4 (3;5)	3 (2;4)	1 (1;2)	2 (1;2)	4 (4;5)	3 (3;4)
P-value	ref	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.31	0.69	< 0.0001	0.16	0.61	0.72
Oil	30 (29;30)	35 (34;35)	31 (29;32)	34 (32;35)	19 (18;20)	24 (22;25)	30 (29;31)	40 (38;41)	30 (29;31)	34 (32;34)
P-value	ref	< 0.0001	0.24	0.01	< 0.0001	0.62	< 0.0001	< 0.0001	0.53	0.05
PMD	43 (39;48)	33 (30;47)	31	40	100	110	23	29	33	34
P-value	ref	< 0.0001	0.98	< 0.0001	0.90	< 0.0001	0.97	< 0.0001	0.97	< 0.0001
Plant-based substitutes	11 (9;14)	21 (18;24)	2 (-4;8)	5 (-3;12)	-2 (-7;2)	39 (33;44)	164 (158;169)	155 (149;161)	26 (22;29)	45 (40;49)
P-value	ref	< 0.0001	0.01	0.10	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Pork	15 (14;15)	14 (14;15)	19 (18;20)	18 (17;19)	9 (8;10)	4 (3;4)	5 (4;6)	9 (8;9)	7 (6;8)	36 (35;36)
P-value	ref	< 0.0001	0.09	0.56	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Potatoes	29 (28;29)	28 (27;28)	28 (26;29)	30 (28;32)	22 (21;23)	24 (22;25)	21 (20;22)	29 (27;30)	18 (18;19)	21 (19;22)
P-value	ref	< 0.0001	0.98	0.98	0.90	< 0.0001	0.97	< 0.0001	0.98	< 0.0001

Table 2 (continued)

Food groups	P0		P1		P2		P3		P4		P5	
	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022
P value	ref	ref	0.19	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Poultry	25 (24;26)	23 (23;24)	21 (19;23)	21 (19;23)	26 (25;27)	18 (17;20)	10 (8;11)	5 (3;6)	21 (20;22)	19 (17;20)	50 (49;51)	46 (45;47)
P value	ref	ref	< 0.0001	0.08	0.18	< 0.0001	< 0.0001	0.0001	< 0.0001	0.11	< 0.0001	0.002
Processed meat	23 (22;24)	30 (29;30)	23 (21;24)	40 (38;41)	22 (21;23)	28 (27;30)	8 (7;10)	7 (6;8)	16 (15;17)	20 (19;21)	38 (37;39)	53 (52;54)
P value	ref	ref	0.78	< 0.0001	0.06	0.79	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Ruminant meat	41 (40;42)	33 (32;34)	53 (50;55)	42 (39;44)	40 (39;42)	35 (33;36)	12 (10;13)	13 (11;15)	28 (27;29)	24 (23;25)	78 (76;79)	61 (59;63)
P value	ref	ref	< 0.0001	0.06	0.48	0.01	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Refined cereals	157 (155;160)	126 (123;128)	113 (107;118)	84 (78;90)	126 (122;130)	104 (100;109)	66 (62;71)	66 (61;71)	94 (91;97)	74 (70;78)	158 (154;162)	145 (140;149)
P value	ref	ref	< 0.0001	0.36	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.77	< 0.0001
SSFF	86 (84;87)	83 (82;85)	66 (62;69)	81 (77;85)	121 (119;124)	119 (116;122)	59 (56;62)	56 (53;60)	66 (64;68)	68 (65;70)	74 (71;76)	74 (72;77)
P value	ref	ref	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.77	< 0.0001	0.94	< 0.0001	0.006	< 0.0001	0.02
SSB	37 (34;40)	30 (27;33)	32 (25;39)	28 (20;37)	131 (126;136)	64 (58;70)	26 (21;32)	7 (1;14)	25 (21;29)	22 (17;27)	39 (35;44)	41 (36;47)
P value	ref	ref	0.19	0.39	< 0.0001	< 0.0001	0.0006	0.0003	< 0.0001	0.11	0.44	0.0004
Vegetables	323 (317;329)	336 (329;342)	286 (272;299)	300 (284;317)	221 (211;231)	302 (291;314)	453 (442;464)	590 (577;603)	445 (437;452)	456 (447;465)	288 (279;298)	313 (302;324)
P value	ref	ref	< 0.0001	0.78	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.78	< 0.0001	0.02
Whole-grain products	46 (44;48)	78 (75;80)	45 (41;50)	58 (53;64)	19 (15;22)	45 (40;49)	173 (169;177)	109 (104;113)	96 (93;99)	94 (91;98)	34 (30;37)	42 (38;46)
P value	ref	ref	0.73	< 0.0001	< 0.0001	0.02	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Abbreviations: SSFF Salty or sweet and Fatty Foods, SSB Sugar-sweetened beverages, PMD Prepared and Mixed Dishes

¹ Values are the least squares means (CI) of adjusted consumptions (for sex, age, and total energy intake)

² P-values are those of β -coefficients of the fixed-effects models. The p-values in 2014 indicate the significance of the difference in baseline consumption level compared to the reference profile (P0). The p-values in 2022 indicate the significance of the difference in consumption variation over time (2014–2022) compared to the difference in reference profile (P0)

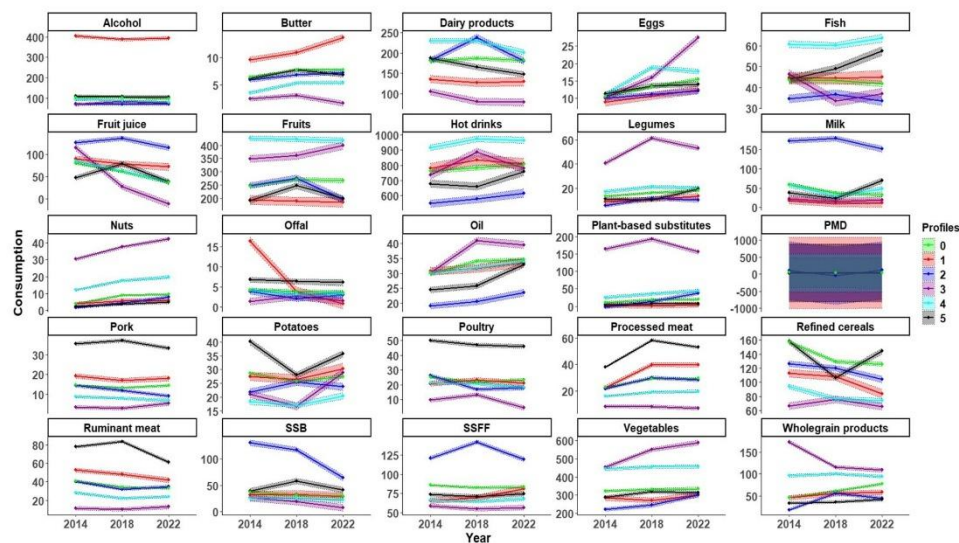


Fig. 1 Trajectories of change in food group consumption (g/d) (2014 to 2022) by profile, $n = 17,187$, NutriNet-Santé Study^{1,2,3}. Food groups are composed as follows: Ruminant meat include beef and lamb; Dairy products include yogurts, fresh cheese and cheese; Animal substitutes include tofu, soy-based meat substitute and vegetable patties, soy-based yogurt, soy-based milk; Vegetables include all vegetables and soups; Fruit include fresh fruit, fruit in syrup and compote, dried fruit and seeds; Fish include fatty and lean fish, mollusks, and crustaceans; Potatoes include other tubers; Refined cereals include breakfast cereal low in sugar, bread, semolina, rice and pasta; SSFF (salty or sweet and fatty foods) include croissants, pastries, chocolate, biscuits, milky dessert, ice cream, honey and marmalade, cakes, chips, salted oilseeds, salted biscuits; PMD (prepared and mixed dishes) include sandwich, prepared foods such as pizza, hamburger, ravioli, panini, salted pancake, etc.; Oil include plant-based oils and ready-to-use salad dressing, mayonnaise or cream-based sauces, sour cream and all fat-based sauces; Hot drinks include tea, infusions, milk consumed with tea/coffee; SSB (sugar-sweetened beverages) include fruit nectar, syrup, soda (with or without sugar), plant-based beverages. 1 Abbreviations: SSFF, Sweetened/Salty and Fatty Foods, SSB, Sugar-Sweetened Beverages, PMD, Prepared and Mixed Dishes. 2 For each of the 25 food groups, the values shown are the least squares means (with 95% confidence intervals) of consumption in grams per day, adjusted for sex, age, and total energy intake, as estimated from the mixed-effects models. The y-axis represents these adjusted mean intakes for each trajectory profile and time point (2014, 2018, 2022). 3 The x-axis represents time (2014; 2018; 2022).

Profile P3 (9% of the population, 60% of women, average age = 41 (SD = 17)) had higher baseline consumption of plant-based substitutes (+ 1364%), nuts (+ 680%), wholegrain products (273%), legumes (+ 205%), and vegetables (+ 40%) compared to P0. Over time, compared to 2014, this profile significantly increased their consumption of eggs (27 g/day in 2022; + 166% compared to 2014), ruminant meat (13 g/day; + 13%) and alcohol (75 g/day; + 10%), along with the most pronounced decrease in wholegrain products (109 g/day; -37%), fish (37 g/day; -20%), and plant-based substitutes (155 g/day; -5%).

Profile P4 (17% of the population, 83% of women, average age = 61y (SD = 9)) included individuals with higher income levels (19% with income > 2700€/C.U.) and high levels of physical activity (46%). It was characterized by the highest baseline consumption of fruit (+ 74%), fish (+ 39%), dairy products (+ 27%), and also had a high consumption of nuts (+ 212%), plant-based substitutes (+

131%), wholegrain products (+ 107%), vegetables (+ 38%) and legumes (+ 29%) compared to P0. Over time, compared to 2014, this profile showed a significant increase in plant-based substitutes (45 g/day in 2022; + 73% compared to 2014), and vegetables (456 g/day; + 3%), and the most pronounced decrease in alcohol (81 g/day; -13%).

Profile P5 (19% of the population, 76% of men, average age = 44y (SD = 19)) included the highest proportion of individuals living with obesity (26%). At baseline, they had the highest consumption of pork (+ 143%), poultry (+ 98%), ruminant meat (+ 90%), processed meat (+ 66%), and potatoes (+ 39%) compared to P0. Over time, compared to 2014, this profile demonstrated the most substantial rise in the consumption of milk (69 g/day in 2022; + 82% compared to 2014), and fish (58 g/day; + 31%), as well as an increase in legumes (20 g/day; + 72%), wholegrain products (42 g/day; + 24%),

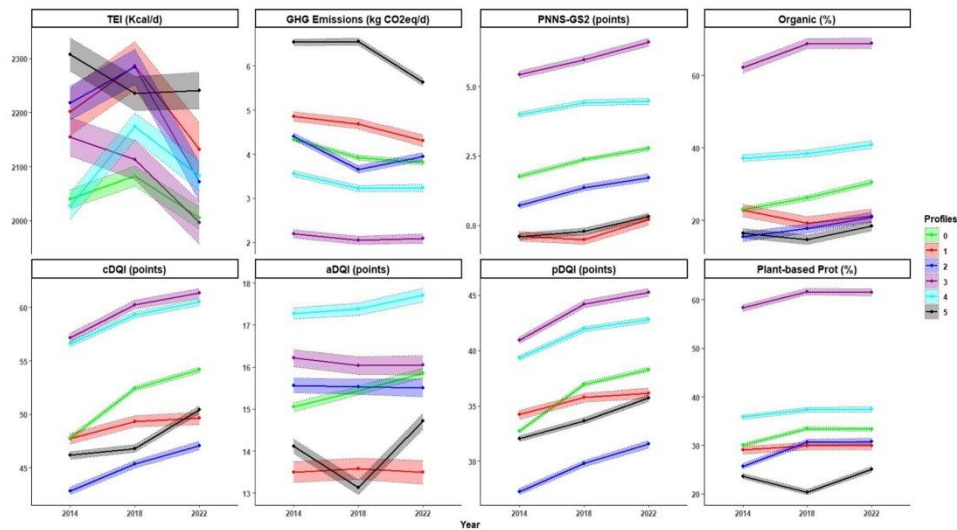


Fig. 2 Evolution trajectories for sustainability indicators (2014 to 2022) by profile, n = 17,187, NutriNet-Santé Study^{1,2}. Abbreviations: TEI, Total Energy Intake (Kcal/d); GHG, Greenhouse Gas (kg CO₂eq/d); PNNS-GS2: Programme National Nutrition Santé-Guidelines Score 2 (adherence to French dietary guidelines score); cDQI, Comprehensive Diet Quality Index; pDQI, plant-based Diet Quality Index; aDQI, animal-based Diet Quality Index; Plant-based Prot, Plant-based Proteins. ¹For all indicators, values are the least squares means (CI) of adjusted scores (for sex, age, and total energy intake). ²The x-axis represents time (2014; 2018; 2022), while the y-axis represents indicator scores.

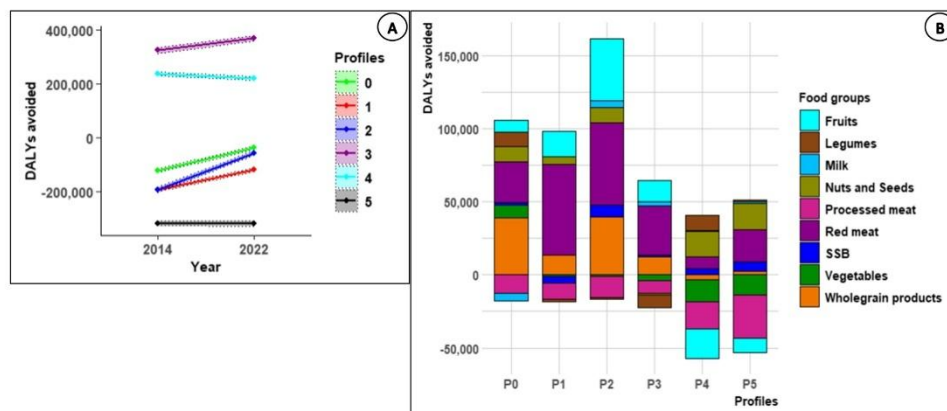


Fig. 3 DALYs avoided over time (2014 to 2022) by profile (A)¹; Food group contributions to the variation (2014–2022) of DALYs avoided by profile (B)². Abbreviations: SSB, Sugar-Sweetened Beverages. The Red meat food group encompasses beef, lamb, pork, mutton, and goat. ¹(A) Positive values for DALYs avoided indicate a reduction in health risk for the profile compared to the whole sample in 2014. Negative values indicate an increase in health risk for the profile relative to the whole sample in 2014. ²(B) Positive values reflect a reduction in health risk (increase in DALYs avoided) over time (2014–2022) due to changes in food group consumption (increase in healthy foods and decrease in unhealthy foods) for the profile. Negative values reflect an increase in health risk (decrease in DALYs avoided) over time (2014–2022) due to changes in food group consumption (increase in unhealthy foods and decrease in healthy foods) for the profile.

and vegetables (313 g/d; +9%). A marked decrease was observed for dairy products (148 g/day; -21%).

Multicriteria analysis of profiles' sustainability

Results of the multicriteria analysis of profiles are presented in Fig. 2 (evolution of sustainability indicators), and Fig. 3 (DALYs avoided and food group contributions) as well as Supplemental Table 1 (sustainability indicators over time).

a Total energy intake

P5 had the highest TEI at baseline (+13%), followed by P2 (+9%), P1 (+8%), and P3 (+6%) compared to the reference profile P0 (2040 kcal/day). P4, which had the lowest baseline TEI (2027 kcal/day), was the only profile that did not exhibit a decline in TEI over time. Detailed values are presented in Supplemental Table 1 and Fig. 2.

b Dietary quality

At baseline, P3 (+20%) and P4 (+19%) had the highest cDQI scores, while P2 recorded the lowest (-10%) compared to the reference profile P0 (47.78 points). Over time (2022 compared to 2014), cDQI improved the most for P0 (+13%), followed by P2 (+10%) and P5 (+9%), with smaller increases for P3 and P4 (+7%) and the smallest for P1 (+4%). The greatest improvements were observed in the pDQI component.

Regarding adherence to French food-based dietary guidelines, the highest baseline PNNS-GS2 was observed in profiles P3 (+208%) and P4 (+126%) compared to P0 (1.76 points). Profiles P5 (-123%), P1 (-122%), and P2 (-59%) exhibited the lowest adherence to nutritional guidelines compared to P0. Over time, the whole population showed improvements in PNNS-GS2. The most substantial increases were observed in profiles P5 (+174%), P1 (+151%), and P2 (+139%), while more modest increases were observed in profiles P0 (+57%), P3 (+22%), and P4 (+12%).

Initially higher in profiles P3 (+94%) and P4 (+19%), compared to P0 (30% of total protein intake), plant-based protein intake increased across all profiles at nearly similar rates. Detailed values are presented in Supplemental Table 1 and Fig. 2.

c Health risk

At baseline, P3 and P4 achieved the highest DALYs avoided compared to P0 (+363% and +292%, respectively), reflecting the lowest health risks. In contrast, P5 had the highest health risk, with 159% fewer DALYs avoided than P0. Between 2014 and 2022, P2 showed the greatest increase in DALYs avoided

(+70%), followed by P0 and P1 (+70% and +39%). Besides, P4 and P5 exhibited a decline in DALYs avoided (-7% and -0.5%, respectively). The contributions of food groups to DALYs avoided showed that the reduction in health risk over time (2014-2022) was mainly driven by decreased red meat consumption, contributing 8% (P4) to 53% (P1) to the DALYs avoided. The increase in fruit and wholegrain products consumption positively contributed to DALYs avoided in profiles P0, P1, P2, and P3, with fruits accounting for 7% (P0) to 24% (P2) and wholegrain products for 12% (P1) to 32% (P0). Conversely, the rise in health risk in profiles P4 and P5 was largely due to increased processed meat consumption, which negatively affected DALYs avoided by -28% (P5) and -19% (P4). These increases in health risk were also driven by reduced fruit consumption, contributing -24% (P4) and -9% (P5) to DALYs avoided, and reduced vegetable consumption, contributing -16% (P4) and -13% (P5) to DALYs avoided. Detailed values are presented in Supplemental Tables 1 and 2, and Fig. 3.

It should be noted that trends for certain food groups may differ slightly depending on the statistical approach used. While trajectory analyses based on mixed models account for covariates such as age, sex, and repeated measures, the health risk assessment relies on simple energy-adjusted means using the residual method. These methodological differences can lead to small variations in observed trends across food groups and should be taken into consideration when interpreting the results.

d Greenhouse gas emissions

At baseline, participants in the P0 profile showed food-related GHG emissions of 4.33 kg of CO₂eq/d. Compared to P0, the highest emissions were observed in P5 (+51%) and P1 (+12%), while the lowest were observed in P3 (-49%) and P4 (-18%). Emissions in P2 were similar to those of P0 (+1%).

Over the period from 2014 to 2022, GHG emissions for the reference profile P0 decreased by 12%. The most significant reduction was observed in P5 (-14%). Reductions in P1 (-11%), P2 (-10%), and P4 (-9%) were comparable to those in P0, whereas P3 showed the smallest reduction (-5%). Detailed values are presented in Supplemental Table 1 and Fig. 2.

e Organic food consumption across profiles

At baseline, the percentage of organic foods in the diet was 23% for P0. It was notably higher for P3 (+170% compared to P0), followed by P4 (+62% compared to P0). In contrast, profiles P2 (-32%) and P5 (-28%) had lower consumption of organic products compared to P0, while P1 (-1%) had levels similar

to P0. Over time (2014–2022), organic consumption increased in profile P2 (+ 35%) at a rate similar to that of the reference profile P0 (+ 33%). Increases were also observed in profiles P5 (+ 12%), P3 (+ 11%), and P4 (+ 10%), whereas P1 experienced a slight decrease (−7%) over time. Detailed values are presented in Supplemental Table 1 and Fig. 2.

Discussion

Our study identified six distinct dietary trajectory profiles, each reflecting unique starting diets and changes over time. One profile exhibited average intakes (P0), while others displayed more specific dietary trajectories: two profiles, predominantly male (P1 and P5), were more meat-focused, with one (P1) also associated with high alcohol consumption and the other (P5) showing the highest intake of animal products. In contrast, two other profiles (P3 and P4) leaned toward plant-based diets, with one, primarily composed of females (P4), maintaining high intakes of fish and plant-based foods, while the other (P3) showed an increase in ruminant meat consumption over time. A profile with typically lower income levels (P2) was notable for its high intake of salty or sweet fatty foods but also showed the most significant shift toward plant-based foods. These dietary trajectories revealed improvements in some sustainability indicators, though the extent of these varied widely across the profiles.

To the best of our knowledge, longitudinal studies on observed dietary consumption trajectories, especially those using recent data, remain limited [16–18]. The dominant profile (P0), considered as the reference profile with a sociodemographic structure comparable to the general population, exhibited an upward trend in the consumption of plant-based foods, concomitantly with reductions in ruminant meat and unhealthy plant-based food intake. This shift toward more plant-based diets aligns with trends observed across the WHO European Region [47]. This transition led to improved dietary quality, similar to the positive changes reported in the Netherlands between 1993 and 2015, and better adherence to dietary guidelines [16]. In contrast, a Swedish study highlighted a deviation from Nordic dietary recommendations among participants between 2008 and 2016 compared to 2000–2007, reflecting less favorable dietary shifts [17]. While the dominant profile (P0) trajectory is consistent with these global studies, our research aims to identify profile disparities, as these variations highlight distinct dietary patterns, with differing sustainability impacts. To explore these distinctions, we interpreted the trajectories through the lens of behavioral typologies and assessed their related sustainability outcomes.

The highest adherence to dietary guidelines levels were found in the profiles with predominantly plant-based diets (P3 and P4), while the lowest were observed in the profiles with high meat consumption (P5 and P1). Extensive evidence underscores the significant long-term benefits of plant-based diets, highlighting their protective role against chronic disease and overall mortality [48, 49]. In line with this, increased fruit and wholegrain consumption were key contributors to reducing health risks, as reflected in higher DALYs avoided in profiles P0, P1, P2, and P3. Profile P2 showed the greatest improvement, largely due to its significant shift toward plant-based foods. In contrast, reduced fruit and vegetable intake and a substantial rise in processed meat consumption were major contributors to fewer DALYs avoided over time in profiles P4 and P5, despite P4 initially adhering to a plant-based diet. However, in absolute terms, the DALYs avoided by P4 in 2022 remain considerably higher than those of profiles P0, P1, P2, and P5, although the highest value was observed for P3. Notably, P4 was predominantly composed of women, and participants with a healthy lifestyle (46% engaging in vigorous physical activity, 94% being never-smokers).

In terms of sex differences, the existing literature highlights sex as a significant determinant of dietary consumption [50–53], with women consuming more legumes and wholegrain products [50, 54] and being more likely to follow the recommendation of five daily servings of fruits and vegetables [50, 53]. In contrast, while some improvement was observed over time, the predominantly male profile (P1) consistently displayed the lowest adherence to dietary guidelines throughout the study period. This finding aligns with research indicating that men tend to consume higher amounts of high-fat foods, high-protein foods [50, 51] and meat [55, 56]. Nevertheless, the improvement in dietary quality within this profile may partly be attributed to older baseline age (over 60 years), as studies have shown that dietary quality generally improves with age and tends to be higher among individuals over 60, likely due to the onset of comorbidities [29, 57–59]. Additionally, the profile showing the most significant increase in plant-based food consumption (P2) consisted of 64% of individuals with low to moderate incomes and a high proportion of students. Despite this notable shift, P2 started with the lowest vegetable consumption among all profiles and also experienced a decline in fish consumption over time, which was already low at baseline. While adherence to dietary guidelines and overall diet quality improved in this profile, it remained lower than that of the reference profile (P0). This finding aligns with existing literature, which often associates higher income levels with better diet quality in adults [57, 60]. Conversely, profile P4, characterized

predominantly by individuals with moderate to high incomes at baseline, exhibited the highest absolute consumption of fish and fruit, as well as the highest aDQI score. Thus, our findings highlight the critical role of targeting key food groups (red meat, processed meat, fruits, and wholegrain products) as key contributors to health outcomes in dietary transitions. But it is also crucial to align dietary transition strategies with the specific dietary patterns and nutritional needs of each profile to optimize health outcomes and more effectively support the health dimension of sustainable dietary shifts.

In line with previous research on the associations between energy intake, meat consumption, and greenhouse gas (GHG) emissions [61–63], our findings confirm that the profile with the highest energy intake (P5) also had the highest meat consumption and was associated with significantly greater dietary GHG emissions. In contrast, the profile with the lowest energy intake (P4) was characterized by a higher consumption of plant-based foods and much lower emissions. These results are consistent with prior studies indicating that reducing meat intake, particularly ruminant meat such as beef, is a key lever for lowering the carbon footprint of diets at the population level [64–66]. Additionally, modeling studies suggest that increasing the proportion of plant-based proteins in the diet could lead to substantial reductions in GHG emissions, with potential decreases of up to 70% when shifting toward healthier and more plant-based dietary patterns [67–70]. Taken together, our findings underscore the pivotal role of shifting from animal-based to plant-based proteins in improving dietary environmental sustainability [34] and support the need to address meat consumption patterns to reduce environmental impacts. Also, in our study, the profiles with the highest GHG emissions (P5 and P1) were predominantly composed of males. This is consistent with evidence suggesting that GHG emissions in men are approximately 30% higher than in women [71], and up to 41% higher in another study [72]. Furthermore, alcohol consumption, which is more prevalent in the predominantly male profile P1, contributes to food-related GHG emissions. According to the literature, alcohol typically accounts for around 3% of total food-related GHG emissions [73]. Still, in populations with higher alcohol intake, this can range from 6 to 11%, with GHG emissions being 90% higher in men [73].

We also observed an increase in the contribution of organic food across nearly all profiles, reflecting a broader trend in the French population, where the share of the food budget dedicated to organic products rose from 2.5% in 2014 [74] to 6% in 2022 [75], despite a slight decline between 2021 and 2022 [75]. Notably, 41% of food consumed by individuals in profile P4 was

organic in 2022, despite inflationary pressures. The profile characterized by a predominantly plant-based diet (P3) consistently had the highest share of organic food consumption throughout the study period, aligning with their higher intake of plant-based foods, as reported in previous research [34, 76].

Although organic food share was considered here as a descriptive rather than analytical variable, it remains relevant for sustainability. Organic production generally avoids synthetic inputs, reduces chemical pollution, enhances biodiversity, and supports soil health and carbon sequestration, contributing to lower environmental impacts compared to conventional systems [77–79]. However, its overall contribution to sustainability depends on factors such as yields, land use, and dietary composition [77, 80]. In particular, organic consumption is most environmentally beneficial when combined with a largely plant-based diet [81].

Our findings revealed slight increases in the consumption of ruminant meat, pork, alcoholic beverages, and eggs within the predominantly plant-based profile (P3). While these changes remain minor in absolute terms, they could signal an early indicator of broader future dietary shifts, warranting future surveillance. Notably, P3's overall consumption levels for these items remained the lowest among all profiles, except for eggs, preserving its largely plant-based orientation. However, similar trends have been observed in studies showing that vegetarians and vegans are more likely to revert to omnivorous diets than the reverse [82]. Likewise, in Germany, "convinced flexitarians" increased their meat consumption due to waning belief in the benefits of plant-based diets [83]. These findings highlight the importance of targeted strategies to support and stabilize plant-based dietary behaviors over time, as small changes may signal the potential for broader future shifts.

Strengths and limitations

Since participation in the NutriNet-Santé cohort is voluntary, our sample is not representative of the French population [84]. Participants tend to be more health-conscious, with a higher proportion of individuals in the healthy BMI range and a lower prevalence of obesity. Although we have addressed this limitation by applying data weighting to limit potential selection bias, caution is needed when generalizing. This health-conscious profile may partly explain the observed decrease in energy intake over time. Nevertheless, the paradox of declining reported energy intake alongside rising obesity rates in Western countries highlights the multifactorial nature of weight regulation, involving changes in physical activity, dietary composition, and broader environmental factors. Secondly, although under- and

over-reporters are systematically excluded and validated dietary assessment tools are used, some degree of selective underreporting of specific foods may persist, as in all large-scale cohorts based on self-reported data. Nevertheless, the combination of repeated measures, rigorous quality controls, and energy adjustment procedures in NutriNet-Santé helps to minimize this bias. Moreover, LCA were restricted to the production stage since post-farm data were unavailable for the whole organic food system. While this means that our GHGe estimates are somewhat underestimated, the impact is likely limited, as production is by far the main cause of environmental pressures [8]. Another limitation of our approach is that focusing solely on GHG emissions does not capture the full spectrum of environmental impacts associated with food production, such as land use, water use, eutrophication, and biodiversity loss. This is particularly relevant when comparing organic and conventional production systems, which may differ more substantially in these other impact categories [85]. Nevertheless, GHG emissions remain a highly relevant and widely used indicator for assessing the environmental impact of diets, especially in the context of climate change mitigation [1, 26–28]. Future research could benefit from incorporating a broader range of sustainability metrics as data availability improves. Regarding health risk assessment, a limitation of this study is the use of GBD 2017 data, while more recent estimates (GBD 2021 [86]) are now available. Although the core diet–disease relationships remain well-established, future research should integrate GBD 2021 data to refine absolute DALY estimates, particularly in light of post-2019 trends affected by the COVID-19 pandemic and methodological updates. Furthermore, our DALY estimates rely on population-level parameters and conversion factors from the Global Burden of Disease Study 2017, as individual-level data on disease incidence, duration, and disability weights were not available. While this approach is widely used and enables international comparability, it introduces uncertainty, particularly regarding the absolute values of DALYs. Therefore, our results should be interpreted with caution, especially for absolute health impact estimates, while relative comparisons between profiles remain robust. That said, our study is one of the few that examines recent individual changes in dietary behaviors within a French cohort based on detailed, validated and consistently repeated dietary data collection over time covering a wide range of indicators related to sustainable diet. The large sample size allows us to explore a wide variety of profiles, including those who have undertaken transitions to sustainable dietary consumption. This provides a valuable opportunity to

analyze their characteristics and draw insights from their dietary trajectories. In addition, studying different consumer profiles would allow a detailed analysis of the specific motivations and potential barriers to sustainable transitions in each segment, which is crucial for improving the effectiveness of targeted initiatives.

Conclusions

This study reveals the varied dietary patterns of some French adults from 2014 to 2022, showcasing distinct eating profiles and trends. Our results indicate that moving towards more sustainable diets is achievable, as all these profiles exhibit improvements in some specificities of their diets, albeit to differing degrees, which in turn affect environmental, nutritional, and health outcomes. These distinctions highlight the necessity for customized strategies to meet the unique needs and attitudes of different consumer segments, alongside the importance of deepening our understanding of the socio-economic, psychological, and cultural factors that shape these dietary changes.

Abbreviations

aDQI	Animal-based Diet Quality Index
C.U.	Consumption Unit
cDQI	Comprehensive Diet Quality Index
CRA	Comparative Risk Assessment
DALYs	Disability-Adjusted Life Years
FFQ	Food Frequency Questionnaire
GBMTM	Group-based multi-trajectory modeling
GHG	Greenhouse Gas
Org-FFQ	Organic Food Frequency Questionnaire
pDQI	Plant-based Diet Quality Index
PMD	Prepared and Mixed Dishes
PNNs-GS2	Programme National Nutrition Santé-Guidelines Score 2 (adherence to French dietary guidelines score)
SD	Standard deviation
SSFF	Salty and Sweetened Fatty Foods
SSB	Sugar-sweetened beverages
TEI	Total Energy Intake

Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1186/s12966-025-01777-w>.

Supplementary Material 1.

Acknowledgements

We thank Cédric Agaësse (dietitian manager), Alexandre De-Sa, Laure Legris (dietitians); Selim Aloui (IT manager), Thi Hong Van Duong, Régis Gatibelza, Jagatjit Mohinder, Amelle Aitelhadj and Aladi Timera (computer scientists); Fabien Szabo de Edelenyi, PhD (supervisor), Julien Allegre, Nathalie Arnault, Laurent Bourhis, Nicolas Dechamp (data-manager/statisticians); Paola Yvroud, MD (health event validator), Maria Gomes and Mirette Foham (Nutrinaute support) and Nadia Khemache (supervisor), Marie Ajanohun, Tassadit Hadar (support) for their technical contribution to the NutriNet-Santé study. We thank all the volunteers of the NutriNet-Santé cohort. TRANSFood Consortium (not included in the main authors) Aurélien Chayre (Solagro, 75, Voie TOEC, CS 27608, F-31076 Toulouse Cedex 3, France), Helene Charreire (MoISA, Univ Montpellier, CIRAD, CIHEAM-IAMM, INRAE, Institut Agro, IRD, Montpellier, France), Jean-Francois HUNEAU

(Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR PNCA, 91120, Palaiseau, France), Laurent Muller (University Grenoble Alpes, CNRS, GAEL, INRAE, Grenoble INP, 38000 Grenoble, France), Sabrina Teyssier (University Grenoble Alpes, CNRS, GAEL, INRAE, Grenoble INP, 38000 Grenoble, France), Sylvaine Berger (Solagro, 75, Voie TOEC, CS 27608, F-31076 Toulouse Cedex 3, France), Thierry Feuillet (Université de Caen Normandie, UMR 6266 IDEES CNRS, Caen, France)

Authors' contributions

EKG designed the research; HT performed statistical analysis; EKG supervised statistical analysis; HT drafted the manuscript; EKG supervised the writing. All authors contributed to the data interpretation, revised each draft for important intellectual content, and approved the final manuscript. EKG had primary responsibility for the final content, she is the guarantor. None of the authors reported a conflict of interest related to the study. The corresponding author (EKG) attests that all listed authors meet authorship criteria and that no others meeting the criteria have been omitted.

Funding

The NutriNet-Santé study is funded by the French Ministry of Health and Prevention, Santé Publique France, the Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, the National Research Institute for Agriculture, Food and the Environment, the Conservatoire National des Arts et Métiers, and Sorbonne Paris Nord University. The BioNutriNet project was supported by the French National Research Agency (Agence Nationale de la Recherche) in the context of the 2013 Programme de Recherche Systèmes Alimentaires Durables (ANR-13-ALID-0001). This work is part of the TRANSFood project funded by the French National Research Agency (under the number ANR-21-CE21-0011-01). Hafsa Toujgani was supported by this project. The funders had no role in the study design, data collection, analysis, interpretation of data, preparation of the manuscript, and decision to submit the paper.

Data availability

Analytic code will be made available upon request. Researchers from public institutions can submit a collaboration request including information on their institution, funding sources and a brief description of the project to collaboration@etude-nutrinet-sante.fr. All requests will be reviewed by the steering committee of the NutriNet-Santé study. If the collaboration is accepted, a data access agreement will be necessary and appropriate authorizations from the competent administrative authorities may be needed. In accordance with existing regulations, no personal data will be accessible.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

The NutriNet-Santé study complies with the principles outlined in the Helsinki Declaration and has received validation from both the Inserm Ethical Evaluation Committee (CEEI) (no. 0000388FWA00005831) and the National Committee for Information Technology and Freedom (CNIL) (nos. 908450 and 909216). The study is also registered on ClinicalTrials.gov (NCT03335644). Participants provided written informed consent for their participation.

Consent for publication

All authors have reviewed and approved the final version of the manuscript and consent to its publication.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Author details

¹Université Sorbonne Paris Nord and Université Paris Cité, Inserm, INRAE, CNAM, Center of Research in Epidemiology and Statistics (CREDES), Nutritional Epidemiology Research Team (EREN), 93017 Bobigny, France. ²Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR PNCA, 91120 Palaiseau, France. ³Aix Marseille Université, Inserm, INRAE, C2VN, 13005 Marseille, France. ⁴Solagro, 75, Voie TOEC, CS 27608, F-31076, Cedex 3 Toulouse, France.

Received: 20 February 2025 Accepted: 30 May 2025

Published online: 13 June 2025

References

- Crippa M, Solazzo E, Guizzardi D, Monforti-Ferrario F, Tubiello FN, Leip A. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nat Food*. 2021;2(3):198–209.
- WWF Germany & WWF Food Practice. Enhancing ndcs for food systems recommendations for decision-makers. 2020. Available from: https://climatepromise.undp.org/sites/default/files/research_report_document/undp-ndcsp-wwf-uneep-foodwaste-ndc-guide.pdf
- Campbell BM, Beare DJ, Bennett EM, Hall-Spencer JM, Ingram JSI, Jaramillo F, et al. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *E&S*. 2017;22(4):art8.
- Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin FS, Lambin EF, et al. A safe operating space for humanity. *Nature*. 2009;461(7263):472–5.
- Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Fetzer I, Bennett EM, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*. 2015;347(6223):1259855.
- Richardson K, Steffen W, Lucht W, Bendtsen J, Cornell SE, Donges JF, et al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*. 2023 Sep 13;9(37):eadh2458.
- Springmann M, Wiebe K, Mason D'Croz D, Sulser TB, Rayner M, Scarborough P. Health and nutritional aspects of sustainable diet strategies and their association with environmental impacts: a global modelling analysis with country-level detail. *The Lancet Planetary Health*. 2018 Oct 1;2(10):e451–61.
- Poore, Nemecek. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers | *Science*. 2018. Available from: <https://www.science.org/doi/https://doi.org/10.1126/science.aaq0216>. [Cited 2022 Sep 11].
- Shukla PR, Skea J, Slade R. Climate Change 2022: Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2022;
- UN. General Assembly (70th sess. : 2015–2016), UN. Department of Economic and Social Affairs. Division for Sustainable Development Goals, UN. General Assembly (70th sess. : 2015–2016), UN. Department of Economic and Social Affairs. Division for Sustainable Development Goals. Transforming our world : the 2030 Agenda for Sustainable Development. 2015. Available from: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>. [Cited 2024 Aug 23].
- Afshin A, Sur PJ, Fay KA, Cornaby L, Ferrara G, Salama JS, et al. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*. 2019;393(10184):1958–72.
- Burlingame B, Dernini S. Sustainable diets and biodiversity: directions and solutions for policy, research and action: proceedings of the international scientific symposium Biodiversity and sustainable diets united against hunger, 3–5 november 2010, FAO headquarters, Rome. Rome: FAO; 2012.
- Biesbroek S, Kok FJ, Tufford AR, Bloem MW, Darmon N, Drewnowski A, et al. Toward healthy and sustainable diets for the 21st century: Importance of sociocultural and economic considerations. *Proc Natl Acad Sci*. 2023;120(26): e2219272120.
- Clark MA, Springmann M, Hill J, Tilman D. Multiple health and environmental impacts of foods. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2019;116(46):23357–62.
- Leydon CL, Leonard UM, McCarthy SN, Harrington JM. Aligning Environmental Sustainability, Health Outcomes, and Affordability in Diet Quality: A Systematic Review. *Adv Nutr*. 2023;14(6):1270–96.
- Biesbroek S, Verschuren WM, Boer JM, Van Der Schouw YT, Sluijs I, Temme EH. Are our diets getting healthier and more sustainable? Insights from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition – Netherlands (EPIC-NL) cohort. *Public Health Nutr*. 2019;22(16):2931–40.
- Huseinovic E, Hörnell A, Johansson I, Esberg A, Lindahl B, Winkvist A. Changes in food intake patterns during 2000–2007 and 2008–2016 in the population-based Northern Sweden Diet Database. *Nutr J*. 2019;18(1):36.
- Thorpe MG, Milte CM, Crawford D, McNaughton SA. Education and life-style predict change in dietary patterns and diet quality of adults 55 years and over. *Nutr J*. 2019;18(1):67.

19. Toujgani H, Berlivet J, Berthy F, Allès B, Brunin J, Fouillet H, et al. Dietary Pattern Trajectories in French Adults of the NutriNet-Santé Cohort Over Time (2014–2022): Role of Socioeconomic Factors. *Br J Nutr*. 2024;117:1–29.
20. Hercberg S, Castetbon K, Czernichow S, Malon A, Méjean C, Kesse E, et al. The NutriNet-Santé Study: a web-based prospective study on the relationship between nutrition and health and determinants of dietary patterns and nutritional status. *BMC Public Health*. 2010;11(10):242.
21. Vergnaud AC, Touvier M, Méjean C, Kesse-Guyot E, Pollet C, Malon A, et al. Agreement between web-based and paper versions of a socio-demographic questionnaire in the NutriNet-Santé study. *Int J Public Health*. 2011;56(4):407–17.
22. Baudry J, Méjean C, Allès B, Péneau S, Touvier M, Hercberg S, et al. Contribution of Organic Food to the Diet in a Large Sample of French Adults (the NutriNet-Santé Cohort Study). *Nutrients*. 2015;7(10):8615–32.
23. Etude NutriNet-Santé. Table de composition des aliments de l'étude NutriNet-Santé (NutriNet-Santé Study Food Composition Database). Paris: Economica. 2013.
24. Pointereau P, Langevin B, Gimaret M. DIALECTE, a comprehensive and quick tool to assess the agro-environmental performance of farms. Producing and reproducing farming systems New modes of organisation for sustainable food systems of tomorrow 10th European IFSA Symposium, Aarhus, Denmark, 1–4 July 2012. 2012; Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133410218>. [cited 2023 Mar 14].
25. Baudry J, Pointereau P, Seconda L, Vidal R, Taupier-Letage B, Langevin B, et al. Improvement of diet sustainability with increased level of organic food in the diet: findings from the BioNutriNet cohort. *Am J Clin Nutr*. 2019;109(4):1173–88.
26. Hajjathanassiadou M, Rolim PM, Seabra LMJ. Nutrition and its footprints: Using environmental indicators to assess the nexus between sustainability and food. *Front Sustain Food Syst*. 2023;6. Available from: <https://www.frontiersin.org/https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1078997/full>. [cited 2025 Apr 18].
27. OECD. Measuring Carbon Footprints of Agri-Food Products: Eight Building Blocks. OECD Publishing; 2025. Available from: https://www.oecd.org/en/publications/measuring-carbon-footprints-of-agri-food-products_8eb75706-en.html. [cited 2025 Apr 18].
28. Mrówczyńska-Kamińska A, Bajan B, Pawłowski KP, Genstwa N, Zmysłona J. Greenhouse gas emissions intensity of food production systems and its determinants. *PLoS ONE*. 2021;16(4): e0250995.
29. Chaltiel D, Adjibade M, Deschamps V, Touvier M, Hercberg S, Julia C, et al. Programme National Nutrition Santé - guidelines score 2 (PNNS-GS2): development and validation of a diet quality score reflecting the 2017 French dietary guidelines. *Br J Nutr*. 2019;122(3):331–42.
30. HCSF. Statement related to the revision of the 2017–2021 French Nutrition and Health Programme's dietary guidelines for adults. Rapport de l'HCSF. Paris: Haut Conseil de la Santé Publique; 2017 Feb. Available from: <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=653>. [cited 2025 Apr 18].
31. Keaver L, Ruan M, Chen F, Du M, Ding C, Wang J, et al. Plant- and animal-based diet quality and mortality among US adults: a cohort study. *Br J Nutr*. 2021;125(12):1405–15.
32. Willett, Stampfer. Total energy intake: implications for epidemiologic analyses. *American Journal of epidemiology*. 1986 Jul;124(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3521261/>. [cited 2022 Sep 15].
33. La macro SAS CALMAR | Insee. Available from: <https://www.insee.fr/fr/information/2021902>. [cited 2023 Jun 8].
34. Toujgani H, Brunin J, Perraud E, Allès B, Touvier M, Lairon D, et al. The nature of protein intake as a discriminating factor of diet sustainability: a multi-criteria approach. *Sci Rep*. 2023;13(1):17850.
35. Onni AT, Balakrishna R, Perillo M, Amato M, Javadi Arjmand E, Thomassen LM, et al. Umbrella review of systematic reviews and meta-analyses on consumption of different food groups and risk of all-cause mortality. *Adv Nutr*. 2025;16(4):100393.
36. Liu J, Shen Q, Wang X. Emerging EAT-Lancet planetary health diet is associated with major cardiovascular diseases and all-cause mortality: A global systematic review and meta-analysis. *Clin Nutr*. 2024;43(12):167–79.
37. Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, et al. Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*. 2019;393(10170):447–92.
38. Baudry, Pointereau, Seconda. Improvement of diet sustainability with increased level of organic food in the diet: findings from the BioNutriNet cohort. 2019;
39. Reganold JB, Wachter JM. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*. 2016;2(2):1–8.
40. Średnicka-Tober D, Golba J, Kazimierczak R, Hallmann E, Strok T, Rembiałkowska E. Evaluation of the nutritional quality of selected fruit and vegetables depending on the time after farm conversion to organic production methods. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2016;61(4):197–203.
41. Baudry J, Assmann KE, Touvier M, Allès B, Seconda L, Latino-Martel P, et al. Association of Frequency of Organic Food Consumption With Cancer Risk: Findings From the NutriNet-Santé Prospective Cohort Study. *JAMA Intern Med*. 2018;178(12):1597.
42. Barański M, Średnicka-Tober D, Volakakis N, Seal C, Sanderson R, Stewart GB, et al. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *Br J Nutr*. 2014;112(5):794–811.
43. Rahman A, Baharlouei P, Koh EHY, Pirvu DG, Rehmani R, Arcos M, et al. A Comprehensive Analysis of Organic Food: Evaluating Nutritional Value and Impact on Human Health. *Foods*. 2024;13(2):208.
44. Murray CJL, Lopez AD. Measuring the Global Burden of Disease. *N Engl J Med*. 2013;369(5):448–57.
45. James SL, Abate D, Abate KH, Abay SM, Abbafati C, Abbasi N, et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*. 2018;392(10159):1789–858.
46. Classification internationale des maladies (CIM) | CépIdc. Available from: <https://www.cepidc.inserm.fr/causes-medicales-de-deces/classification-internationale-des-maladies-cim>. [cited 2024 Oct 29].
47. WHO European Office for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Plant-based diets and their impact on health, sustainability and the environment: a review of the evidence. 2021. Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/349086/WHO-EURO-2021-4007-43766-61591-eng.pdf?sequence=1>. [cited 2023 Oct 9].
48. Selinger E, Neuenschwander M, Koller A, Gojda J, Kühn T, Schwing-shackl L, et al. Evidence of a vegan diet for health benefits and risks – an umbrella review of meta-analyses of observational and clinical studies. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2023;63(29):9926–36.
49. Key TJ, Papier K, Tong TYN. Plant-based diets and long-term health: findings from the EPIC-Oxford study. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2022;81(2):190–8.
50. Vari R, Scanzocchio B, Papa SD. Dietary habits and gender differences.
51. Li KK, Concepcion RY, Lee H, Cardinal BJ, Ebbeck V, Woelke E, et al. An Examination of Sex Differences in Relation to the Eating Habits and Nutrient Intakes of University Students. *J Nutr Educ Behav*. 2012;44(3):246–50.
52. Wardle J, Haase AM, Steptoe A, Nillapun M, Jonvutiwes K, Bellisle F. Gender differences in food choice: the contribution of health beliefs and dieting. *Ann Behav Med*. 2004;27(2):107–16.
53. Nilsen L, Hopstock LA, Grimsgaard S, Carlsen MH, Lundblad MW. Intake of Vegetables, Fruits and Berries and Compliance to "Five-a-Day" in a General Norwegian Population—The Tromsø Study 2015–2016. *Nutrients*. 2021;13(7):2456.
54. Burke DT, Bennett AE, Hynds P, Priyadarshini A. Identifying Novel Data-Driven Dietary Patterns via Dimensionality Reduction and Associations with Socioeconomic Profile and Health Outcomes in Ireland. *Nutrients*. 2023;15(14):3256.
55. Stoll-Kleemann S, Schmidt UJ. Reducing meat consumption in developed and transition countries to counter climate change and biodiversity loss: a review of influence factors. *Reg Environ Change*. 2017;17(5):1261–77.
56. Tobler C, Visschers VHM, Slegrist M. Eating green. Consumers' willingness to adopt ecological food consumption behaviors. *Appetite*. 2011;57(3):674–82.
57. Hiza HAB, Casavale KO, Guenther PM, Davis CA. Diet Quality of Americans Differs by Age, Sex, Race/Ethnicity, Income, and Education Level. *J Acad Nutr Diet*. 2013;13(2):297–306.
58. Garriguet D. Diet quality in Canada. *Health Rep*. 2009;20(3):41–52.

59. de Andrade SC, Previdelli AN, Cesar CLG, Marchioni DML, Fisberg RM. Trends in diet quality among adolescents, adults and older adults: A population-based study. *Preventive Medicine Reports*. 2016;4:391–6.
60. Maillot M, Vieux F, Delaere F, Luch A, Darmon N. Dietary changes needed to reach nutritional adequacy without increasing diet cost according to income: An analysis among French adults. Adams J, editor. *PLoS ONE*. 2017 Mar 30;12(3):e0174679.
61. Sobiecki JG, Appleby PN, Bradbury KE, Key TJ. High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition-Oxford study. *Nutr Res*. 2016;36(5):464–77.
62. Monsivais P, Scarborough P, Lloyd T, Mizdrak A, Luben R, Mulligan AA, et al. Greater accordance with the Dietary Approaches to Stop Hypertension dietary pattern is associated with lower diet-related greenhouse gas production but higher dietary costs in the United Kingdom. *Am J Clin Nutr*. 2015;102(1):138–45.
63. Temme EH, Toxopeus IB, Kramer GF, Brokens MC, Drijvers JM, Tysler M, et al. Greenhouse gas emission of diets in the Netherlands and associations with food, energy and macronutrient intakes. *Public Health Nutr*. 2015;18(13):2433–45.
64. Topcu B. 10-Year Changes of Food Consumption and Carbon Footprint in Ontario. University of Waterloo; 2018.
65. Bassi C, Maysels R, Anex R. Declining greenhouse gas emissions in the US diet (2003–2018): Drivers and demographic trends. *J Clean Prod*. 2022;1(351):131465.
66. Aleksandrowicz L, Green R, Joy EJM, Smith P, Haines A. The Impacts of Dietary Change on Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, and Health: A Systematic Review. *PLoS ONE*. 2016;11(11):e0165797.
67. Fouillet H, Dussiot A, Perraud E, Wang J, Huneau JF, Kesse-Guyot E, et al. Plant to animal protein ratio in the diet: nutrient adequacy, long-term health and environmental pressure. *Nutrition*; 2022 May. Available from: <http://medrxiv.org/lookup/doi/https://doi.org/10.1101/2022.05.20.22275349>. [cited 2023 Feb 21].
68. Kesse-Guyot E, Fouillet H, Baudry J, Dussiot A, Langevin B, Allès B, et al. Halving food-related greenhouse gas emissions can be achieved by redistributing meat consumption: Progressive optimization results of the NutriNet-Santé cohort. *Sci Total Environ*. 2021;1(789):147901.
69. Kesse-Guyot E, Allès B, Brunin J, Langevin B, Fouillet H, Dussiot A, et al. Environmental pressures and pesticide exposure associated with an increase in the share of plant-based foods in the diet. *Sci Rep*. 2023;13(1):19317.
70. Dussiot A, Fouillet H, Perraud E, Salomé M, Huneau JF, Mariotti F, et al. How to best reshape diets to be healthier with lower or no ruminant meat, and implications for environmental pressures. *J Clean Prod*. 2023;15(414):137600.
71. Masset G, Vieux F, Vergier EO, Soler LG, Touazi D, Darmon N. Reducing energy intake and energy density for a sustainable diet: a study based on self-selected diets in French adults. *Am J Clin Nutr*. 2014;99(6):1460–9.
72. Rippin HL, Cade JE, Berrang-Ford L, Benton TG, Hancock N, Greenwood DC. Variations in greenhouse gas emissions of individual diets: Associations between the greenhouse gas emissions and nutrient intake in the United Kingdom. *PLoS ONE*. 2021;16(11):e0259418.
73. Hallström E, Håkansson N, Åkesson A, Wolk A, Sonesson U. Climate impact of alcohol consumption in Sweden. *J Clean Prod*. 2018;10(201):287–94.
74. l'Agence BIO. LA BIO EN FRANCE des Producteurs aux Consommateurs. 2016 Deuxième édition. Available from: https://abiocdoc.docressources.fr/doc_num.php?explnum_id=5707. [cited 2024 Jul 30].
75. Livret-chiffres-BIO-2023-PRESSE-2023-210x297-.pdf. Available from: <https://www.agencebio.org/wp-content/uploads/2024/06/Livret-chiffres-BIO-2023-PRESSE-2023-210x297-.pdf>. [cited 2024 Jul 29].
76. Baudry J, Touvier M, Allès B, Péneau S, Méjean C, Galan P, et al. Typology of eaters based on conventional and organic food consumption: results from the NutriNet-Santé cohort study. *Br J Nutr*. 2016;116(4):700–9.
77. Muller A, Schader C, El-Hage Scialabba N, Brüggemann J, Isensee A, Erb KH, et al. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nat Commun*. 2017;8(1):1290.
78. Birkhofer K, Smith HG, Rundlöf M. Environmental Impacts of Organic Farming. In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd; 2016. p. 1–7. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0026341>. [cited 2025 Apr 24].
79. Rodale Institute. Regenerative Organic Agriculture White Paper.pdf. 2024. Available from: <https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/Regenerative-Organic-Agriculture-White-Paper.pdf>. [cited 2025 Apr 24].
80. Lorenz K, Lal R. Environmental Impact of Organic Agriculture. In: *Advances in Agronomy*. Elsevier; 2016. p. 99–152. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S006521131630061X>. [cited 2025 Apr 24].
81. Mie A, Andersen HR, Gunnarsson S, Kahl J, Kesse-Guyot E, Rembialkowska E, et al. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environ Health*. 2017;16(1):111.
82. Milfont TL, Satherley N, Osborne D, Wilson MS, Sibley CG. To meat, or not to meat: A longitudinal investigation of transitioning to and from plant-based diets. *Appetite*. 2021;1(166):105584.
83. Strässner AM, Wirth W. Shades and shifts in flexitarian and meat-oriented consumer profiles in a German panel study. *Appetite*. 2024;1(197):107298.
84. Kesse-Guyot E, Assmann K, Andreeva V, Castetbon K, Méjean C, Touvier M, et al. Lessons Learned From Methodological Validation Research in E-Epidemiology. *JMIR Public Health Surveill*. 2016;2(2):e160.
85. Smith LG, Kirk GJD, Jones PJ, Williams AG. The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nat Commun*. 2019;10(1):4641.
86. GBD 2021 Diseases and Injuries Collaborators. Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability-adjusted life-years (DALYs), and healthy life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet*. 2024 May 18;403(10440):2133–61.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Dietary consumption trajectory profiles over time of French adults from the NutriNet-Santé cohort (2014-2022): Multicriteria analysis of sustainability

Hafsa Toujgani¹, Juhui Wang², Elie Perraud², Julia Baudry¹, Justine Berlivet¹, Benjamin Allès¹, Hélène Fouillet², Serge Hercberg¹, Mathilde Touvier¹, Denis Lairon³, Philippe Pointereau⁴, Christian Couturier⁴, François Mariotti², Emmanuelle Kesse-Guyot¹ and the TRANSFood Consortium

Online Supplemental material

Supplemental Method 1: Assessment of organic food group consumption

Participants in the NutriNet-Santé Cohort were asked to report their consumption frequencies for 264 food and beverage items using a semi-quantitative food frequency questionnaire (FFQ). The organic food frequency questionnaire (Org-FFQ) was adapted from an original FFQ (1). For each item, except those unavailable under the organic label (e.g., water and sweeteners), a 5-point ordinal scale from “never” to “always” was used to assess the proportion of intake from organic sources. Participants had to respond to the question: “How often was the product of organic origin?”. For butter and margarine used for bread or frying, participants selected the most frequently consumed item from approximately 20 organic or conventional options. To estimate organic intake, weights of 0, 0.25, 0.5, 0.75, and 1 were assigned to the response options of never, rarely, half the time, often, and always, respectively. Sensitivity analyses were previously conducted to evaluate the impact of assigning arbitrary percentages, where 10% instead of 25% was assigned to the “rarely” category. Additionally, 20 Monte Carlo simulations (2) were performed, assigning arbitrary intervals to each frequency category: “never” (0% to 2.5%), “rarely” (2.5% to 35%), “half the time” (35% to 65%), “often” (65% to 90%), and “always” (90% to 100%). The modalities were assumed to be uniformly distributed within these intervals. Each dataset attributed the same percentage to a given modality. In those sensitivity analyses, the rankings of participants according to the share of organic food in the diet were similar.

Supplemental Method 2: Computation of the environmental indicators

The analysis scope considered by the DIALECTE tool (3) is limited to the agricultural production stage. The production of inputs and the supply of energy are included, while the processing, packaging, transport, storage, and recycling phases are excluded. The tool contains information from 2,086 farms with different production systems, 46% of which are certified organic.

Thereby, in the NutriNet-Santé study (4,5), the greenhouse gas (GHG) emissions (CO₂-eq) were calculated by multiplying the individual food consumption of each product by the corresponding values of the GHG emissions and conversion factors. The conversion factors allow for the conversion of agricultural products into food products to be able to estimate the environmental impacts associated with food as consumed. Economic allocations by co-product were applied, followed by mass, cooking, and edibility coefficient assignments, enabling the measure of GHG emissions for the ingredient as consumed. Then, by summing all the food consumed, considering the production mode (organic or conventional), the GHG emissions of the overall diet are obtained.

Supplemental Method 3: Computation of dietary indexes

The nutritional quality of individual diets was assessed using the **PNNS-GS2** (Programme National Nutrition Santé – Guidelines Score 2), which measures adherence to the French dietary recommendations established by the High Council of Public Health in 2017 (6) and launched in 2019. This score includes 13 food groups, classified into two categories:

Healthy foods (to be encouraged), including fruits and vegetables, wholegrain foods, legumes, milk and dairy products, nuts, fish and seafood, and plant-based oils rich in α -linolenic acid; and unhealthy foods (to be limited), including sugary foods, red meat, processed meat, sweetened beverages, alcoholic beverages, and salt.

The reference values are based on the French food-based dietary guidelines established by the High Council of Public Health in 2017 (7). Details regarding the specific food group components and their scoring are provided in **Table 1** below. Reference portion sizes were determined according to typical French consumption patterns (6).

An expert panel established the scoring system, assigning values and thresholds ranging from 0 to 2 points for healthy foods to reflect compliance with recommendations, and from 0 to -2 points for foods to be limited (6). More specifically, high consumption of healthy foods results in positive points, while the absence of consumption may lead to negative points. Conversely, for foods to be limited, high consumption results in negative points, while no consumption does not incur any penalty.

Additionally, the score accounts for organic food consumption for plant-based foods (notably bread and cereals, fruits and vegetables, and legumes) by assigning bonus or penalty points. Weighting was applied to the components according to the strength of evidence for their relationship with health, as determined by an expert panel (6). Furthermore, if total energy intake exceeds estimated energy expenditure by more than 5%, a penalty is applied to the score (PNNS-GS penalized), thus, participants reporting energy intake of more than 105% of their theoretical energy expenditure had their score reduced by the same proportion. As % is a continuous impact of penalty, it may lower the score without a lower limit, which explains the $-\infty$ values. Estimated energy expenditure was based on physical activity level (assessed using the IPAQ questionnaire) and basal metabolic rate using Schofield's equations (8).

Thus, the final score can theoretically range from $-\infty$ to 14.25.

Table 1 below provides detailed information on the components, reference servings, and scoring system.

Table 1. Programme National Nutrition Santé – guidelines score 2 (PNNS-GS2): components and scoring (9)

Dietary components	Recommendation	Criteria*	Score
Fruits and vegetables (weight = 3)	At least 5 servings/d, with 1 maximum as juice and 1 maximum as dried	[0 - 3,5[	0
		[3,5 - 5[	0,5
		[5 - 7,5[	1
		$\geq 7,5$	2
	Prefer organic fruits	Most of the time	0,5
		Occasionally	0,25
		Never	0
	Prefer organic vegetables	Most of the time	0,5
Occasionally		0,25	
Never		0	

Nuts (weight =1)	A handful/d	0	0	
		]0 – 0,5[	0,5
		[0,5- 1,5[	1
		≥1,5	0	
Legumes (weight =1)	At least 2 servings/week	0 /sem	0	
		]0-2[/sem	0,5
		≥2 /sem	1	
		Prefer organic legumes	Most of the time	0,5
		Occasionally	0,25	
		Never	0	
Whole-grain food (weight =2)	Every day	0	0	
		]0 - 1[	0,5
		[1 - 2[	1
		≥2	1,5	
		Prefer organic bread	Most of the time	0,5
			Occasionally	0,25
		Never	0	
	Prefer organic grains	Most of the time	0,5	
		Occasionally	0,25	
		Never	0	
Milk and dairy products (weight =1)	2 servings/d	]0 - 0,5[	0
		[0,5 - 1,5[	0,5
		[1,5 - 2,5[	1
		≥2,5	0	
Red meat (weight =2)	Limit consumption	]0 - 500[g/week	0
		[500 - 750[g/ week	-1	
		≥750 g/ week	-2	
Processed meat (weight =3)	Limit consumption	]0 - 150[g/ week	0
		[150 - 300[g/ week	-1	
		≥300 g/ week	-2	
		Prefer white ham over other processed meat ¹	Ratio <50%	0
		Ratio ≥50%	0,5	
Fish and seafood (weight =2)	2 servings/week	]0 - 1,5[servings/week	0
		[1,5 - 2,5[servings/week	1	
		[2,5 - 3,5[servings/week	0,5	
		≥3,5 servings/week	0	
		Fatty fish 1 serving/week]0 - 0,5[servings/week	0
			[0,5 - 1,5[servings/week	1
		≥1,5 servings/week	0	
Added fat (weight =2)	Avoid overeating	>16% of EIWA	0	
		≤16% of EIWA	1,5	
		Prefer ALA-rich and olive oil over other oils	Ratio <50%	0
			Ratio ≥50%	1
	Prefer plant fat over animal fat	Ratio >50%	0	
		Ratio ≤50%	1	
Sugary foods (weight =3)	Limit consumption	<10 % of EIWA	0	
		[10-15[% of EIWA	-1	
		≥15% of EIWA	-2	
Sweet-tasting beverages² (weight =3)	Limit consumption	0 mL/d	0	
		]0 - 250[mL/d	-0,5
		[250 - 750[mL/d	-1	
		≥ 750mL mL/d	-2	
Alcoholic beverages (weight =3)	Limit consumption	>200 g/d	-2	
		]150-200[g/d	-1.5
		]100-150[g/d	-1

		]0-100] g/d	0
		0 g/d	0.5
Salt (weight =3)	Limit consumption	≥12 g/d	-2
		[10-12[g/d	-1
		[8-10[g/d	-0.5
		[6-8[g/d	0
		<6 g/d	1

EIWA, energy intake without alcohol; ALA, α-linolenic acid. Servings per day unless otherwise stated.

*Servings per day unless otherwise stated.

¹Conditional: The 0.5 bonus point only occurs if total processed meat consumption is more than 150 g/wk.

²Sweetened beverages are specifically sugary, sweetened beverages, artificially sweetened beverages, and fruit juices.

The Comprehensive Diet Quality Index (cDQI), as developed by Keaver et al. (10) and applied in the NutriNet-Santé study, provides an overall measure of diet quality by evaluating both plant-based and animal-based dietary components. The cDQI is composed of two sub-scores: the Plant-based Diet Quality Index (pDQI) and the Animal-based Diet Quality Index (aDQI).

The pDQI assesses eleven plant-based food groups, which are classified as either healthy (such as whole grains, fruits excluding juices, vegetables excluding potatoes, nuts, seeds, legumes, plant oils, coffee, and tea) or unhealthy (including refined grains, fruit juices, sugar-sweetened beverages, and sweets or desserts). For each plant-based food group, a score from 0 to 5 is assigned proportionally to the level of consumption relative to a reference intake. For healthy foods, higher consumption up to the recommended value yields higher scores, with a maximum of 5 points. For unhealthy foods, higher consumption results in lower scores, with 0 points assigned if the intake exceeds the recommended limit. The total pDQI is the sum of these eleven components, with a possible range from 0 to 55.

Similarly, the aDQI evaluates six animal-based food groups, also classified as healthy (fish and seafood, dairy products, and poultry) or unhealthy (red meat, processed meat, and eggs). The scoring approach mirrors that of the pDQI: higher consumption of healthy animal foods up to the reference value results in higher scores, while higher consumption of unhealthy animal foods leads to lower scores. The total aDQI ranges from 0 to 30.

Reference intakes for each food group are based on international dietary guidelines and scientific evidence (10), with examples including ≥90 g/day for whole grains, ≥150 g/day for fruits and vegetables, ≥100 g/week for fish and seafood, and ≤50 g/week for processed meat. For each component, the score is calculated proportionally to the reference intake using the following formula:

$$Score = \left(\frac{Actual\ Intake}{Reference\ Intake} \right) \times 5$$

for healthy foods (capped at 5 points), and

$$Score = 5 - \left(\frac{Actual\ Intake}{Reference\ Intake} \right) \times 5$$

for unhealthy foods (reduced to 0 if the intake exceeds the recommended limit).

For example, an intake of 90 g of whole grains per day receives 5 points, while 45 g receives 2.5 points; for processed meat, an intake of 0 g per week receives 5 points, while 100 g per week receives 0 points. The final **cDQI** score is the sum of the **pDQI** and **aDQI**, yielding a total score ranging from 0 to 85, with higher scores indicating better overall diet quality. This detailed scoring system allows for a comprehensive and internationally comparable assessment of both plant and animal diet quality. **Table 2** below provides detailed information on cDQI scoring system.

Table 2: Components, Mean Intake, Scoring Standards, and Mean Score for the Comprehensive, Plant-Based, and Animal-Based Diet Quality Index among US Adults Aged 20+ Years, NHANES 1999-2014 (10)

Components	Mean Intake (SD) ¹	Max. Score	Standard for Max. Score	Standard for Min. Score of 0	Mean Score (95% CI)
Plant-based Components					
Healthful					
Whole grains ²	0.77 (0.55)	5	≥ 1.5 oz. equiv./1,000 kcal	No whole grains	1.27 (1.25, 1.28)
Vegetables excluding white potatoes ³	1.16 (0.43)	5	≥ 1.25 cup equiv./1,000 kcal	No vegetables excluding white potatoes	2.30 (2.29, 2.32)
Whole fruits ²	0.71 (0.55)	5	≥ 0.4 cup equiv./1,000 kcal	No whole fruit	3.20 (3.16,3.23)
Nuts/seeds/legumes ³	0.68 (0.43)	5	≥ 0.5 oz. equiv./1,000 kcal	No nuts, seeds or legumes	3.00 (2.97, 3.02)
Vegetable oils ⁴	17.9 (4.94)	5	Highest quintile	Lowest quintile	2.59 (2.56, 2.63)
Coffee/tea ⁴	2.01 (1.74)	5	Highest quintile	Lowest quintile	2.58 (2.53, 2.62)
Unhealthful					
Fruit juices ⁵	0.29 (0.26)	5	No fruit juices	≥ 0.35 cup equiv./1,000 kcal	3.18 (3.15, 3.20)
Refined grains ²	5.63 (1.12)	5	≤ 1.8 oz. equiv./1,000 kcal	≥ 4.3 oz. equiv./1,000 kcal	3.06 (3.04, 3.08)
White potatoes ⁵	0.34 (0.11)	5	No white potatoes	≥ 0.35 cup equiv./1,000 kcal	2.57 (2.56, 2.59)
Sugar-sweetened beverages (SSB) ³	1.43 (1.25)	5	No SSB	≥ 1 cup equiv./day	1.34 (1.30, 1.37)
Sweets and desserts ⁴	1.77 (9.75)	5	Highest quintile	Lowest quintile	2.49 (2.45, 2.52)
Plant-based diet quality index (pDQI)	55		range: 0-55		27.6 (27.4, 27.7)
Animal-based Components					
Healthful					
Fish/seafood ³	0.64 (0.32)	5	≥ 0.5 oz./1,000 kcal	No fish or shellfish	2.94 (2.92, 2.97)
Dairy ²	1.41 (0.51)	5	≥ 1.3 cup equiv./1,000 kcal	No dairy	2.76 (2.74, 2.78)
Poultry ⁴	1.48 (0.45)	5	Highest quintile	Lowest quintile	2.48 (2.44, 2.53)
Unhealthy					
Processed meats ⁵	0.85 (0.35)	5	No processed meats	≥ 1 oz. equiv./1,000 kcal	2.87 (2.85, 2.89)
Red meats ⁵	1.66 (0.48)	5	No red meats	≥ 1.6 oz. equiv./1,000 kcal	2.46 (2.44, 2.47)
Egg ⁴	0.60 (0.28)	5	Lowest quintile	Highest quintile	2.72 (2.69, 2.75)
Animal-based diet quality index (aDQI)	30		range: 0-30		16.2 (16.2, 16.3)

Comprehensive Diet Quality Index (cDQI)	85	range: 0-85	43.8 (43.6, 44.0)
--	-----------	--------------------	----------------------

Abbreviations: NHANES, National Health and Nutrition Examination Survey; SD, Standard Deviation; CI, confident intervals; SSB, sugar-sweetened beverages; pDQI, plant-based Diet Quality Index; aDQI, animal-based Diet Quality Index; cDQI, comprehensive Diet Quality Index.

1.Units are oz. equiv. for mean intake of whole grains, nuts/seeds/legumes, refined grains, fish/seafoods, poultry, processed meats, red meats, and eggs; cup equiv. for mean intake of whole fruits , fruit juices, vegetables excluding white potatoes, white potatoes, and dairy; 8-fluid oz. cup for mean intake of coffee/tea and SSB; and serving for mean intake of sweets and desserts; gram for vegetable oils. The conversion factors for conventional unit to metric unit vary by foods and food groups.The approximate conversion factors are 1 cup equivalent fruits or vegetables is 100 grams; 1 cup equivalent legumes is 175 grams; 1 oz. equivalent whole or refine grains is 30 grams; 1 oz. equivalent fish/seafood, poultry, processed meat, unprocessed red meat, or nuts/seeds is 28.35 grams; 1 cup 8-fluid oz sugar-sweetened beverages, coffee, or tea is 226.8 grams, and 1 serving of sweets and desserts is 30 grams.

2.Scoring is based on scoring standards used in the Healthy Eating Index (HEI)-2015.

3.Scoring is based on scoring standards using in the Alternative Healthy Eating Index (AHEI) adjusted to per 1,000 kcal.

4.Scoring is based on the scoring standards used in the Plant-Based Diet Index (PDI) by Satija et al. (19) The quintiles were Q1=13.0, Q2=15.5, Q3=17.6, Q4=19.8, and Q5=22.6 for vegetable oils (grams per 2,000 kcal); Q1=0.38, Q2=0.93, Q3=1.68, Q4=2.38, and Q5=3.43 for tea/coffee (cup equiv. per 2,000 kcal); Q1=6.8, Q2=2.5, Q3=2.0, Q4=1.65, and Q5=1.34 for sweets/desserts (serving per 2,000 kcal); Q1=1.05, Q2=1.22, Q3=1.40, Q4=1.61, and Q5=1.90 for poultry (oz. equiv. per 2,000kcal); and Q1=2.63, Q2=0.85, Q3=0.65, Q4=0.53, and Q5=0.43 for eggs (oz. equiv. per 2,000kcal).

5.Scoring is based on the scoring standards used in the American Heart Association (AHA) diet score based on the AHA 2020 Strategic Goals for Diet, corresponding to 80th percentile of intake among U.S. adults in NHANES 1999-2014.

Supplemental Method 4: Group-based multi-trajectory modeling (GBMTM) method

Group-Based Multi-Trajectory Modeling (GBMTM) is an advanced statistical technique used to identify and analyze distinct groups of individuals who follow similar trajectories across multiple outcomes or behaviors over time (11,12). Unlike conventional Group-Based Trajectory Modeling (GBTM), which models the evolution of a single outcome (for example, meat consumption) in isolation, GBMTM allows for the simultaneous modeling of multiple correlated trajectories within a single analytical framework. GBMTM is particularly useful in understanding the co-development of various related behaviors or conditions. This means that it can identify population subgroups that share similar patterns of change across multiple variables over time.

For example, GBMTM can reveal a group of individuals who simultaneously increase their vegetable intake while decreasing their meat consumption, illustrating a coordinated shift in dietary habits. By jointly modeling these outcomes, GBMTM provides a more holistic and realistic understanding of how different aspects of diet and sustainability evolve together, capturing potential synergies or trade-offs that might be overlooked if each variable were analyzed separately.

The parameters of the GBMTM model are estimated using Maximum Likelihood Estimation (MLE). This approach estimates the probability that an individual follows a particular set of trajectories, given their data, and assigns them to the most likely latent class.

GBMTM accommodates missing data through the MLE framework under the assumption that missing values are missing at random (MAR). Participants with incomplete follow-up (e.g., missing dietary data in one or more measurement years) are retained in the analysis if they have at least one non-missing observation across the time points. This approach maximizes the use of available data and reduces potential bias due to attrition. Several criteria are used to determine the optimal number of latent classes, including the Bayesian Information Criterion (BIC), Akaike Information Criterion (AIC), and entropy measures. Then, Individuals are assigned to latent classes based on posterior probabilities, which indicate the likelihood that an individual's observed data corresponds to a particular multi-trajectory pattern.

Supplemental Method 5: EpiDiet Simulation-Based Nutritional and Epidemiologic Model

EpiDiet ("Evaluate the Potential Impact of a Diet") is a simulation-based model designed to assess the nutritional and epidemiologic risks associated with diet. Like other simulation-based risk assessment models (13–15), it integrates modelling, stochastic methods, and optimization techniques to explore the relationships between diet, nutrition, and the risks of non-communicable diseases. The model's primary goal is to quantify the health risks and benefits arising from dietary changes within a population. EpiDiet is built on the Comparative Risk Assessment framework (16), a widely-used approach by organizations such as the EAT-Lancet Commission (17), the World Health Organization (16), and the Global Burden of Disease Study (GBD) (18) to estimate mortality and disability related to various risk factors, including dietary intake, environmental exposure, and nutrient consumption.

As a structural risk assessment tool, EpiDiet incorporates mechanistic and statistical sub-models, covering a broad range of risk factors including nutrition (food, energy, and nutrient intake, and alcohol consumption), lifestyle (sedentary behaviour, physical activity, smoking), and anthropometrics (age, sex, weight, height). It estimates the impact of dietary changes on morbidity and mortality risks from chronic diseases using the standard Potential Impact Fraction formula for dietary factors. The population is stratified by age and sex to account for variations in diet, disease risk, and relative risks between individuals.

In this study, we applied the EpiDiet model to estimate the impact of dietary pattern trajectories on morbidity and mortality risks for the profiles from 2014 to 2022. The model was parameterized with demographic and mortality data specific to the French population in 2014. Demographic data, including age and sex distributions, were obtained from the National Institute of Statistics and Economic Studies (19). The list of diet-related chronic diseases was derived from the GBD Study 2017 (20) and categorized using the 10th revision of the International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems (ICD-10) (21). Input data included the consumption of fruits, vegetables, whole grains, nuts, seeds, milk, red meats, processed meats, sugar-sweetened beverages, legumes, and energy intake (means and standard deviations). The baseline scenario represented the average dietary intake of each food and beverage group per capita within the whole sample (n=17,187) in 2014. Counterfactual scenarios were constructed based on the dietary patterns of the trajectory profiles.

Disability Adjusted Life Years (DALYs), a measure of disease burden, were estimated as the sum of Years of Life Lost (YLLs) and Years Lived with Disability (YLDs). YLLs were calculated based on the number of premature deaths multiplied by standard life expectancy, with data obtained from the Global Burden of Disease Study (20). YLDs were estimated by multiplying YLLs by an age-, sex-, and disease-specific conversion rate, allowing us to bypass the complex procedure of estimating disease duration through dynamic modeling and conservative assumptions (22,23). The model was parameterized using relative risk (RR) values from the Global Burden of Disease Study 2017 (20) associated with specific dietary patterns to calculate potential reductions in disease burden across the trajectory profiles. By comparing DALYs avoided relative to the baseline scenario across time points, we quantified the potential health gains in each profile.

The analysis was conducted in two steps. First, point estimates of DALYs avoided for each profile were calculated for 2014 and 2022, relative to the reference scenario (whole sample in 2014). Positive DALYs avoided values indicate a lower health risk for the profile compared to the whole sample in 2014, while negative values indicate a higher health risk. Second, the change in DALYs avoided over time (2014–2022) was calculated for each profile in relation to the reference scenario. A positive change indicates that dietary modifications within the profile over time (2014–2022) reduced health risk, whereas a negative change reflects an increase in health risk.

Annexes

We further examined the contribution of individual food groups to the variation in DALYs avoided over time. For each profile, the model estimated the effect of changes in food group consumption on DALYs avoided, based on dietary exposures relevant to chronic disease risk. These estimations provided insight into the relative influence of each food group on DALY avoided from 2014 to 2022.

Supplemental Table 1: Sustainability indicators over time (2014-2022) by profile, n = 17,187, NutriNet-Santé Study^{1,2}

Indicators	P0		P1		P2		P3		P4		P5	
	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022	2014	2022
TEI (Kcal/d)	2,040 (2,022; 2,058)	2,005 (1,984; 2,025)	2,201 (2,158; 2,245)	2,131 (2,082; 2,181)	2,218 (2,187; 2,249)	2,072 (2,035; 2,108)	2,155 (2,120; 2,190)	1,996 (1,957; 2,036)	2,027 (2,003; 2,051)	2,083 (2,055; 2,111)	2,307 (2,276; 2,338)	2,240 (2,207; 2,274)
P value	ref	ref	<0.0001	0.15	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.36	<0.0001	<0.0001	0.04
GHG emissions (kg CO₂eq/d)	4.33 (4.28;4.37)	3.81 (3.76;3.86)	4.85 (4.74;4.96)	4.30 (4.17;4.43)	4.39 (4.31;4.47)	3.94 (3.85;4.04)	2.19 (2.10;2.28)	2.09 (1.98;2.19)	3.56 (3.49;3.62)	3.24 (3.16;3.31)	6.53 (6.45;6.61)	5.63 (5.54;5.72)
P value	ref	ref	<0.0001	0.69	0.17	0.17	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
PNNS-GS2	1.76 (1.69;1.83)	2.76 (2.68;2.84)	-0.39 (-0.55;-0.22)	0.19 (0.00;0.39)	0.71 (0.60;0.83)	1.71 (1.57;1.85)	5.43 (5.30;5.56)	6.60 (6.45;6.76)	3.98 (3.89;4.08)	4.46 (4.35;4.57)	-0.40 (-0.52;-0.28)	0.29 (0.17;0.42)
P value	ref	ref	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.98	<0.0001	0.03	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
DALYs avoided	-123,450 (-130,479; -116,421)	-37,087 (-44,193; -29,981)	-193,525 (-200,569; -186,481)	-118,125 (-125,003; -111,246)	-193,725 (-203,583; -183,866)	-57,333 (-66,672; -47,994)	324,272 (312,225; 336,318)	368,475 (358,363; 378,587)	236,587 (230,415; 242,760)	219,867 (213,502; 226,232)	-319,746 (-327,958; -311,534)	-321,063 (-330,403; -311,723)
Proportion of organic food	0.22 (0.22;0.23)	0.30 (0.29;0.31)	0.22 (0.21;0.24)	0.21 (0.19;0.23)	0.15 (0.14;0.16)	0.20 (0.19;0.22)	0.62 (0.60;0.63)	0.68 (0.67;0.70)	0.37 (0.36;0.38)	0.40 (0.39;0.41)	0.16 (0.15;0.17)	0.18 (0.17;0.19)
P value	ref	ref	0.80	<0.0001	<0.0001	0.0002	<0.0001	0.21	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
cDQI	47.77 (47.57;47.97)	54.15 (53.92;54.39)	47.72 (47.22;48.22)	49.64 (49.07;50.20)	42.82 (42.46;43.18)	47.07 (46.65;47.49)	57.17 (56.76;57.57)	61.32 (60.86;61.78)	56.62 (56.35;56.90)	60.50 (60.17;60.82)	46.16 (45.80;46.51)	50.41 (50.02;50.79)
P value	ref	ref	0.8645	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
aDQI	15.04 (14.94;15.14)	15.86 (15.74;15.97)	13.49 (13.25;13.74)	13.49 (13.20;13.77)	15.56 (15.38;15.73)	15.50 (15.29;15.71)	16.21 (16.01;16.41)	16.04 (15.81;16.27)	17.27 (17.13;17.41)	17.71 (17.54;17.87)	14.11 (13.93;14.28)	14.71 (14.52;14.90)
P value	ref	ref	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	0.02
pDQI	32.72 (32.56;32.88)	38.29 (38.10;38.48)	34.21 (33.81;34.62)	36.14 (35.68;36.60)	27.25 (26.96;27.54)	31.55 (31.21;31.88)	40.94 (40.61;41.26)	45.26 (44.89;45.62)	39.34 (39.12;39.56)	42.78 (42.52;43.04)	32.04 (31.75;32.32)	35.71 (35.40;36.02)
P value	ref	ref	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001
Proportion of Plant-based Proteins	0.30 (0.29;0.30)	0.33 (0.32;0.33)	0.29 (0.28;0.29)	0.29 (0.29;0.30)	0.25 (0.25;0.26)	0.30 (0.30;0.31)	0.58 (0.57;0.58)	0.61 (0.60;0.62)	0.35 (0.35;0.36)	0.37 (0.36;0.37)	0.23 (0.23;0.24)	0.25 (0.24;0.25)
P value	ref	ref	0.03	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.71	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Abbreviations: GHG, Greenhouse Gas; PNNS-GS2: Programme National Nutrition Santé-Guidelines Score 2 (adherence to French dietary guidelines score); cDQI, Comprehensive Diet Quality Index; pDQI, plant-based Diet Quality Index; aDQI, animal-based Diet Quality Index; TEI, Total Energy Intake; DALYs, Disability Adjusted Life Years.

¹Values are the least squares means (95%CI) of adjusted scores (sex, age, and total energy intake), except for TEI which was adjusted for sex and age.

²P-values are those of β -coefficients of the fixed-effects models. The p-values in 2014 indicate the significance of the difference in baseline score compared to the reference profile (P0). The p-values in 2022 indicate the significance of the difference in score variation over time (2014-2022) compared to the difference in the reference profile (P0).

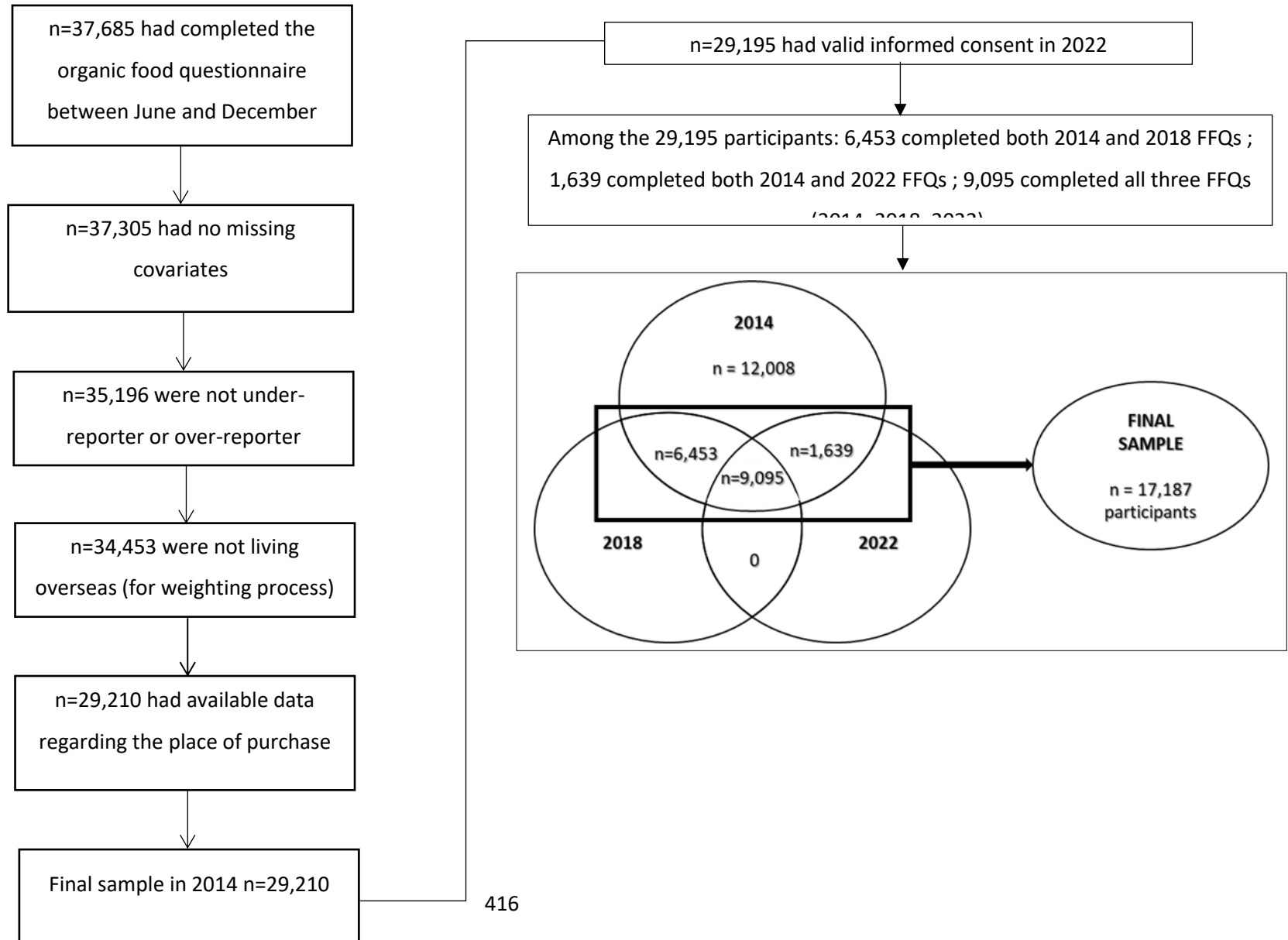
Supplemental Table 2: Food group contributions to the variations (2014-2022) of DALYs avoided by profile, n = 17,187, NutriNet-Santé Study^{1,2}

Food groups	P0			P1			P2			P3			P4			P5		
	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ	2014	2022	Δ
Fruits	-44864	-36451	8413	-58334	-41334	17000	-56465	-14402	42063	30036	44505	14469	94728	74349	-20379	-66486	-76265	-9780
Legumes	-6701	3090	9791	-11506	-13513	-2007	-14874	-16091	-1217	49598	40716	-8881	-5557	4876	10434	-9333	-8297	1036
Milk	-3925	-8926	-5001	-12646	-12509	137	24306	29163	4856	-15811	-13082	2729	-459	-308	1501	-7192	-6297	895
Nuts and seeds	-20935	-10729	10205	-10627	-5159	5468	-24222	-13837	10385	56478	55273	-1205	5119	23011	17891	-26837	-8425	18412
Processed meat	8104	-4617	-12721	-5411	-16177	-10766	4287	-10361	-14648	23457	14829	-8627	16330	-2088	-18418	-17175	-46889	-29714
Red meat	4109	32184	28074	-57088	4901	61989	31268	87794	56526	116861	150598	33737	67373	75390	8018	-127205	-105151	22054
SSB	6445	8164	1720	8742	3837	-4906	-31211	-23425	7786	16300	17152	852	6246	10411	4165	1119	7066	5947
Vegetables	-4755	3797	8552	-11041	-11982	-941	-40267	-41200	-934	26363	22414	-3949	22495	7034	-15461	-13908	-27698	-13791
Whole-grain products	-65738	-26584	39153	-45371	-31789	13583	-100156	-60233	39922	59223	71856	12633	43228	40109	-3119	-73830	-71018	2812
Total DALYs gained	-123450	-37087	86363	-193525	-118125	75400	-193725	-57333	136391	324272	368475	44203	236587	219867	-16720	-319746	-321063	-1317

Abbreviations: P0 to P5 refer to the profile 1 to 5, SSB, Sugar sweetened beverages

¹The deltas represent the difference in DALYs avoided between 2014 and 2022 for each profile, calculated by subtracting the baseline value (2014) from the endpoint value (2022) within each profile.

Supplemental Figure 4: Selection of the study sample



References

1. Kesse-Guyot E, Castetbon K, Touvier M, Hercberg S, Galan P. Relative validity and reproducibility of a food frequency questionnaire designed for French adults. *Ann Nutr Metab.* 2010;57(3–4):153–62.
2. Wiley.com [Internet]. [cited 2024 Nov 4]. Student Solutions Manual to accompany Simulation and the Monte Carlo Method, 2nd Edition | Wiley. Available from: <https://www.wiley.com/en-cn/Student+Solutions+Manual+to+accompany+Simulation+and+the+Monte+Carlo+Method%2C+2nd+Edition-p-9780470285312>
3. Pointereau P, Langevin B, Gimaret M. DIALECTE, a comprehensive and quick tool to assess the agro-environmental performance of farms. Producing and reproducing farming systems New modes of organisation for sustainable food systems of tomorrow 10th European IFSA Symposium, Aarhus, Denmark, 1-4 July 2012 [Internet]. 2012 [cited 2023 Mar 14]; Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133410218>
4. Baudry J, Pointereau P, Seconda L, Vidal R, Taupier-Letage B, Langevin B, et al. Improvement of diet sustainability with increased level of organic food in the diet: findings from the BioNutriNet cohort. *The American Journal of Clinical Nutrition.* 2019 Apr;109(4):1173–88.
5. Seconda L, Baudry J, Allès B, Boizot-Szantai C, Soler LG, Galan P, et al. Comparing nutritional, economic, and environmental performances of diets according to their levels of greenhouse gas emissions. *Climatic Change.* 2018 May;148(1–2):155–72.
6. Chaltiel D, Adjibade M, Deschamps V, Touvier M, Hercberg S, Julia C, et al. Programme National Nutrition Santé – guidelines score 2 (PNNS-GS2): development and validation of a diet quality score reflecting the 2017 French dietary guidelines. *Br J Nutr.* 2019 Aug;122(03):331–42.
7. HCSP. Statement related to the revision of the 2017-2021 French Nutrition and Health Programme’s dietary guidelines for adults [Internet]. Rapport de l’HCSP. Paris: Haut Conseil de la Santé Publique; 2017 Feb [cited 2025 Apr 18]. Available from: <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=653>
8. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr.* 1985;39 Suppl 1:5–41.
9. Kesse-Guyot E, Chaltiel D, Fezeu LK, Baudry J, Druesne-Pecollo N, Galan P, et al. Association between adherence to the French dietary guidelines and the risk of type 2 diabetes. *Nutrition.* 2021 Apr;84:111107.
10. Keaver L, Ruan M, Chen F, Du M, Ding C, Wang J, et al. Plant- and animal-based diet quality and mortality among US adults: a cohort study. *Br J Nutr.* 2021 Jun 28;125(12):1405–15.
11. Nagin DS, Jones BL, Passos VL, Tremblay RE. Group-based multi-trajectory modeling. *Stat Methods Med Res.* 2018 Jul;27(7):2015–23.
12. Harvard University Press [Internet]. [cited 2024 Aug 27]. Group-Based Modeling of Development. Available from: <https://www.hup.harvard.edu/books/9780674016866>
13. Scarborough P, Harrington RA, Mizdrak A, Zhou LM, Doherty A. The Preventable Risk Integrated Model and Its Use to Estimate the Health Impact of Public Health Policy Scenarios. *Scientifica.* 2014;2014(1):748750.
14. Moreira PVL, Baraldi LG, Moubarac JC, Monteiro CA, Newton A, Capewell S, et al. Comparing Different Policy Scenarios to Reduce the Consumption of Ultra-Processed Foods in UK: Impact on Cardiovascular Disease Mortality Using a Modelling Approach. *PLoS ONE.* 2015 Feb 13;10(2):e0118353.

15. Grieger JA, Johnson BJ, Wycherley TP, Golley RK. Evaluation of Simulation Models that Estimate the Effect of Dietary Strategies on Nutritional Intake: A Systematic Review. *J Nutr*. 2017 May;147(5):908–31.
16. Murray CJL, Lopez AD. Measuring the Global Burden of Disease. *New England Journal of Medicine*. 2013 Aug 1;369(5):448–57.
17. Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, et al. Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*. 2019 Feb 2;393(10170):447–92.
18. Steinmetz JD, Seeher KM, Schiess N, Nichols E, Cao B, Servili C, et al. Global, regional, and national burden of disorders affecting the nervous system, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet Neurology*. 2024 Apr 1;23(4):344–81.
19. Évolution et structure de la population en 2014 | Insee [Internet]. [cited 2024 Oct 29]. Available from: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2862200>
20. James SL, Abate D, Abate KH, Abay SM, Abbafati C, Abbasi N, et al. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*. 2018 Nov 10;392(10159):1789–858.
21. Classification internationale des maladies (CIM) | CépiDc [Internet]. [cited 2024 Oct 29]. Available from: <https://www.cepiddc.inserm.fr/causes-medicales-de-deces/classification-internationale-des-maladies-cim>
22. Barendregt JJ, van Oortmarsen GJ, Vos T, Murray CJ. A generic model for the assessment of disease epidemiology: the computational basis of DisMod II. *Population Health Metrics*. 2003 Apr 14;1(1):4.
23. Briggs ADM, Cobiac LJ, Wolstenholme J, Scarborough P. PRIMETIME CE: a multistate life table model for estimating the cost-effectiveness of interventions affecting diet and physical activity. *BMC Health Services Research*. 2019 Jul 16;19(1):485.

Abstract

Addressing the challenge of reconciling health, environmental, economic, and social objectives, this thesis adopts a sustainability perspective that accounts for both the diversity of targets and the practical conditions for their achievement. It is structured around the concept of a “sustainability pathway”, conceived as a progressive and differentiated trajectory, and a bottom-up approach rooted in observed dietary behaviors. In the French context, prevailing dietary patterns remain distant from optimal models, while top-down policies have shown limited effectiveness in driving the required transformations.

Within this framework, the present thesis addresses two primary objectives: (1) to characterize the distinct dietary trajectories observed among French adults between 2014 and 2022, examining their determinants and their implications for nutritional, health, environmental, and, to a lesser extent, economic sustainability ; and (2) to identify, for each of these profiles, optimal dietary patterns capable of achieving a stable, sustainable, and desirable state for French society. Adopting a firmly bottom-up perspective, the study seeks to provide targeted, realistic, and context-specific recommendations to guide and accelerate the transition towards an optimal sustainability pathway.

A longitudinal analysis of dietary practices among more than 17,000 French adults from the NutriNet-Santé cohort, followed over nearly a decade, indicates that a sustainable dietary transition has begun in France, yet remains partial, heterogeneous, and shaped by social disparities. Multi-criteria optimization applied to these profiles demonstrates that substantial greenhouse gas emission reductions are attainable from the early stages of the pathway. In particular, the scenario assigning a moderate weight to environmental objectives achieves reductions of up to -64%, without major deviations from existing dietary habits and while meeting nutritional standards. This intermediate scenario represents a practical compromise, aligned with the principles of a gradual transition.

These findings underscore the importance of approaching food system sustainability through the lens of contextual diversity and the specific constraints faced by different groups, rather than relying on uniform strategies. They indicate that multiple pathways toward more sustainable diets are feasible, provided their internal balances are preserved, thereby opening the door to gradual, demand-focused actions capable of fostering lasting transformations in the food supply.

Key words : Sustainable dietary transition, dietary trajectory profiles, socioeconomic factors, social inequalities, environmental pressures, diet quality, health risk, food expenditure, optimal diets.

Résumé

Face à la nécessité de concilier objectifs sanitaires, environnementaux, économiques et sociaux, cette thèse adopte une perspective de durabilité intégrant à la fois la diversité des finalités et les conditions concrètes de leur atteinte. Elle s'appuie sur la notion de « sentier de durabilité », envisagé comme une trajectoire progressive et différenciée, et sur une approche ascendante (« *bottom-up* ») ancrée dans les comportements alimentaires observés. En France, les régimes actuels restent éloignés des modèles optimaux, et les politiques descendantes peinent à induire les changements nécessaires.

Dans ce cadre, la présente thèse poursuit deux objectifs principaux : (1) caractériser, au sein de la population adulte française, les trajectoires distinctes de consommation observées entre 2014 et 2022, en analysant leurs déterminants et leurs effets sur la durabilité nutritionnelle, sanitaire, environnementale et, dans une moindre mesure, économique ; (2) identifier, pour ces différents profils, des régimes optimaux susceptibles de constituer un état stable, soutenable et désirable pour la société française. L'approche adoptée, résolument ascendante, vise à formuler des recommandations ciblées, réalistes et adaptées pour accompagner et accélérer la transition vers un sentier optimal de durabilité.

L'analyse longitudinale des pratiques alimentaires de plus de 17 000 adultes français de la cohorte NutriNet-Santé, suivis sur près de dix ans, met en évidence qu'une transition alimentaire durable est amorcée en France, mais qu'elle demeure partielle, hétérogène et marquée par des différences sociales. L'optimisation multicritère réalisée à partir de ces profils montre qu'une baisse significative des émissions de gaz à effet de serre est envisageable dès les premières étapes du sentier. Ainsi, le scénario qui accorde un poids modéré à l'environnement, permet une réduction des émissions allant jusqu'à -64 %, sans rupture majeure avec les habitudes existantes et dans le respect des contraintes nutritionnelles. Ce scénario intermédiaire illustre un compromis réalisable, compatible avec une transition progressive.

Ces résultats soulignent la nécessité d'une durabilité alimentaire pensée à partir de la diversité des contextes et des contraintes propres à chaque groupe de consommateurs, plutôt que sur des approches uniformes. Ils montrent que plusieurs trajectoires sont possibles vers des régimes plus durables, à condition d'en respecter les équilibres, ouvrant ainsi la voie à des actions progressives ciblant d'abord la demande pour transformer durablement l'offre.

Mots-clés : transition alimentaire durable, profils de trajectoires alimentaires, facteurs socio-économiques, inégalités sociales, pressions environnementales, qualité de l'alimentation, risque sanitaire, dépenses alimentaires, régimes optimaux.