



Comment concilier nutrition et climat ?

Pour la prise en compte des enjeux
environnementaux dans le Programme
National Nutrition Santé

ÉTUDE CONJOINTE DU RÉSEAU ACTION CLIMAT
ET DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE NUTRITION

Table des matières

Table des matières	2
Avant-propos	5
Lexique	7
Introduction	9
1. Pour limiter les impacts environnementaux de notre système alimentaire, la transition vers une alimentation moins carnée et plus végétale est nécessaire	9
2. Une transition des régimes alimentaires qui n'est pas véritablement amorcée malgré une prise de conscience croissante	10
3. Les recommandations de consommation alimentaire, un levier important pour accompagner l'évolution des régimes alimentaires	12
4. La nécessité de prendre en compte les enjeux environnementaux dans l'élaboration des recommandations de consommation alimentaire	14
5. La prochaine révision des recommandations du PNNS doit intégrer les enjeux environnementaux	16
Partie 1 - Liens entre alimentation et santé : Actualisation des connaissances et synthèse des recommandations pour préserver la santé	19
1. Modalités de traitement et organisation de la synthèse	19
1.1. Définition du périmètre bibliographique	19
1.2. Analyse bibliographique	19
1.3. Présentation et compréhension des résultats	19
2. État des lieux synthétique sur les bénéfices et risques pour la santé liés à la consommation des principaux groupes d'aliments vecteurs de protéines et/ou de calcium	20
2.1. La viande	20
2.2. Les produits laitiers	28
2.3. Les légumineuses	34
2.4. Les produits céréaliers	36
2.5. Les fruits et légumes	38
3. Présentation du PNNS 4 et comparaison des recommandations alimentaires aux données de consommation réelle dans la population française (INCA3)	42
Partie 2 - Les régimes alimentaires proposés par les scénarios de systèmes alimentaires durables	45
1. La nécessité de prendre en compte les enjeux environnementaux pour une alimentation à la fois saine et durable	45
2. État des lieux des régimes alimentaires dans les modèles et scénarios prospectifs de systèmes agricoles et alimentaires durables	47
2.1. Le « régime planétaire » de la commission EAT-Lancet	48
2.2. Le scénario Afterres2050 de Solagro	50
2.3. Le scénario TYFA-GES de l'IDDR	52
2.4. Le scénario Pulse Fiction du WWF France	54
2.5. Les scénarios Transition(s) 2050 de l'ADEME	56
2.3. Bilan des régimes proposés par les scénarios de systèmes alimentaires durables	59

Partie 3 - État des lieux de la prise en compte des enjeux environnementaux dans les recommandations alimentaires des différents pays 61

1. La prise en compte des enjeux environnementaux dans les guides alimentaires : une dynamique récente en forte progression	61
2. Analyse comparative des recommandations alimentaires des pays prenant en compte les enjeux environnementaux	66
2.1. Comparaison des quantités et fréquences recommandées par catégorie d'aliments	66
2.2. Points communs des recommandations alimentaires des pays prenant en compte les enjeux environnementaux	73
3. Des pays qui placent les enjeux environnementaux au cœur de leur guide alimentaire	79
3.1. Une section « Faire la différence pour sa santé et pour le climat » associée à chacune des recommandations danoises	79
3.2. Les aspects environnementaux omniprésents dans le guide alimentaire de la Flandre	80
3.3. Des sections « Ce que doit contenir une alimentation saine et durable » dans les recommandations espagnoles	82
3.4. Des recommandations justifiées par des arguments d'ordre nutritionnel et environnemental dans le guide alimentaire suédois	83
4. Points communs et différences entre les recommandations des guides alimentaires intégrant les enjeux environnementaux et celles du PNNS 4	85
4.1. Les catégories de produits dont les recommandations sont globalement similaires	85
4.2. Les catégories d'aliments dont les recommandations vont dans le même sens, mais avec des curseurs variables	86
5. Conclusion des parties 2 et 3	88

Partie 4 - Modélisation de régimes compatibles avec les enjeux nutritionnels et environnementaux, avec deux fois de moins de viande qu'aujourd'hui 90

1. Objectif de l'approche de modélisation conduite dans cette étude	90
2. Choix de l'approche et des données	90
2.1. Choix de l'approche	90
2.2. Choix des données	95
3. Méthodes	98
3.1. Critères de regroupement des aliments au sein des items alimentaires	98
3.2. Croisement des bases de données et calcul de la diète moyenne	101
3.3. Définition des modèles d'optimisation	101
4. Résultats	120
4.1. Réduction d'impact carbone et des autres indicateurs environnementaux, et contenu en groupes d'aliments, des diètes optimisées avec les 17 modèles	120
4.2. Sélection de deux diètes optimisées parmi les 17 générées	122
4.3. Composition en aliments de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées, n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35)	125
4.4. Caractéristiques nutritionnelles de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées n°10 et n°14	131
4.5. Caractéristiques environnementales et coût de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées	132
4.6. Information synthétique sur la composition en aliments de la diète observée et	

des deux diètes optimisées sélectionnées	134
4.7. Résultats complémentaires : compositions alimentaires et nutritionnelles détaillées de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées	136
5. Discussion	143
5.1. Rappel des résultats des modélisations	143
5.2. Forces et limites de la méthode et des données	143
5.3. Discussion autour des spécifications des modèles et des résultats obtenus	147
5.4. Quelques forces de l'étude	165
6. Conclusion de la partie 4	167
Conclusion et recommandations	168
1. Propositions pour intégrer les enjeux environnementaux dans l'élaboration des recommandations du PNNS : Pour un Plan National Nutrition Santé Climat	170
1.1. Recommandations sur la consommation de viande et de charcuterie	170
1.2. Recommandation sur la consommation de légumineuses	172
1.3. Recommandation sur la consommation de fruits à coque	173
1.4. Recommandation sur la consommation de produits laitiers	174
1.5. Recommandation sur la consommation de fruits et légumes	175
1.6. Recommandation sur la consommation de produits céréaliers	176
1.7. Recommandation sur la consommation de poisson	176
2. Recommandations pour les instances en charge de la politique de l'alimentation	177
2.1. Recommandations concernant le PNNS	177
2.2. Recommandations d'autres mesures et politiques publiques	179

NB : les figures et tableaux seront numérotés séparément au sein de chaque partie (tableaux 1.1, 1.2, etc. dans la partie 1 ; figures 2.1, 2.2, etc. dans la partie 2 ; etc.)

Avant-propos

Ce rapport est le fruit d'une collaboration entre le Réseau Action Climat et la Société Française de Nutrition (SFN), avec l'appui méthodologique et technique du bureau d'études MS Nutrition pour la partie 4. Ce rapport a bénéficié d'un soutien financier de la part du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (MTECT), et fait l'objet d'une synthèse disponible en ligne sur les sites du Réseau Action Climat et de la Société Française de Nutrition.

Le [Réseau Action Climat](#), fédération de 37 associations nationales et locales, lutte contre les causes du changement climatique, de l'échelle internationale à l'échelle locale. Il est le représentant français du Climate Action Network International, réseau mondial de plus de 1300 ONG. Il couvre l'ensemble des secteurs responsables du dérèglement climatique : les transports, la production d'énergie, l'agriculture et l'alimentation, l'habitat, l'industrie lourde et travaille à l'élaboration de mesures alternatives et ambitieuses pour lutter contre le changement climatique et ses impacts.

La [Société Savante de Nutrition](#) est une Société Savante organisée en association de loi 1901, reconnue d'utilité publique, qui pense la nutrition sur un mode transdisciplinaire et durable. Elle est un lieu d'échanges entre toutes les disciplines touchant à l'alimentation et la nutrition tant au niveau national qu'international. Elle réunit des experts du secteur public et privé dont le dialogue conduit à des avancées en santé publique. Ses principaux objectifs sont de promouvoir la Nutrition dans tous ses champs d'application, contribuer à la formation et à l'information dans le domaine de la Nutrition, contribuer au progrès des connaissances en Nutrition, notamment en soutenant financièrement la recherche.

Le bureau d'études [MS Nutrition](#) met au service de la recherche en nutrition son expertise unique en statistiques et en modélisation, particulièrement dans le champ de l'alimentation durable. L'entreprise est hébergée par le laboratoire C2VN « Centre de recherche en Cardiovasculaire et Nutrition » (INRAE/INSERM/AMU) au sein de la faculté de médecine de la Timone à Marseille.

Crédits

Coordination générale : Benoit Granier, responsable alimentation au Réseau Action Climat.

Coordination pour la SFN : Professeure Isabelle Niot, Département Sciences des Aliments – Nutrition, Institut Agro Dijon, membre du CA de la SFN ; Professeur Jacques Delarue, Département de Nutrition, CHRU/Faculté de Médecine/Université de Brest & ER 7479 SPURBO, Président de la SFN.

Rédaction : Nicole Darmon, Directrice de Recherche Honoraire à INRAE, Département Alimentation Humaine, UMR MOISA (MOntpellier Interdisciplinary research center on Sustainable Agri-food systems), membre de la SFN ; Benoit Granier, Réseau Action Climat ; Béatrice Morio, Directrice de Recherche à INRAE, Département Alimentation Humaine, UMR CarMeN (Cardiovasculaire, Métabolisme, Diabète et Nutrition) et Vice-présidente de la SFN. Avec l'appui technique et méthodologique de MS-Nutrition pour la partie 4 du rapport.

Relecture de tout ou partie du rapport : tous ainsi que Aurélie Wilfart, INRAE ; Emmanuelle Kesse-Guyot, INRAE et SFN ; Marie-Josèphe Amiot Carlin, INRAE et SFN ; Emmanuelle Reboul, INRAE et SFN ; Elyne Etienne et Louise Le Provost, Fondation pour la Nature et l'Homme ; Isabelle Marx, WWF France.

Remerciements aux étudiants de la formation Nutrisensas de l’Institut Agro Dijon, Benjamin Trocello, Quentin Escudie-Maggi et Gwenaëlle Imacabe pour leur contribution au rapport.

Ce document est soumis aux droits d'auteur, mais peut être utilisé librement à des fins de campagne, d'éducation et de recherche moyennant mention complète de la source : Réseau Action Climat et Société Française de Nutrition, 2024, *Comment concilier nutrition et climat ? Pour la prise en compte des enjeux environnementaux dans le Programme National Nutrition Santé*.

Lexique

Liste des sigles

ACV : Analyse du Cycle de Vie

ADEME : Agence de la transition écologique

AG : Acide Gras

AGS : Acides Gras Saturés

ALA : Acide α -linolénique

ANSES : Agence Nationale Sécurité Sanitaire Alimentaire Nationale

AS : Apport Satisfaisant

BNM : Besoin Nutritionnel Moyen

CNA : Conseil National de l'Alimentation

DHA : Acide docosahexaénoïque

EFSA : European Food Safety Agency

EPA : Acide eicosapentaénoïque

FAO : Food Administration Organization

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

HCSP : Haut Conseil de la Santé Publique

I4CE : Institut de l'Économie pour le Climat

IC : Impact Carbone

IDDRI : Institut du Développement Durable et des Relations Internationales

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

IR : Intervalle de Référence

LSS : Limite Supérieure de Sécurité

PL : Produits Laitiers

PNNS : Programme National Nutrition Santé

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

RNP : Référence Nutritionnelle pour la Population

SNANC : Stratégie Nationale pour l'Alimentation, la Nutrition et le Climat

SNBC : Stratégie Nationale Bas Carbone

VNR : Valeurs Nutritionnelles de Référence

WHO : World Health Organization

Lexique général

Fruits à coque : terme préféré à « fruits secs » et à « fruits oléagineux » pour désigner les noix, amandes, noisettes, noix de cajou, noix de pécan, noix de macadamia, noix du Brésil, etc.

Guides alimentaires : dans ce rapport, ce terme désigne les documents officiels regroupant les recommandations de consommation alimentaire (ou recommandations alimentaires) pour la population. Selon les pays, ces recommandations peuvent être présentées dans un seul ou dans plusieurs documents spécifiques destinés au grand public, aux professionnels de santé ou à la communauté scientifique.

Légumes secs ou légumineuses : ces deux termes sont employés comme des synonymes dans ce rapport, et regroupent les aliments comme les lentilles, les pois chiches, les pois cassé, les haricots secs (haricots rouges, haricots blancs, haricots tarbais, etc.). Nous n'avons pas inclus dans cette catégorie le soja et les dérivés du soja (tofu, miso, etc.), qui ne sont pas non plus cités par le PNNS parmi les exemples de légumes secs.

Produits laitiers : ce terme désigne des produits différents selon le contexte dans lequel il est utilisé (agronomie, écologie, nutrition...). Dans le cadre de ce rapport nous considérons les « produits laitiers au sens large », incluant le lait, les produits laitiers frais (yaourt, fromage blanc, etc.) et les fromages, qu'ils soient consommés comme aliments ou comme ingrédients, ainsi que les desserts lactés. Les recommandations de consommation du PNNS pour cette catégorie sont plus restrictives car elles n'incluent pas les desserts lactés et ne mentionnent pas explicitement les produits laitiers utilisés comme ingrédients. La crème fraîche et le beurre sont quant à eux classés dans les matières grasses.

Viande rouge : il s'agit de l'ensemble des viandes de ruminants (bœuf, veau, mouton, agneau, cheval...) et de la viande porcine.

Viande transformée : terminologie peu employée en France, où le terme « charcuterie » est privilégié, ce terme est issu de l'anglais « processed food ». De périmètre variable selon les sources et les usages, le terme « viande transformée » comprend, outre la charcuterie, des produits comme la saucisse, les viandes séchées, les cordons bleus, les nuggets de poulet ou encore le kebab et les hamburgers, etc.

Volailles : il s'agit de l'ensemble des oiseaux d'élevage, incluant le poulet, la dinde, la pintade, le canard, l'oie ou encore la caille.

Introduction

1. Pour limiter les impacts environnementaux de notre système alimentaire, la transition vers une alimentation moins carnée et plus végétale est nécessaire

Ces dernières années ont donné à voir les effets dramatiques de la crise climatique sur les sociétés humaines : vagues de chaleur, inondations, sécheresses, tempêtes et autres événements extrêmes. Plus généralement, les conséquences des activités humaines sur les milieux naturels (air, eau, sols) et sur la biodiversité sont de plus en plus graves et visibles : 6 des 9 limites planétaires étaient déjà franchies en 2023¹.

Aux côtés de l'énergie, de l'industrie et des transports, l'alimentation fait partie des secteurs dont les impacts environnementaux sont particulièrement importants. En cause : l'intensification des pratiques agricoles à l'origine d'une forte utilisation d'engrais de synthèse et de produits phytosanitaires, responsables de perturbations des cycles de l'azote et du phosphore, de pollutions des milieux naturels et d'un important déclin de la biodiversité². L'augmentation de la production et de la consommation de produits d'origine animale, associée à l'industrialisation des modes d'élevage au cours de la seconde moitié du XXème siècle, a contribué à ce recours croissant aux intrants de synthèse, pour produire de l'alimentation pour les animaux. En ce qui concerne le changement climatique, on estime que le système agricole et alimentaire est responsable de 34 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial³, en raison principalement des émissions de méthane issues des ruminants et des émissions de protoxyde d'azote issues des engrains de synthèse et des effluents d'élevage.

Au niveau national, l'alimentation représente 22 % de l'empreinte carbone de la France. 60 % de ces émissions proviennent de la production, au niveau agricole, des aliments que nous consommons (voir figure 1 page suivante).

¹ Les 9 limites planétaires sont le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, la perturbation des cycles de l'azote et du phosphore, le changement d'usage des sols, le cycle de l'eau douce, l'introduction d'entités nouvelles dans la biosphère, l'acidification des océans, l'appauvrissement de la couche d'ozone et l'augmentation de la présence d'aérosols dans l'atmosphère. En septembre 2023, seules les trois dernières limites n'avaient pas été franchies. Pour en savoir plus, voir la [page du Commissariat général au développement durable dédiée aux limites planétaires](#).

² IPES-Food (2017), [Unravelling the Food–Health Nexus: Addressing practices, political economy, and power relations to build healthier food systems](#).

³ Crippa M. et al. (2021). [Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions](#). *Nature Food*, 2, 198-209.

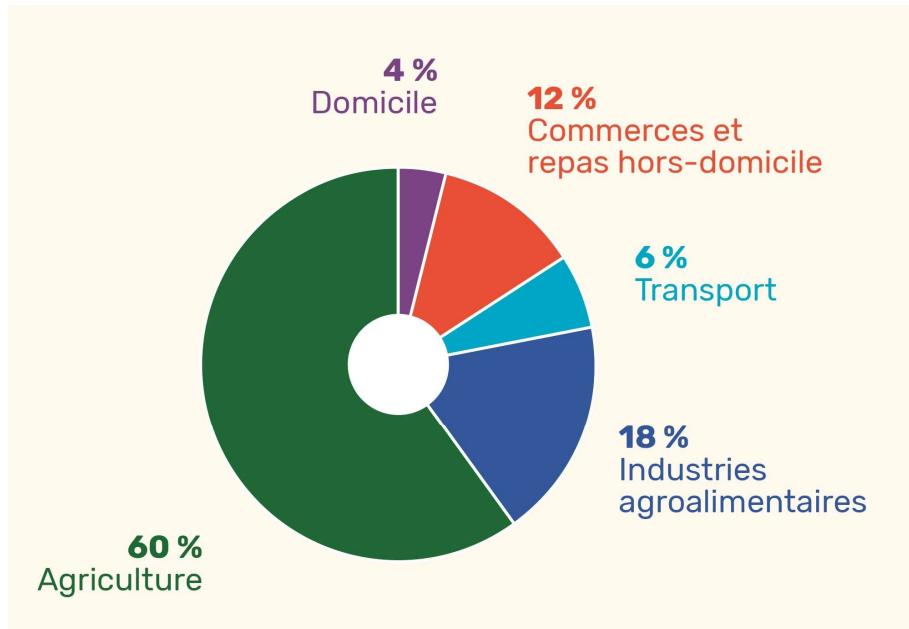


Figure 1 : Part des différents postes d'émissions de gaz à effet de serre issues de l'alimentation en France⁴

Les travaux scientifiques de ces dernières années convergent donc sur la nécessité d'une transition vers des modes de production agroécologiques et vers des régimes alimentaires durables. Comme détaillé dans la deuxième partie du rapport, les scénarios prospectifs s'accordent assez largement sur les caractéristiques de ces régimes alimentaires : moins riches en produits d'origine animale⁵ (en viande tout particulièrement) et en aliments ultra-transformés, et plus riches en aliments végétaux (fruits et légumes, légumineuses, fruits à coque, céréales complètes). Ces scénarios convergent notamment sur une réduction importante de la consommation de viande dans la plupart des pays occidentaux, de l'ordre de 50 % en ce qui concerne la France.

2. Une transition des régimes alimentaires qui n'est pas véritablement amorcée malgré une prise de conscience croissante

Cette nécessaire transition des régimes alimentaires ne semble pas encore enclenchée à l'heure actuelle. Au niveau mondial, on observe une augmentation de la consommation de produits d'origine animale, avec une tendance dans de nombreux pays d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Asie à aller vers des régimes alimentaires occidentaux. En France, après deux

⁴ D'après : Sdes (2022). [La décomposition de l'empreinte carbone de la demande nationale de la France par postes de consommation : transport, alimentation, habitat, équipements et services](#), Document de travail n°59, p.32. Pour rappel, les figures et tableaux font l'objet d'une numérotation spécifique au sein de chaque partie.

⁵ La consommation de produits d'origine animale représente 61 % de l'empreinte carbone de notre alimentation (boissons incluses). Source : [myCO2 par Carbone 4 d'après le ministère de la Transition écologique, le Haut Conseil pour le Climat, le CITEPA, Agribalyse V3 et INCA3](#).

décennies de baisse entre 1990 et 2012, la consommation de viande par habitant affiche une légère hausse depuis une dizaine d'années : elle a progressé d'un peu plus de 2 % entre 2013 et 2022^{6,7}.

L'évolution est toutefois variable en fonction du type de viande : si les consommations par habitant de viandes de ruminants (bœuf, veau, agneau, etc.) et de porc ont continué à diminuer dans les années 2010, la dynamique est toute autre concernant la volaille. La consommation de poulet par habitant en France a en effet plus que doublé entre 2000 et 2022. A remarquer toutefois que la consommation de viande rouge par habitant a enregistré une légère hausse ces deux dernières années⁶. Il convient par ailleurs de noter qu'en moyenne, plus de 30 % de la viande consommée en France en 2022 était importée (dont plus de 50 % pour le poulet). La tendance est à la hausse ces dernières années : les importations de viande ont augmenté de 11,5 % en 2022 par rapport à 2021, dont une hausse de 23 % pour la viande bovine⁶.

Au final, la quantité de viande consommée par habitant en France est aujourd'hui deux fois supérieure à la moyenne mondiale⁸. À l'inverse, la consommation de fruits et légumes et de sources végétales de protéines (légumineuses en particulier) est largement insuffisante par rapport aux recommandations, et leur tendance n'est pas à la hausse⁹. La consommation de légumineuses, qui a été divisée par 4 au cours des 20 dernières années, est deux fois moins élevée que la moyenne européenne et quatre fois moins que la moyenne mondiale¹⁰.

Ces données sur les consommations effectives sont en décalage avec un certain nombre d'enquêtes déclaratives indiquant que les Français ont davantage la volonté et l'impression de consommer moins de viande et plus de sources végétales de protéines¹¹. Par exemple, en 2023, 57 % des Français affirmaient avoir réduit leur consommation de viande au cours des trois dernières années¹². En 2020, 24 % des Français se déclaraient même flexitariens¹³. Ce décalage entre perceptions et consommations effectives s'explique notamment par le fait que si les achats de pièces de viande des ménages pour la consommation à domicile sont effectivement en diminution, ceux-ci ont été compensés par la progression de la consommation de viande en restauration hors-domicile et dans les plats préparés achetés dans le commerce ou livrés à domicile, qui ne sont pas toujours considérés comme étant « de

⁶ FranceAgriMer (2023). [La consommation de viandes en France en 2022](#), n°412.

⁷ I4CE (2023). [Réduction de la consommation de viande : des politiques publiques bien loin des objectifs de durabilité](#). L'étude de I4CE s'appuie sur les bilans d'approvisionnement établis par FranceAgriMer et inclut la viande consommée dans la restauration hors-domicile et les plats préparés achetés dans le commerce ou livrés à domicile.

⁸ [Un Français consomme deux fois plus de viande que la moyenne mondiale](#), Le Monde, 1^{er} juin 2023.

⁹ [Fruits et légumes : des achats en baisse et une filière sous tension](#), LSA, 12 mai 2022. Cette tendance à la baisse sur les derniers mois s'explique en particulier par la forte inflation sur les produits alimentaires, en particulier sur les fruits et légumes frais.

¹⁰ Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire (2022). [Une assiette avec plus de lentilles, haricots, fèves et pois chiche](#), ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, 3 mars.

¹¹ Seconda, L., Salmon Legagneur A., & Hébel P. (2021). [Renversement de tendance : les Français végétalisent leur alimentation](#), CREDOC, Consommation & Modes de Vie N°CMV315.

¹² Harris Interactive (2023). [Baromètre sur la consommation de la viande : quelles nouvelles attentes ?](#).

¹³ Enquête IFOP pour FranceAgriMer (2021). [Végétariens et flexitariens en France en 2020](#).

la viande » par les enquêtés¹⁴. Ce décalage peut aussi être expliqué par le fait que, en France, une partie importante de la population a tendance à penser que la volaille n'est pas (vraiment) de la viande au même titre que la viande rouge¹⁵, si bien que la réduction bien réelle de la consommation de viande rouge est perçue comme une réduction de la consommation de viande, alors même que la consommation de volaille progresse.

Tout cela démontre que la transition vers des régimes alimentaires durables ne pourra pas avoir lieu sans la mobilisation des acteurs publics comme privés pour faire évoluer les représentations et les habitudes alimentaires des Français¹⁶. Les pouvoirs publics disposent pour ce faire d'une large panoplie d'instruments, parmi lesquels figurent les recommandations officielles de consommation alimentaire du Programme National Nutrition Santé (PNNS).

3. Les recommandations de consommation alimentaire, un levier important pour accompagner l'évolution des régimes alimentaires

En 2022, 83 pays avaient établi des référentiels pour définir les caractéristiques d'une alimentation saine et équilibrée sur le plan nutritionnel, et élaboré des recommandations de consommation alimentaire pour leur population¹⁷. Parmi ces pays figure la France, dont les recommandations établies dans le Programme National Nutrition Santé (PNNS) sont accessibles sur le site mangerbouger.fr. Elles sont notamment communiquées au grand public par l'intermédiaire de campagnes de communication et de messages relayés sur les publicités alimentaires (« consommez 5 fruits et légumes par jour » ou « évitez de manger trop gras, trop sucré et trop salé »). Les principales recommandations alimentaires du PNNS en vigueur (le PNNS 4, couvrant la période 2019-2023) sont synthétisées dans l'encadré page suivante.

¹⁴ Laisney, C. (2023). [Les Français consomment-ils vraiment moins de viande ?](#), article pour *Strip Food*, 11 avril.

¹⁵ Méchin, C. (1997). « La symbolique de la viande », dans Paillat, M. (sous la direction de). *Le mangeur et l'animal. Mutations de l'élevage et de la consommation*. Autrement, Coll. Mutations/Mangeurs, N°172, Paris ; Faustine Régnier, communication personnelle, 2023.

¹⁶ I4CE (2023). [Réduction de la consommation de viande : des politiques publiques bien loin des objectifs de durabilité](#) ; IDDRI (2023). [Environnement, inégalités, santé : quelle stratégie pour les politiques alimentaires françaises ?](#)

¹⁷ James-Martin, G, et al. (2022). [Environmental sustainability in national food-based dietary guidelines: a global review](#). *Lancet Planet Health*, Dec;6(12):e977-e986.

Les principales recommandations alimentaires du PNNS 4 pour les adultes de moins de 65 ans (hors femmes enceintes ou allaitantes)

Viande : maximum 500 g de viande hors volaille et maximum 150 g de charcuterie par semaine (soit maximum 650 g au total) ; recommandation de privilégier la volaille vis-à-vis des autres viandes

Légumineuses : au moins 2 fois par semaine

Fruits à coque (non salés) : une petite poignée par jour (soit 15 g environ)

Produits laitiers : 2 par jour

Fruits et légumes : au moins 5 portions par jour

Produits céréaliers complets : au moins 1 par jour

Poisson : 2 fois par semaine, dont un poisson gras

Limiter les aliments gras sucrés salés, ultra-transformés et avec un Nutriscore D et E

Privilégier, dans la mesure du possible, les aliments bio

Voir l'ensemble détaillé des recommandations du PNNS sur mangerbouger.fr

Plusieurs articles scientifiques¹⁸, ainsi que des publications récentes de l'Alliance européenne de Santé publique (EPHA)¹⁹, du Bureau européen des unions de consommateurs (BEUC)²⁰ et de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)²¹ soulignent le rôle important, à plusieurs égards, de ces recommandations pour faire évoluer les pratiques de consommation alimentaire.

En premier lieu, ces recommandations permettent d'améliorer les connaissances de la population sur ce que constitue une alimentation équilibrée. Ces recommandations sont en effet traduites en campagnes de communication publiques (télévision, radio, réseaux sociaux, etc.), en messages d'information (par exemple en France dans les catalogues de promotion des supermarchés et dans les publicités audiovisuelles pour les produits alimentaires) et sous forme d'infographies disponibles en ligne et affichées dans les salles d'attente des médecins et autres professionnels de santé. Ces recommandations de consommation alimentaire sont également transmises à la population directement par les professionnels de santé

¹⁸ James-Martin, G., et al. (2022). [Environmental sustainability in national food-based dietary guidelines: a global review](#). *Lancet Planet Health*, Dec;6(12):e977-e986 ; De Boer, J., & Aiking, H. (2021). [Favoring plant instead of animal protein sources: Legitimation by authority, morality, rationality and story logic](#). *Food Quality and Preference*, Volume 88, 104098 ; Springman, M., et al. (2020). [The healthiness and sustainability of national and global food based dietary guidelines: modelling study](#). *BMJ*, 370:m2322.

¹⁹ EPHA (2021). [Dietary guidelines for co-benefits: a case for European action](#).

²⁰ BEUC, EPHA & Eurogroup for Animals (2023). [THE ILLUSION OF CHOICE. Why someone already decided what you will eat for lunch](#).

²¹ FAO (2023). [Achieving Sustainable Development Goal 2 \(SDG2\) without Breaching the 1.5°C Threshold: A global roadmap](#), p.19.

(diététiciens, médecins, nutritionnistes, etc.) et par l'intermédiaire du personnel enseignant en milieu scolaire.

Ces différents vecteurs de communication présentent une réelle efficacité en matière de pédagogie : à titre d'exemple, 85 % des Français sont familiers avec l'incitation à manger au moins 5 fruits et légumes par jour, et 79 % connaissent l'existence de la recommandation de ne pas manger trop gras, trop salé ou trop sucré²².

En outre, ces recommandations faisant autorité en matière de nutrition et de santé publique, elles jouent déjà et pourraient jouer dans le futur un rôle accru de boussole pour l'ensemble des politiques liées à l'alimentation et à la nutrition. Certains acteurs associatifs et institutionnels proposent également de faire de ces recommandations une référence pour la régulation de la publicité et du marketing pour les produits alimentaires, pour définir les produits éligibles à la mise en place de chèques alimentaires ou à une réduction de la TVA, ou encore pour sélectionner les aliments présents dans les paniers « anti-inflation » proposés par les supermarchés, même si ces propositions n'ont à ce jour pas été traduites en mesures effectives.

Ces modalités d'action ont d'autant plus de potentiel que de nombreux travaux ont également souligné que l'information et la sensibilisation n'étaient pas suffisants pour faire évoluer de façon significative les régimes alimentaires²³. Cela s'explique notamment par l'importance de l'offre, du marketing et de la publicité incitant à consommer des produits trop gras, trop sucrés et trop salés²⁴ ainsi que des produits carnés²⁵, par les faibles moyens financiers actuellement consacrés à la promotion des recommandations de consommation alimentaire et par les capacités financières insuffisantes d'une partie de la population pour se procurer 5 fruits et légumes par jour par exemple.

4. La nécessité de prendre en compte les enjeux environnementaux dans l'élaboration des recommandations de consommation alimentaire

Prenant acte de l'accumulation des travaux scientifiques sur les impacts environnementaux des systèmes alimentaires et des scénarios prospectifs sur les régimes alimentaires durables, de plus en plus de pays ont récemment décidé de prendre en compte les enjeux environnementaux dans leurs documents de recommandations de consommation alimentaire, que l'on peut aussi qualifier de « **guides alimentaires** ». En 2023, 25 d'entre eux, majoritairement des pays européens (Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, Italie, Norvège, Pays-Bas, Suède, etc.)²⁶, avaient intégré, de façon plus ou moins

²² Harris Interactive (2023). [Baromètre sur la consommation de la viande : quelles nouvelles attentes ?, p.42.](#)

²³ IDDRI (2023). [Environnement, inégalités, santé : quelle stratégie pour les politiques alimentaires françaises ?](#)

²⁴ Santé Publique France (2020). [Exposition des enfants et des adolescents aux publicités des produits gras, salés et sucrés : quelles préconisations d'encadrement ?](#)

²⁵ Réseau Action Climat (2023). [Alimentation et Climat : L'heure des comptes pour les supermarchés.](#)

²⁶ D'après le recensement de James-Martin, G. et al. (2022). [Environmental sustainability in national food-based dietary guidelines: a global review](#). *Lancet Planet Health*, Dec;6(12):e977-e986), actualisé

exhaustive, ces enjeux à leurs recommandations. Les guides alimentaires de ces pays ont en commun de recommander d'avoir une alimentation plus végétale, c'est-à-dire de consommer des quantités importantes d'aliments végétaux (fruits et légumes, céréales complètes, fruits à coque et légumineuses), d'avoir une consommation modérée de produits laitiers et de limiter de manière plus ou moins drastique la consommation de viande, en particulier de viandes rouges et transformées, mais aussi – dans plus de la moitié des guides alimentaires prenant en compte les enjeux environnementaux – la consommation de volaille (voir les détails dans la partie 3 du rapport).

Le guide alimentaire de la France, c'est-à-dire les recommandations du PNNS, a été développé en prenant en compte les enjeux de nutrition et de santé humaine, mais pas les enjeux environnementaux (cela vaut pour l'ensemble des PNNS, de sa première édition lancée en 2001 au PNNS 4 en vigueur depuis 2019). Une étude récente tend à suggérer qu'une forte adhésion aux recommandations du PNNS 4 est associée à une réduction des impacts environnementaux de l'alimentation²⁷. En effet, plusieurs de ses nouveautés sont, bien que cela n'ait pas été un objectif, favorables sur le plan environnemental : c'est le cas des recommandations de ne pas consommer plus de 500 g de viande rouge par semaine, de consommer 2 produits laitiers par jour (contre 3 dans le PNNS 3 - pour la population adulte hors seniors), de consommer des légumineuses au moins 2 fois par semaine, ou encore de privilégier les produits biologiques – ces recommandations étant motivées par des raisons de santé humaine, relatives dans le cas des produits biologiques à la limitation de l'exposition aux pesticides.

Toutefois, les recommandations du PNNS 4 présentent un écart significatif avec les recommandations des pays ayant intégré les enjeux environnementaux dans l'élaboration de leur guide alimentaire, et avec la littérature scientifique sur les régimes alimentaires durables, en particulier en ce qui concerne la consommation de viande. Le PNNS ne préconise ainsi pas de limiter la consommation de volaille, qu'il invite à « privilégier » par rapport aux autres viandes. En outre, il fixe des plafonds de consommation de viande rouge et de charcuterie sensiblement plus élevés que ceux des guides alimentaires intégrant les enjeux environnementaux. Il recommande en effet de ne pas consommer plus de 500 g de viande rouge (viande bovine, agneau, porc, cheval, etc.) et 150 g de charcuterie par semaine (soit jusqu'à un total de 650 g), alors que les quantités maximales à ne pas dépasser dans les guides des autres pays sont fixées entre 100 et 500 g par semaine de *viandes rouges* et *viandes transformées* (charcuterie incluse ; sauf rares exceptions), et entre 300 et 630 g par semaine quand la limitation porte sur *toutes les viandes* (y compris la volaille et les viandes transformées).

La révision des recommandations du PNNS pour intégrer les enjeux environnementaux paraît donc nécessaire, comme l'ont récemment préconisé France Stratégie²⁸, le Haut Conseil pour

par nos soins de façon à inclure les pays ayant révisé leurs recommandations en 2022 et 2023 comme l'Espagne ou le Mexique.

²⁷ Kesse-Guyot, E., et al. (2020). [Sustainability analysis of French dietary guidelines using multiple criteria](#). *Nature Sustainability*, Volume 1, pp. 377-385.

²⁸ France Stratégie (2021). [Pour une alimentation saine et durable. Analyse des politiques de l'alimentation en France](#).

le Climat²⁹, la Convention Citoyenne pour le Climat³⁰ et le Conseil National de l'Alimentation dans son avis n°90, dans lequel il invite à « Redéfinir les repères nutritionnels officiels adaptées à chaque âge de la vie et à l'activité physique de manière à prendre également en compte les enjeux de durabilité »³¹. Une telle révision apparaît d'autant plus urgente que la tendance de la consommation nationale de viande, en légère hausse ces dernières années, est incompatible avec le respect des limites planétaires et des engagements climatiques de la France.

Il en va également de la cohérence des politiques publiques, à l'heure où le gouvernement est sur le point de publier sa première Stratégie nationale pour l'alimentation, la nutrition et le climat (SNANC), dont l'objectif est précisément de mieux coordonner les politiques de l'alimentation et d'articuler les enjeux de nutrition, de climat et de biodiversité notamment. L'adoption de mesures pour diminuer la consommation de viande en France fait aussi partie du plan d'action du Secrétariat général à la planification Écologique (SGPE) dévoilé par Matignon en juillet 2023³². Enfin, l'intégration des enjeux environnementaux dans le PNNS relève aussi du respect de la loi : le code de l'environnement dispose en effet que « L'Etat, les collectivités territoriales et leurs établissements publics respectifs prennent en compte la stratégie bas-carbone³³ dans leurs documents de planification et de programmation qui ont des incidences significatives sur les émissions de gaz à effet de serre ».³⁴

5. La prochaine révision des recommandations du PNNS doit intégrer les enjeux environnementaux

Ce rapport a pour objectif de démontrer la nécessité d'une révision du PNNS de façon à intégrer les enjeux environnementaux, d'apporter des connaissances nouvelles et de faire des propositions concrètes pour contribuer à l'élaboration de nouvelles recommandations de consommation alimentaire. Pour ce faire, **le rapport s'organise en cinq parties**.

La première partie met à jour les données concernant le lien entre alimentation et santé publiées depuis le dernier rapport de l'ANSES en 2016, présente les recommandations du PNNS 4 en vigueur et fait l'état des lieux de la consommation alimentaire observée dans la population française par rapport à ces recommandations.

²⁹ Haut Conseil pour le Climat (2024). [Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste](#), p. 18 et p. 143.

³⁰ Convention citoyenne pour le climat (2021). [Les propositions de la Convention citoyenne pour le climat](#), rapport final, pp. 375-377.

³¹ Conseil National de l'Alimentation (2022). [Nouveaux comportements alimentaires : propositions d'actions pour une alimentation compatible avec des systèmes alimentaires durables](#), avis n°90 ; Conseil National de l'Alimentation (2023). [Contribution du CNA à la SNANC](#), p.47.

³² Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires - France Nation Verte (2023). [Mieux agir - La planification écologique](#), France Nation Verte.

³³ La Stratégie nationale bas carbone (SNBC) a fixé l'objectif de réduire de 46 % les émissions de gaz à effet de serre agricole de la France à horizon 2050, et de 22 % d'ici 2030.

³⁴ Voir le [titre iii de l'article L222-1-B du code de l'environnement](#).

La deuxième partie propose une analyse comparative des régimes alimentaires proposés par les différents modèles et scénarios prospectifs de systèmes agricoles et alimentaires durables.

La troisième partie met en perspective les recommandations du PNNS avec les recommandations alimentaires des pays ayant déjà intégré, de façon plus ou moins complète, les enjeux environnementaux.

La quatrième partie est consacrée à un travail de modélisation visant à déterminer s'il est possible de concilier la couverture des besoins nutritionnels de la population française adulte et la baisse de moitié de la consommation de viande par rapport à la moyenne actuelle observée en France, tout en réduisant les émissions de gaz à effet et les autres impacts environnementaux de l'alimentation³⁵.

La cinquième et dernière partie se fonde sur les parties précédentes pour formuler des propositions de recommandations pour un nouveau PNNS qui intègre les enjeux environnementaux, et émet de manière plus large des préconisations de mesures de politiques publiques pour favoriser la transition vers des régimes sains et durables.

³⁵ Ce travail de modélisation est réalisé avec l'appui technique et méthodologique de MS-Nutrition.

Précisions importantes sur le périmètre du rapport

1. Un rapport centré sur les enjeux d'évolution des régimes alimentaires

Les impacts environnementaux des systèmes agricoles et alimentaires sont très nombreux et complexes : changement climatique, acidification et eutrophisation des différents milieux naturels (air, eaux douces et eaux marines, sols), dégradation de la biodiversité, écotoxicité, épuisement des ressources, etc.). Rappelons que ces impacts peuvent être réduits selon trois leviers principaux :

- l'évolution des modes de production des aliments (de l'agriculture intensive vers l'agroécologie, en particulier l'agriculture biologique, par exemple) ;
- la réduction des pertes et gaspillages de denrées agricoles et alimentaires tout au long de la chaîne ;
- l'évolution des régimes alimentaires, c'est-à-dire la modification des quantités de consommation respectives de chaque type d'aliments (fruits, légumes, bœuf, porc, poulet, produits laitiers, etc.).

Ce rapport porte exclusivement sur le levier de l'évolution des régimes alimentaires. Par conséquent, les enjeux de réduction du gaspillage alimentaire par les ménages, de promotion des achats en vrac pour réduire les emballages, de consommation de produits biologiques pour préserver la biodiversité et réduire la pollution des milieux naturels, ou encore de consommation de produits locaux et de circuits courts sont hors du périmètre de notre rapport. Ils devront néanmoins être abordés dans la future élaboration d'un PNNS prenant en compte les enjeux environnementaux. Par ailleurs, ce rapport ne traite pas de façon suffisamment exhaustive de la place des produits issus de la pêche et de l'aquaculture dans les régimes alimentaires sains et durables pour pouvoir se prononcer sur la nécessité ou non de réviser la recommandation du PNNS relative au poisson, qui devrait faire l'objet d'études spécifiques.

2. Une entrée par les enjeux de nutrition et de climat qui prend également en compte d'autres impacts environnementaux

Ce rapport étant issu d'une collaboration entre le Réseau Action Climat et la Société Française de Nutrition, l'angle retenu pour notre travail était naturellement celui de la conciliation des enjeux d'équilibre nutritionnel et de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Toutefois, l'ensemble du rapport prend également en compte les autres déterminants de la santé humaine et d'autres impacts environnementaux liés à notre alimentation.

En ce qui concerne la santé humaine, nous avons veillé à ce que nos modélisations et nos recommandations soient cohérentes avec la littérature scientifique existante sur le sujet, avec les références nutritionnelles en macronutriments (protéines, lipides, acides gras essentiels, glucides et fibres) et micronutriments (vitamines et minéraux) de l'ANSES et avec les recommandations du PNNS 4. Concernant ensuite les impacts environnementaux, nous avons imposé, dans nos modélisations, que les régimes alimentaires proposés n'aggravent aucun des autres indicateurs (utilisation de l'eau, eutrophisation des eaux douces et marines, eutrophisation terrestre, acidification, utilisation des sols et utilisation d'énergie). Les différents régimes modélisés ont entraîné une réduction de l'ensemble de ces impacts, à l'exception de la consommation d'eau qui restait stable. Par ailleurs, les scénarios prospectifs, qui ont servi de boussole pour définir les quantités de viande pouvant être consommée, ont l'avantage de prendre en compte un grand nombre d'impacts environnementaux, y compris la biodiversité. Les modélisations de régimes alimentaires et les propositions de recommandations alimentaires de notre rapport sont donc cohérentes avec les enjeux de réduction des impacts environnementaux autres que le changement climatique. Ces impacts pourraient par ailleurs être largement réduits en agissant sur des leviers autres que les régimes alimentaires, en particulier la transition vers des modes de production agroécologiques comme l'agriculture biologique.

3. Un rapport portant spécifiquement sur la population adulte de moins de 65 ans

Le PNNS établit des recommandations distinctes pour un certain nombre de publics spécifiques : jeunes enfants de 0 à 3 ans, enfants de 4 à 17 ans, seniors de plus de 65 et de plus de 75 ans, femmes enceintes... Les modélisations et les recommandations de notre rapport portent sur la population adulte de moins de 65 ans, hors femmes enceintes et allaitantes. Elles ne peuvent donc pas être appliquées en l'état aux autres publics.

Partie 1 - Liens entre alimentation et santé : Actualisation des connaissances et synthèse des recommandations pour préserver la santé

1. Modalités de traitement et organisation de la synthèse

1.1. Définition du périmètre bibliographique

- Sélection des maladies à analyser : diabète de type 2, maladies cardiovasculaires, cancers
- Sélection des groupes d'aliments :
 - Produits animaux : viande, produits laitiers
 - Produits végétaux : légumineuses, produits céréaliers, fruits et légumes
- Population : adultes français, hors femmes enceintes et allaitantes, et hors séniors

1.2. Analyse bibliographique

- Rapport ANSES (2016³⁶) sur les relations entre l'alimentation et la santé : nous rapportons les conclusions du rapport pour les maladies retenues dans ce travail diabètes de type 2, maladies cardiovasculaires, cancers
- Etude prospectives > 2016
 - EPIC (European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition) - Norfolk
 - Health Professionals Follow-up Study
 - Nurses' Health Study
 - Nurses' Health Study II
 - Nutrinet Santé
- Meta-analyses > 2016

1.3. Présentation et compréhension des résultats

Rappelons en préambule que les études épidémiologiques de cohortes prospectives établissent ce que l'on appelle un risque relatif (RR). Le RR d'un événement de santé (par exemple la survenue d'une maladie comme le diabète) est le rapport entre la probabilité de survenue de l'événement chez les personnes exposées à un risque particulier (par exemple, une alimentation déséquilibrée) et la probabilité de la survenue de l'événement chez les personnes non exposées à ce risque. Un RR inférieur à 1 indique une diminution du risque (0,8 correspondant à -20 %). Un RR supérieur à 1 indique une augmentation du risque (1,3 correspondant à + 30 %). Il faut noter que l'implication d'une augmentation du RR dépend de la fréquence de l'événement de santé (la maladie) considéré. Si la maladie est peu fréquente, une augmentation du risque de quelques % concerne peu d'individus ; si la maladie est fréquente, une augmentation du risque d'un même pourcentage concerne beaucoup d'individus. Le Hazard Ratio (HR) est très proche du RR mais il prend en plus en compte la durée du suivi. Il est souvent plus utilisé que le RR car issu de modèles prenant en compte

³⁶ Actualisation des repères du PNNS : étude des relations entre consommation de groupes d'aliments et risque de maladies chroniques non transmissibles, 2016.

différents facteurs appelés facteurs de confusion tels que l'âge ou le statut tabagique³⁷. Ces facteurs sont ainsi appelés car ils sont eux aussi, tout comme le facteur de risque considéré dans l'étude (par exemple une alimentation déséquilibrée), susceptibles d'influencer la survenue de la maladie étudiée (par exemple un diabète). Les modèles épidémiologiques permettent d'intégrer ces facteurs (appelés alors facteurs d'ajustement) en vue d'analyser plus spécifiquement la relation existante entre la maladie et le facteur de risque considérés, en raisonnant « toutes choses égales par ailleurs », c'est-à-dire en tentant de gommer l'effet propre de l'âge, du statut tabagique, etc. sur la maladie. L'intervalle de confiance (IC) à 95 % indique l'intervalle dans lequel la vraie valeur du risque peut se situer. Quand l'IC inclut la valeur 1 alors c'est qu'il n'y a pas d'association statistiquement significative entre l'événement de santé étudié et le facteur de risque considéré.

Quand l'événement de santé étudié est le décès, on parle de risque de mortalité, et d'augmentation ou au contraire de réduction du risque de mortalité liés à l'exposition à un facteur de risque donné. Bien sûr, il ne s'agit pas d'une réduction du risque de décéder dans l'absolu, mais pendant la durée de suivi et par rapport à un groupe non exposé au facteur de risque considéré.

Les études d'intervention cliniques randomisées et contrôlées (RCT pour Randomized Controlled Trial) apportent un niveau de preuve supérieur (causalité) aux études prospectives (plausibilité). A l'inverse, les études cas-témoins apportent un niveau de preuve très inférieur aux études prospectives beaucoup plus nombreuses.

Les études apportant le niveau de preuve le plus élevé sont les méta-analyses, c'est-à-dire les analyses qui consistent à combiner les résultats provenant de plusieurs études conduites sur un même sujet, et qui permettent d'aboutir à une conclusion plus robuste que chaque étude séparément. Les résultats des différentes études considérées dans une méta-analyse peuvent ne pas être concordants, et le niveau de cette hétérogénéité peut être mesuré par le test I². Une valeur I² <0,25 (ou 25 %) indique une hétérogénéité faible (une bonne concordance), des valeurs comprises entre 0,25 et 0,5 (entre 25 et 50 %) indiquent une hétérogénéité modérée et une valeur > 0,5 (>50 %) indique une hétérogénéité importante.

2. État des lieux synthétique sur les bénéfices et risques pour la santé liés à la consommation des principaux groupes d'aliments vecteurs de protéines et/ou de calcium

2.1. La viande

Toutes les viandes sont une excellente source de protéines, de zinc et de vitamines B3, B6 et B12 et toutes contiennent du fer, la viande rouge en contenant plus que la volaille. Ces nutriments sont présents en quantité importante dans la viande, contribuant à une bonne couverture des besoins nutritionnels (ANSES, 2016)³⁸. En particulier, le fer contenu dans les

³⁷ Les facteurs de confusion comprennent généralement l'âge, le statut pondéral, l'ascendance, les antécédents médicaux, le tabagisme, la consommation d'alcool, la tension artérielle, le niveau d'activité physique, l'alimentation et certains facteurs nutritionnel

³⁸ Actualisation des repères du PNNS : étude des relations entre consommation de groupes d'aliments et risque de maladies chroniques non transmissibles, 2016.

produits carnés est sous forme héminique, dont la biodisponibilité est supérieure à celle du fer non-héminique contenu dans les produits non carnés (ANSES, 2022³⁹). Le PNNS recommande de ne pas consommer plus de 500 g de viande rouge par semaine et de privilégier la volaille. Une attention particulière est portée à la charcuterie qui contient souvent trop de graisses saturées, de sel et des additifs comme les nitrites, et dont il est recommandé que la consommation ne dépasse pas 150 g par semaine (Programme National Nutrition Santé 2019-2023⁴⁰). Ces limites sont en accord avec les recommandations proposées par le WCRF (World Cancer Research Fund⁴¹), l'INCa (Institut National du Cancer⁴²) et le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer, 2015⁴³).

Tableau 1.1 : rappel des conclusions du rapport ANSES (2016) sur les relations entre la consommation de viande hors volaille et/ou de viande transformée⁴⁴ et le risque de développer une maladie cardiométabolique ou un cancer⁴⁵

Pathologie Mécanismes plausibles	Niveau de preuve	Nature de l'association avec le risque de pathologie
Diabète de type 2	Probable	Augmentation du risque
Hypothèses évoquées : effet médiateur d'une corpulence élevée, apports élevés en acides gras saturés, phénomènes inflammatoires liés à la surconsommation de viande, apports élevés en fer (qui peut diminuer la sensibilité à l'insuline et promouvoir le stress oxydant), présence d'additifs et de conservateurs dans les viandes transformées. L'importance du mode de préparation doit encore être étudié.		
Maladies cardiovasculaires	Probable	Augmentation du risque
Hypothèses évoquées : richesse en acides gras saturés, cholestérol, sel et fer. De plus, les nitrites ajoutés dans la viande transformée pourraient favoriser l'athérosclérose et le dysfonctionnement vasculaire.		
Cancer colorectal	Convaincant	Augmentation du risque
Hypothèses évoquées : teneur en hème qui pourrait favoriser la formation de composés N-nitrosés cancérogènes par les bactéries du côlon ainsi que la production de cytokines pro-inflammatoires, de radicaux libres et d'autres substances favorisant le développement de tumeurs. Production d'amines hétérocycliques et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques lors de la cuisson à des températures élevées (possible prédisposition génétique). Présence de virus d'origine bovine. Pour la viande transformée, l'ajout de nitrites et nitrates pour la conservation augmente l'exposition aux nitrosamines, aux composés N-nitrosés et à leurs dérivés suspectés être des facteurs de risque de l'apparition de cancer colorectal.		
Cancer du sein	Données suggestives mais limitées*	Augmentation du risque
Hypothèses évoquées : présence d'amines hétérocycliques produites par une cuisson intense et/ou prolongée (possible prédisposition génétique). Teneurs élevées en lipides et/ou en acides gras trans.		
Cancer de la prostate	Données suggestives mais limitées*	Augmentation du risque
Hypothèses évoquées : présence d'amines hétérocycliques produites par une cuisson intense et/ou prolongée. Procédés de transformation (salage, fumage).		

* Les données suggèrent une association mais sont insuffisantes pour conclure à une relation causale.

³⁹ <https://www.anses.fr/fr/content/tout-savoir-sur-le-fer>

⁴⁰ Programme National Nutrition Santé 2019-2023, <https://www.mangerbouger.fr/>

⁴¹ <https://www.wcrf.org/diet-activity-and-cancer/>

⁴² <https://www.e-cancer.fr/Professionnels-de-sante/Facteurs-de-risque-et-de-protection/Alimentation/>

⁴³ Institut National du Cancer. Nutrition et prévention primaire des cancers : actualisation des données. Boulogne-Billancourt : INCa ; 2015.

⁴⁴ Les produits carnés transformés (processed meat en anglais) comprennent la charcuterie (bacon, jambon, saucisses, salami) mais aussi le corned beef, le jerky, les hot-dogs, la lunch meat, la viande en conserve, les nuggets de poulet et les sauces à base de viande.

⁴⁵ Pour rappel, les figures et tableaux font l'objet d'une numérotation spécifique dans chaque partie.

Une analyse bibliographique conduite dans le cadre de ce rapport sur les études publiées après 2016 (c'est-à-dire après la publication du rapport de l'ANSES) conforte l'ensemble de ces conclusions. Concernant le diabète de type 2, une méta-analyse des données de 3 cohortes prospectives : la Health Professionals Follow-up Study (27 634 hommes), la Nurses' Health Study (46 023 femmes) et la Nurses' Health Study II (75 196 femmes) a modélisé la modification du risque de diabète de type 2 qui serait associée au remplacement d'une portion quotidienne de viande rouge par une autre source de protéines (produits laitiers, œufs, légumineuses et fruits à coque) (Würtz et al. 2021⁴⁶). Ce travail a montré que le remplacement de la consommation totale de viande rouge au cours d'une période de 4 ans, par un autre aliment protéique courant, serait associée à un risque plus faible de développer un diabète de type 2 au cours de la période de 4 ans suivante. Le HR [IC 95 %] pour le remplacement d'1 portion/j de viande rouge par de la volaille était de 0,82 [0,75 - 0,90], de 0,87 [0,77 - 0,98] pour un remplacement par des fruits de mer, de 0,82 [0,78 - 0,86] par des produits laitiers peu gras, de 0,82 [0,77 - 0,86] par des produits laitiers riches en gras, de 0,90 [0,81 - 0,99] par des œufs, de 0,89 [0,82 - 0,98] par des légumineuses et de 0,83 [0,78 - 0,89] par des fruits à coque. Les associations étaient présentes à la fois pour la viande rouge non transformée et la viande rouge transformée, mais elles étaient plus fortes pour le remplacement de la viande rouge transformée.

Li et al. (2022⁴⁷) ont développé un score de métabolites (Mscore) liés à la consommation de viande rouge à partir de 781 métabolites plasmatiques et de la consommation de viande rouge évaluée sur la base des déclarations des consommations alimentaires sur 7 jours des 11 432 participants de la cohorte EPIC-Norfolk. Dans une analyse prospective avec un suivi médian de 10 ans, le Mscore lié à la consommation de viande rouge était positivement associé à un risque plus élevé d'incidence du diabète de type 2 (HR : 1,17 [IC 95 % : 1,10 - 1,24]) après ajustement sur les facteurs de confusion potentiels. Comme le montre la Figure 1.1.1, il existait une association significative entre la consommation hebdomadaire déclarée de viande rouge (7dDD) et le diabète de type 2 (T2D dans la figure) incident (HR : 1,08 [IC 95 % : 1,03 - 1,14]). Le Mscore lié à la consommation de viande rouge était quant à lui associé non seulement au T2D mais aussi à un risque plus élevé de cancers gastro-intestinaux (HR : 1.16 [IC 95 % : 1.03 - 1.29]) (Figure 1.1).

⁴⁶ Würtz AML et al. Am J Clin Nutr. 2021 ;113:612-621. doi: 10.1093/ajcn/nqaa284.

⁴⁷ Li C et al. Am J Clin Nutr. 2022;116:511-522. doi: 10.1093/ajcn/nqac094.

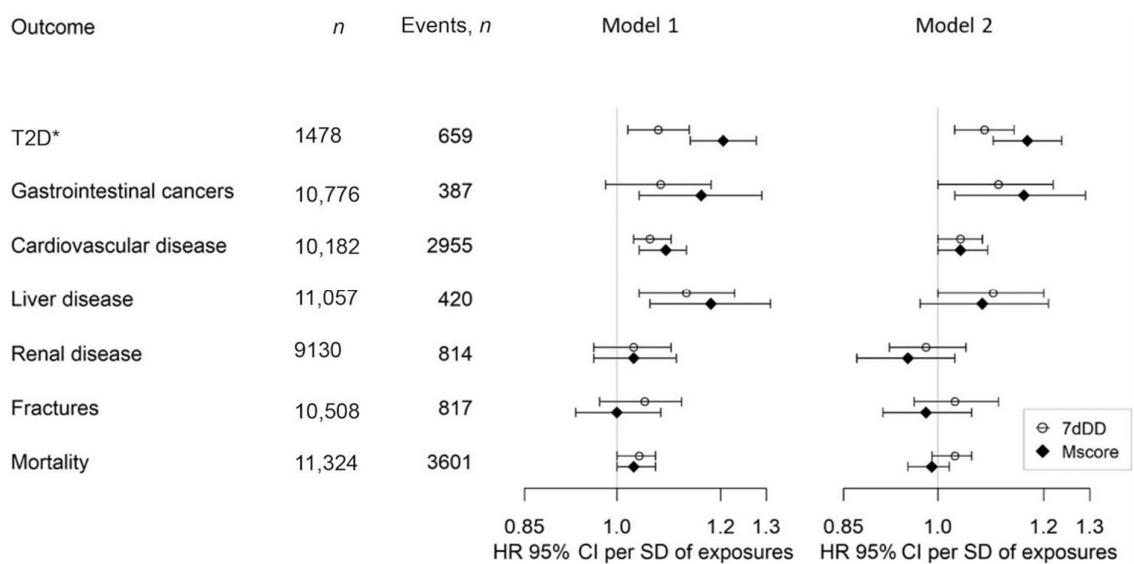


Figure 1.1 (Li et al., 2022⁴⁸) : Associations entre le score des métabolites liés à la consommation de viande rouge (Mscore) d'une part ou la consommation hebdomadaire déclarée de viande rouge (7dDD) d'autre part, et le diabète de type 2 (T2D) incident, ainsi que plusieurs autres paramètres de santé dans l'étude EPIC-Norfolk (cancers gastro-intestinaux, maladies cardiovasculaires, maladies du foie et du rein, fractures, mortalité)

NB : Le modèle de régression 1 a été ajusté pour l'âge et le sexe ; le modèle de régression 2 a été ajusté pour les facteurs de confusion potentiels suivants : âge, sexe, éducation, tabagisme, consommation d'alcool, consommation d'alcool au carré, IMC, IMC au carré et facteurs alimentaires (consommation de fruits, de légumes, de poisson gras et de poisson blanc, de boissons sucrées, de produits laitiers, de légumineuses, de noix, d'œufs et apport énergétique total).

Une méta-analyse a été récemment menée sur 15 études incluant les cohortes considérées dans ce rapport (cf. section 1.1.2) mais également des cohortes finlandaise, suédoise, néerlandaise, espagnole mais aussi chinoise, japonaise, coréenne et singapourienne ($n = 682\ 963$ participants, cas = 50 675). Par rapport au groupe ayant la consommation la plus faible de viande transformée d'une part et de viande rouge non transformée d'autre part, une consommation élevée de ces viandes est associée à un risque de diabète de type 2 augmenté de 27 % [IC 95 % : 1,15-1,40] pour la viande transformée et de 15 % [IC 95 % : 1,08-1,23] pour la viande non transformée (Zhang et al., 2021⁴⁹).

Une autre méta-analyse a porté sur des études prospectives du monde entier, 27 pour le diabète de type 2 ($N = 1\ 760\ 774$, 64,4 % de femmes) et 43 pour les maladies cardiovasculaires ($N = 4\ 462\ 810$, 61,7 % de femmes) (Shi et al., 2023⁵⁰). Concernant le diabète de type 2, la consommation de viande rouge non transformée était positivement associée au risque (HR 1,27 [IC 95 % : 1,16-1,39, I² = 88,7 %], par incrément d'apports de 100 g/jour), sur la base de 18 estimations provenant de 16 études (figure 1.1.2). Les analyses n'ont révélé aucune

⁴⁸ Li C et al. Am J Clin Nutr. 2022;116:511-522. doi: 10.1093/ajcn/nqac094.

⁴⁹ Zhang R et al. Int J Environ Res Public Health. 2021;18:10788. doi: 10.3390/ijerph182010788.

⁵⁰ Shi W et al. Eur Heart J. 2023;44:2626-2635. doi: 10.1093/euroheartj/ehad336.

différence en fonction du sexe. Les associations avec le diabète de type 2 ne variaient pas non plus en fonction de la qualité de l'étude, du type d'estimation de l'effet ou de la durée du suivi. La consommation de viande rouge transformée était positivement associée au risque de diabète de type 2 (HR 1,44 [IC 95 % : 1,27-1,63, I² = 90,5 %], par incrément d'apports de 50 g/jour), sur la base de 18 estimations provenant de 16 études (figure 1.2). Les associations ne différaient pas en fonction du sexe, de la qualité de l'étude ou des estimations de l'effet. Les analyses de sous-groupes suggèrent que la consommation de viande rouge transformée est plus associée à un risque plus élevé de diabète de type 2 dans les pays occidentaux que dans les pays orientaux.

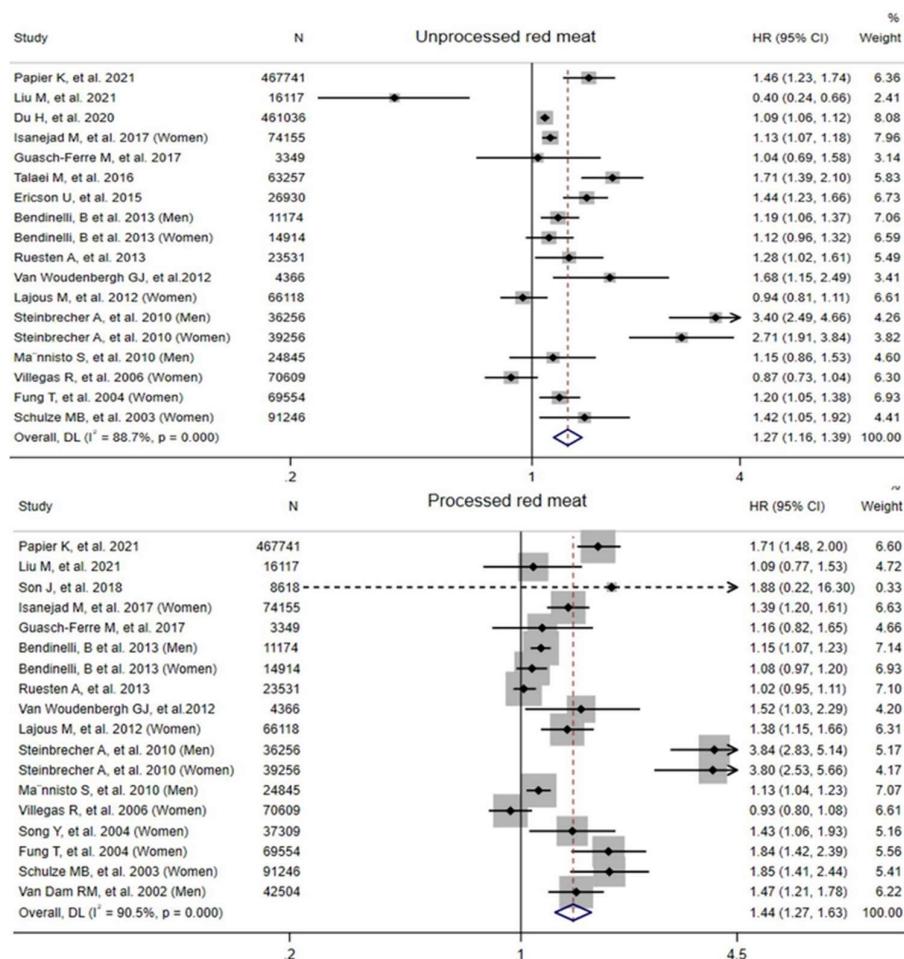


Figure 1.2 (Shi et al., 2023⁵¹) : Méta-analyse montrant l'association entre la consommation de viande rouge non transformée (par incrément d'apport de 100 g/jour) et de viande rouge transformée (par incrément d'apport de 50 g/jour) et le diabète de type 2 à l'aide de modèles à effets aléatoires.

Concernant les maladies cardiovasculaires, sur la base de 21 estimations provenant de 17 études de cohorte, chaque consommation supplémentaire de 100 g/jour de viande rouge non transformée était associée à un risque plus élevé de maladies cardiovasculaires (HR 1,11, [IC 95 % : 1,05-1,16, I² = 33,4 %] (figure 1.3). Les analyses n'ont révélé aucune différence selon

⁵¹ Shi W et al. Eur Heart J. 2023;44:2626-2635. doi: 10.1093/eurheartj/ehad336.

le sexe. Par ailleurs sur la base de 17 estimations issues de 14 études portant sur 2 158 461 participants, chaque consommation additionnelle de 50 g/jour de viande rouge transformée était associée à un risque accru de maladies cardiovasculaires (HR 1,26 [IC 95 % : 1,18-1,35, I² = 64,1 %]) (figure 1.3). Les analyses n'ont révélé aucune différence en fonction du sexe, ni en fonction de la durée de suivi, ni aucun biais de publication. Un risque plus élevé de maladies cardiovasculaires n'a été constaté que dans les contextes occidentaux (pas dans les contextes orientaux) (Shi et al., 2023⁵²).

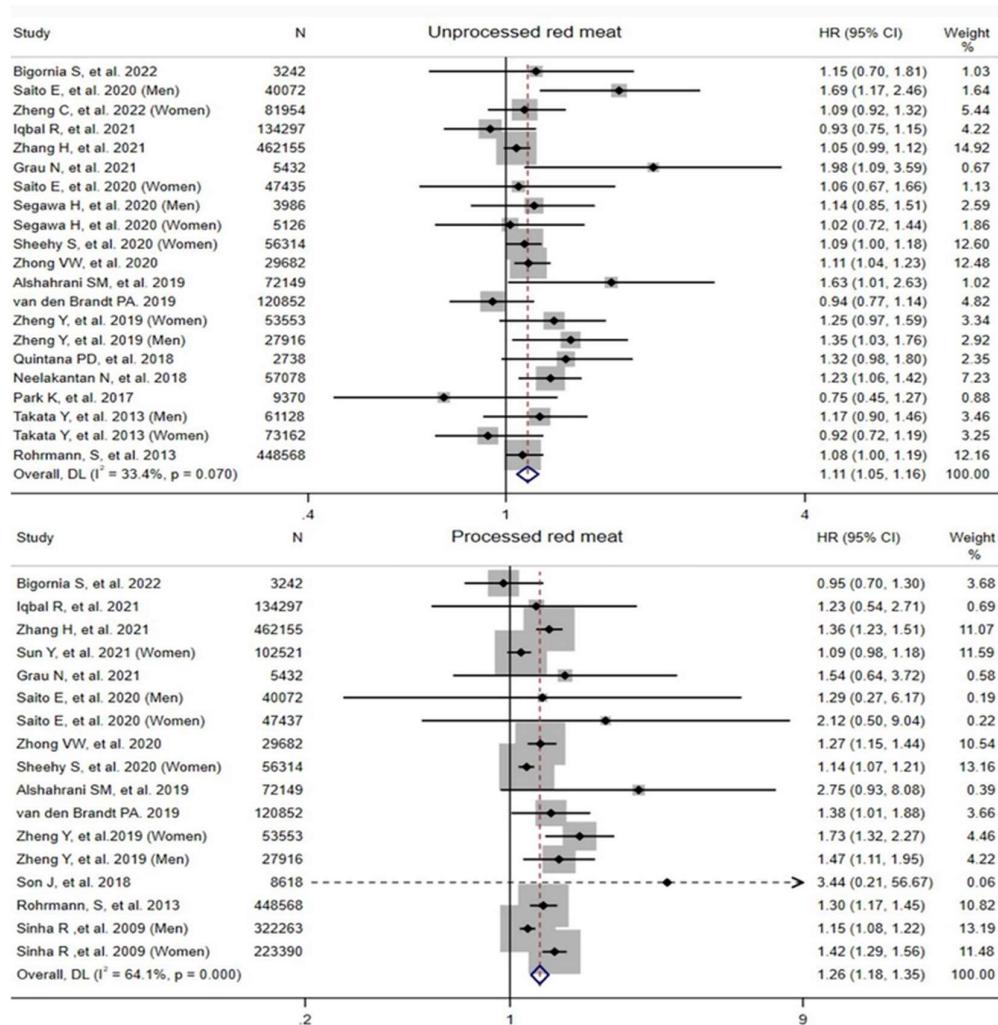


Figure 1.3 (Shi et al., 2023⁵²) : Méta-analyse montrant l'association entre la consommation de viande rouge non transformée (par tranche de 100 g/jour) et de viande rouge transformée (par tranche de 50 g/jour) et les maladies cardiovasculaires à l'aide de modèles à effets aléatoires

Une étude de modélisation réalisée en Italie, basée sur des modèles démographiques et de consommation alimentaire tirés d'enquêtes nationales mais également de méta-analyses sur les risques cardio-métaboliques et cancer, a conclu que réduire la consommation de viande rouge et de charcuterie (actuellement de 400 à 550 et 200 à 300 g/semaine respectivement), à 150 g/semaine de viande de ruminant et 50 g de viande transformée (quantités

⁵² Shi W et al. Eur Heart J. 2023;44:2626-2635. doi: 10.1093/eurheartj/ehad336.

recommandées dans la pyramide méditerranéenne), permettrait de réduire jusqu'à 6 % la mortalité due aux cancers et aux maladies cardiovasculaires (Farchi et al., 2017⁵³).

Concernant le risque de cancer, une méta-analyse de 2023 a porté sur 40 cohortes du monde entier (dont celles ciblées dans ce rapport, cf. section 1.2) comprenant 3 780 590 individus (Di et al., 2023⁵⁴). Les résultats associent le quintile le plus haut de consommation de viande rouge (par rapport au quintile de consommation le plus bas) à un risque accru de 9 % de cancer colorectal (RR : 1,09 [IC 95 % : 1,02-1,16] P = 0,007) et de 13 % de cancer du côlon (RR : 1,13 [IC 95 % : 1,03-1,25] P = 0,011). Les risques étaient encore plus importants avec une consommation plus élevée de viande transformée par rapport à une faible consommation. Celle-ci était associée à un risque accru de 19 % de cancer colorectal (RR : 1,19 [IC 95 % : 1,13-1,26] P < 0,001) et de 24 % pour les cancers du côlon et du rectum (RR : 1,24 [IC 95 % : 1,13-1,26] P < 0,001 ; RR : 1,24 ; IC à 95 % : 1,08-1,42 ; P = 0,002, respectivement).

En outre, une consommation totale de viande rouge et de viande transformée plus élevée était associée à un risque accru de cancer colorectal (RR : 1,13 [IC 95 % : 1,06-1,20] P < 0,001), de cancer du côlon (RR : 1,17 [IC 95 % : 1,04-1,33] P = 0,012) et de cancer du rectum (RR : 1,20 [IC 95 % : 1,04-1,39] P = 0,016) par rapport à une faible consommation. Lorsque les études menées dans des pays occidentaux étaient regroupées et présentaient des niveaux élevés d'ajustement, les analyses de sous-groupes ont révélé (1) qu'une consommation plus élevée de viande rouge était associée à un risque accru de cancer colorectal, (2) qu'une consommation plus élevée de viande transformée était associée à un risque accru de cancer colorectal dans tous les sous-groupes, et (3) qu'une consommation totale plus élevée de viande rouge et de viande transformée était associée à un risque accru de cancer colorectal, indépendamment de la durée du suivi (Di et al., 2023⁵⁴).

Concernant les cancers de l'œsophage, gastrique et du foie, la méta-analyse de Di et al. (2023) ne met pas en évidence d'augmentation significative du risque avec une consommation plus élevée de viande rouge, de viande rouge transformée ou de l'association des deux. Dans une méta-analyse portant sur 43 études (11 études de cohorte et 32 études cas-témoins avec 16 572 cas), Kim et al. (2019⁵⁵) concluent qu'une consommation plus élevée de viande rouge (RR : 1,41 [IC 95 % : 1,21-1,66] I² = 69,6 %, p < 0,001) et de viande transformée (RR : 1,57 [IC 95 % : 1,37-1,81] I² = 55,5 %, p < 0,001) est positivement associée au risque de cancer gastrique par rapport à une faible consommation. A l'inverse, une consommation plus élevée de viande blanche est négativement associée au risque de cancer gastrique (RR : 0,80 [IC 95 % : 0,69-0,92] I² = 41,9 %, p = 0,023) par rapport à une faible consommation.

Dans une méta-analyse dose-réponse, les RR de cancer gastrique étaient de 1,26 ([IC 95 % : 1,11-1,42] I²=70,3 %, p < 0,001) pour chaque augmentation de 100 g/jour de la consommation de viande rouge, de 1,72 ([IC 95 % : 1,36-2,18] I²=55,5 %, p < 0,001) pour chaque augmentation de 50 g/jour de la consommation de viande transformée, et de 0,86 ([IC 95 % : 0,64-1,15] I²=41,9 %, p = 0,023) pour chaque augmentation de 100 g/jour de la consommation de viande blanche. Cependant, les résultats sur la viande rouge et la viande transformée présentaient une forte hétérogénéité : les relations significatives étaient toujours détectées sur

⁵³ Farchi S et al. PLoS One. 2017;12(8):e0182960. doi: 10.1371/journal.pone.0182960.

⁵⁴ Di Y et al. BMC Cancer. 2023;23:782. doi: 10.1186/s12885-023-11218-1.

⁵⁵ Kim SR et al. Nutrients. 2019;11:826. doi: 10.3390/nu11040826.

une analyse en sous-groupe des études cas-témoins mais plus pour les études de cohorte (Kim et al., 2019⁵⁶).

Concernant le cancer de la vessie, Yu et al. (2023⁵⁷) ont conduit une méta-analyse portant sur 29 études impliquant 1 475 125 participants et 18 836 cas. Les résultats suggèrent qu'il y a une augmentation globale du risque de cancer de la vessie associée à la consommation totale de viande (RR = 1,10 [IC 95 % : 0,92-1,31] I² = 55,2 %, P = 0,014), et qu'une consommation plus élevée de viande rouge (RR = 1,23 [IC 95 % : 1,08-1,39] I² = 51,3 %, P = 0,004) ou de viande transformée (RR = 1,16 [IC 95 % : 1,08-1,25] I² = 28,0 %, P = 0,125) peut augmenter le risque de cancer de la vessie par rapport à une faible consommation.

Concernant le cancer du sein, Farvid et al. (2018⁵⁸) ont conduit une méta-analyse sur 13 études de cohortes (dont celles ciblées dans ce rapport, cf. 1.1.2), 3 études cas-témoins imbriquées et 2 études d'essais cliniques (SU.VI.MAX et PLCO Cancer Screening Trial, avec un suivi sur 8 ans). La forte consommation de viande rouge était associée à un risque de cancer du sein plus élevé de 6 % (RR groupé, 1,06 [IC 95 % : 0,99-1,14] I² = 56,3 %), et la forte consommation de viande transformée était associée à un risque de cancer du sein plus élevé de 9 % (RR groupé, 1,09 [IC 95 % : 1,03-1,16] I² = 44,4 %).

Avec une approche comparable sur les études de cohorte (262 195 femmes suivies sur une période médiane de 7 ans, 4819 cas incidents), Anderson et al. (2018⁵⁹) concluent que la consommation de viande rouge n'était pas associée au cancer du sein (RR = 1,03 [IC 95 % : 0,99-1,08] I²=44,0 %, p=0,065). Par contraste, le risque de cancer du sein était accru dans le tertile de consommation de viande transformée le plus élevé (>9 g/jour) par rapport au tertile de consommation le plus faible (<4 g/jour) (HR = 1,21 [IC 95 % : 1,08-1,35] p = 0,001). Le regroupement de 10 études de cohortes antérieures a permis d'obtenir des données sur 40 257 cancers du sein incidents chez 1,65 million de femmes. Une méta-analyse a montré que la consommation de viande transformée était associée globalement au cancer du sein (RR = 1,06 [IC 95 % : 1,01-1,11] I²=61,5 %, p=0,011) et au stade post-ménopausique (RR = 1,09 [IC 95 % : 1,03-1,15] I²=40,2 %, p=0,137), mais pas pré-ménopausique (RR = 0,99 [IC 95 % : 0,88-1,10] I²=39,5 %, p=0,158). Dans toutes les analyses, les tests d'Egger et de Begg n'étaient pas significatifs, ce qui indique qu'il n'y a pas de biais de publication important.

Concernant le cancer de la prostate, une méta-analyse incluant 25 études prospectives (1 900 910 participants et 35 326 cas incidents) a conclu qu'une consommation élevée de viande transformée pouvait être associée à un risque accru de « cancer total de la prostate » (RR : 1,06 [IC 95 % : 1,01 - 1,10] I² = 1,5 %, P = 0,43) et de « cancer avancé de la prostate » (1,17 [IC 95 % : 1,09 - 1,26] I² = 58,8 %, P = 0,01) par rapport à une faible consommation (Nouri-Majd et al., 2022⁶⁰). Toutefois, l'association entre la viande transformée et le « cancer avancé de la prostate » n'était pas significative dans le modèle à effets aléatoires (RR : 1,12 [IC 95 %: 0,98 - 1,29]). Une analyse linéaire de la dose-réponse a indiqué qu'une augmentation de 50 g/j de la consommation de viande transformée pourrait être liée à un risque accru de 4 % de

⁵⁶ Kim SR et al. Nutrients. 2019;11:826. doi: 10.3390/nu11040826.

⁵⁷ Yu J et al. Nutr Cancer. 2023;75:825-845. doi: 10.1080/01635581.2022.2159043.

⁵⁸ Farvid MS et al. Int J Cancer. 2018;143:2787-2799. doi: 10.1002/ijc.31848.

⁵⁹ Anderson JJ et al. Eur J Cancer. 2018;90:73-82. doi: 10.1016/j.ejca.2017.11.022.

⁶⁰ Nouri-Majd S et al. Front Nutr. 2022;9:801722. doi: 10.3389/fnut.2022.801722.

« cancer total de la prostate » (1,04 [IC 95 % : 1,00 - 1,08] I² = 0,0 %, P = 0,51) (Nouri-Majd et al., 2022⁶¹).

Pour résumer, la viande est source de nombreux nutriments d'intérêt. Cependant, une consommation excessive de viande rouge et/ou transformée (incluant la charcuterie) est associée de façon probable à convaincante à une augmentation du risque de survenue de maladies cardio-vasculaires, de diabète de type 2 et de cancer colorectal. Chaque incrément d'apports de 100 g/j de viande rouge et de 50 g/j de viande transformée est associé à une augmentation du risque de survenue de ces pathologies. Les données de la littérature suggèrent également que la forte consommation de viande rouge et/ou transformée (incluant la charcuterie) pourrait être associée à l'augmentation du risque d'autres cancers (gastrique, vessie, sein, prostate). Cependant, les données sont encore insuffisantes.

2.2. Les produits laitiers

Les produits laitiers se divisent en 3 grandes catégories : le lait, les fromages, et les autres produits laitiers, type yaourt ou fromage blanc. Ils ne comprennent pas la crème fraîche et le beurre qui, bien que produits à partir du lait, sont pauvres en calcium et riches en matières grasses. Les produits laitiers sont riches en protéines, en micronutriments (dont le calcium, l'iode, le zinc, le magnésium) et en vitamines A, D, B2 et B12. Le PNNS 2019-2023 recommande une consommation de produits laitiers suffisante mais limitée, soit 2 produits laitiers par jour pour les adultes, 2 (voire 3 si les portions sont petites) pour les femmes enceintes et allaitantes, 2 à 3 pour les seniors, et 3 pour les enfants et les adolescents. Ces recommandations ne prennent pas en compte les desserts lactés (crèmes desserts, flans...) qui contiennent en général trop peu de lait et sont souvent très sucrés.

⁶¹ Nouri-Majd S et al. Front Nutr. 2022;9:801722. doi: 10.3389/fnut.2022.801722.

Tableau 1.2 : Rappel des conclusions du rapport ANSES (2016) sur les relations entre la consommation de produits laitiers et le risque de développer une maladie cardiométabolique ou un cancer

Pathologie Mécanismes plausibles	Niveau de preuve	Nature de l'association avec le risque de pathologie
Diabète de type 2 Yaourts, fromages, produits laitiers peu gras	Probable	Réduction du risque
Hypothèses évoquées : teneurs en certains acides gras saturés (acide pentadécanoïque, acide heptadécanoïque), protéines, lactose, calcium, vitamine D et magnésium. Présence de certains probiotiques		
Maladies cardiovasculaires Yaourts, fromages, produits laitiers peu gras	Données suggestives mais limitées*	Réduction du risque
Hypothèses évoquées : teneur en calcium, potassium, phosphore, magnésium, vitamine D, en différents acides gras (à chaîne courte et moyenne) et en protéines, dont certains peptides bioactifs. La vitamine K2 jouerait un rôle dans la réduction de la calcification des vaisseaux sanguins et le maintien de l'intégrité des parois des vaisseaux sanguins.		
Cancer colorectal Lait	Probable	Réduction du risque
Hypothèses évoquées : teneur en calcium qui contribuerait à la réduction de la prolifération cellulaire et augmentation de la différenciation et l'apoptose des cellules cancéreuses. Teneur en lactoferrine, vitamine D.		
Cancer du sein Lait	Données insuffisantes*	Pas de relation définie
Hypothèses évoquées : présence du facteur de croissance IGF-1.		
Cancer de la prostate Lait	Données suggestives mais limitées*	Augmentation du risque pour tout stade de cancer confondu
Hypothèses évoquées : présence du facteur de croissance IGF-1.		

* Les données suggèrent une association mais sont insuffisantes pour conclure à une relation causale.

Dans une méta-analyse portant sur des études de cohortes prospectives, Guo et al. (2017⁶²) n'ont montré aucune association pour la consommation totale de produits laitiers (riches ou faibles en matières grasses) avec la mortalité toutes causes. Ces résultats ont été corroborés par la méta-analyse menée par Bhandari et al. (2023⁶³). Cependant dans une méta-analyse récente d'études prospectives menées principalement en Amérique du Nord et en Europe, Zhang et al. (2023⁶⁴) concluent avec une évidence modérée -selon le système de scoring NutriGrade- que la consommation de fromage a des effets neutres à modérément bénéfiques pour la santé puisqu'elle est inversement associée à la mortalité toutes causes confondues (consommation la plus élevée comparée à la consommation la plus basse : RR = 0,95 [IC 95 % : 0,92-0,99]) (figure 1.4). Dans la méta-analyse dose-réponse de 14 études, Zhang et al. (2023⁶⁴) concluent que chaque augmentation de 30 g/j de fromage est associée à un moindre risque de mortalité toutes causes confondues de 2 % (RR = 0,98 [IC 95 % : 0,96, 1,00] P = 0,027 ; I² = 60 %). Les analyses non linéaires ont également montré une association en forme de U, où le risque le plus faible de mortalité toutes causes confondues a été observé pour une consommation de fromage de ~40 g/j (P-non-linéarité < 0,001).

⁶² Guo J et al. Eur J Epidemiol. 2017;32:269-287. doi: 10.1007/s10654-017-0243-1.

⁶³ Bhandari B et al. Adv Nutr. 2023;14:55-63. doi: 10.1016/j.advnut.2022.10.010.

⁶⁴ Zhang M et al. Adv Nutr. 2023; 14:1170-1186. doi: 10.1016/j.advnut.2023.06.007.

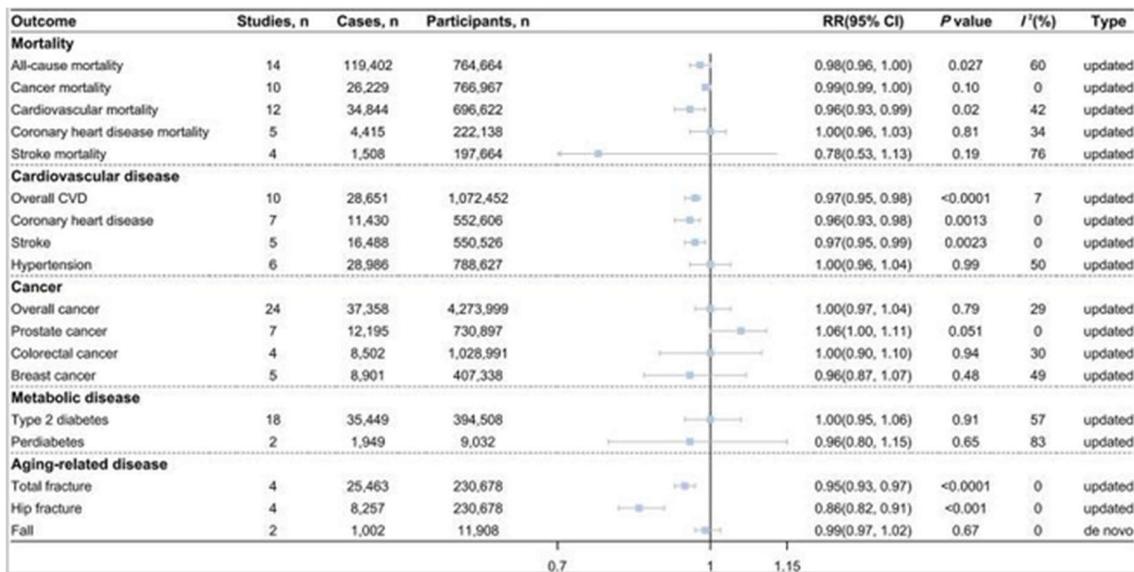


Figure 1.4 (Zhang et al., 2023⁶⁸) : Association entre la consommation de fromage (par incrément d'apport de 30 g/j) et la mortalité et l'incidence de maladies multiples.

Avec une approche méthodologique comparable à l'étude précédente, Tutunchi et al. (2023⁶⁵) a étudié l'association entre la consommation de yaourt et le risque de mortalité globale dans 12 études de cohorte dont celles considérées dans ce rapport (cf. section 1.1.2) qui ont inclus un total de 476 160 participants avec 75 791 cas. En comparant les consommations de yaourt les plus élevées et les plus faibles, le RR regroupé pour la mortalité toutes causes confondues était de 0,93 [IC 95 % : 0,89-0,98], ce qui indique une association inverse significative entre la consommation de yaourt et la mortalité globale. Il existe des preuves d'une hétérogénéité modérée entre les études ($I^2 = 47,3\%$; $P = 0,03$) (Tutunchi et al. 2023⁶⁵). Dans l'analyse de la relation dose-réponse, chaque portion⁶⁶ supplémentaire de yaourt consommée a été inversement associée au risque de mortalité toutes causes confondues (RR regroupé = 0,93 [IC 95 % : 0,86-0,99, $I^2 = 63,3\%$]). Il existe des preuves d'une association non linéaire entre la consommation de yaourt et la mortalité toutes causes confondues (P -non-linéarité < 0,001), et il n'y a pas eu de réduction supplémentaire du risque au-delà de 0,5 portions/jour (soit 122 g/jour, la portion étant fixée à 250 g dans cette étude).

En accord avec les méta-analyses précédentes, Gao et al. (2020⁶⁷) montrent dans une analyse ancillaire qu'une consommation de yaourt ≥ 200 g/j était significativement associée à une baisse de la mortalité toutes causes confondues ($HR=0,88$ [IC 95 % : 0,80-0,96]) et de la mortalité due aux maladies cardiovasculaires ($HR=0,87$ [IC 95 % : 0,77-0,99]).

Concernant le diabète de type 2, la méta-analyse de Zhang et al. (2023⁶⁸) actualisée de 25 études portant sur 674 107 participants et 44 584 cas a observé que la consommation de fromage était inversement associée au risque de diabète de type 2 ($RR = 0,93$ [IC 95 % : 0,88-0,98] $P = 0,009$; $I^2 = 45\%$) en comparant les niveaux de consommation les plus élevés

⁶⁵ Tutunchi H et al. Public Health Nutr. 2023;26:1196-1209. doi: 10.1017/S1368980022002385.

⁶⁶ Soit 244 g sur la base des tailles de portions standard développées par le ministère américain de l'agriculture

⁶⁷ Gao X et al. Chin J Integr Med. 2020;26:462-468. doi: 10.1007/s11655-020-3085-8.

⁶⁸ Zhang M et al. Adv Nutr. 2023; 14:1170-1186. doi: 10.1016/j.advnut.2023.06.007.

et les plus bas. Toutefois, les méta-analyses dose-réponse n'ont pas confirmé l'association inverse entre la consommation de fromage et le risque de diabète de type 2.

Concernant les maladies cardiovasculaires, dans une méta-analyse portant sur des études de cohortes prospectives, Guo et al. (2017⁶⁹) n'ont montré aucune association pour la consommation totale de produits laitiers (riches ou faibles en matières grasses) avec les maladies cardiovasculaires. Ces résultats ont été corroborés par la méta-analyse menée par Bhandari et al. (2023⁷⁰).

La méta-analyse de Zhang et al. (2023⁷¹) actualisée de 16 études englobant 36 965 cas parmi 742 571 participants a montré une association inverse entre la consommation de fromage et la mortalité cardiovasculaire (la plus élevée comparée à la plus faible : RR = 0,93 [IC 95 % : 0,88-0,99] P = 0,015 ; I² = 34 %). La méta-analyse dose-réponse non linéaire a suggéré que l'association entre la consommation de fromage et la mortalité cardiovasculaire suivait une forme en U avec le risque minimal à ~35 g/j (P-non-linéarité = 0,004). Aucune association n'a été détectée entre la consommation de fromage et la mortalité due aux maladies cardiovasculaires ou aux accidents vasculaires cérébraux.

Tutunchi et al. (2023⁷²) ont inclus 11 études de cohorte (331 261 participants, parmi lesquels 14 623 cas de mortalité) dans l'analyse de la consommation de yaourt et de la mortalité due aux maladies cardiovasculaires. Le RR regroupé pour la mortalité due aux maladies cardiovasculaires était de 0,89 [IC 95 % : 0,81-0,98], ce qui indique une association inverse significative, avec une faible hétérogénéité entre les études (I² = 33,2 % ; P = 0,13). Dix études ont été incluses dans l'association dose-réponse de la consommation de yaourt et de la mortalité par maladies cardiovasculaires. Chaque portion supplémentaire de yaourt a été associée à une réduction de 14 % du risque de mortalité par maladies cardiovasculaires (RR regroupé = 0,86 [IC 95 % : 0,77-0,97, I² = 36,6 %]. Il existe des preuves d'écart par rapport à la linéarité (P-non-linéarité = 0,009), et il n'y a pas eu de réduction supplémentaire du risque au-delà de 0,5 portions/jour (soit 122 g/jour).

Les méta-analyses de Zhang et al. (2023⁷¹) comparant le niveau de consommation de fromage le plus élevé par rapport au niveau le plus faible comprenaient 18 études (86 796 cas parmi 1 833 112 participants) pour le risque global de maladies cardiovasculaires, 12 études (17 568 cas parmi 686, 573 participants) pour le risque de coronaropathie et 9 études (21 138 cas parmi 813 636 participants) pour le risque d'AVC. Une plus grande consommation de fromage a été associée à une réduction du risque de maladies cardiovasculaires (RR = 0,92 [IC 95 % : 0,89-0,96] P = 0,0001 ; I² = 38 %), de maladies coronariennes (RR = 0,92 [IC 95 % : 0,86-0,98] P = 0,0108 ; I² = 27 %) et d'AVC (RR = 0,93 [IC 95 % : 0,89-0,98] P = 0,003 ; I² = 0 %). Chaque augmentation de 30 g/j de l'apport en fromage a été associée à une réduction d'environ 3 % du risque global de maladies cardiovasculaires (RR = 0,97 [IC 95 % : 0,95-0,98] P<0,0001), de maladies coronariennes (RR = 0,96 [IC 95 % : 0,93-0,98] P = 0,0013) et d'AVC (RR = 0,97 [IC 95 % : 0,95-0,99] P = 0,0023). La méta-analyse non linéaire de la relation dose-réponse a mis en évidence un lien en forme de L entre la dose et l'AVC. Ces résultats sont

⁶⁹ Guo J et al. Eur J Epidemiol. 2017;32:269-287. doi: 10.1007/s10654-017-0243-1.

⁷⁰ Bhandari B et al. Adv Nutr. 2023;14:55-63. doi: 10.1016/j.advnut.2022.10.010.

⁷¹ Zhang M et al. Adv Nutr. 2023; 14:1170-1186. doi: 10.1016/j.advnut.2023.06.007.

⁷² Tutunchi H et al. Public Health Nutr. 2023;26:1196-1209. doi: 10.1017/S1368980022002385.

corroboreés par l'étude de Guo et al. (2017⁷³).

Concernant la mortalité par cancer, la méta-analyse de Zhang et al. (2023⁷¹) actualisée de 25 études avec 30 818 cas parmi 1 378 932 participants n'a trouvé aucune association entre la consommation de fromage et la mortalité globale par cancer (la plus élevée comparée à la plus faible : RR = 1,00 [IC 95 % : 0,97-1,03] P = 0,91 ; I² = 1 %). Les méta-analyses dose-réponse linéaires et non linéaires ont abouti à des conclusions similaires. Deux autres méta-analyses montrent qu'il n'y a pas d'association (RR : 0,99 [IC 95 % : 0,95, 1,03] ; Jin et Je, 2022⁷⁴) ou une relation inverse (RR : 0,71 [IC 95 % : 0,54 – 0,93] ; Jin et al., 2020⁷⁵) entre la consommation totale de produits laitiers et la mortalité par cancer. Quarante-six études comprenant 158 601 cas et 9 539 703 participants ont été inclus dans la méta-analyse de Zhang et al. (2023⁷¹) actualisée pour le risque global de cancer dans la comparaison de l'apport en fromage le plus élevé par rapport à l'apport le plus faible, ce qui a donné un RR non significatif (RR = 0,99 [IC 95 % : 0,97-1,01] P = 0,29 ; I² = 21 %). Les méta-analyses basées sur 24 études ont également montré que chaque augmentation de 30 g/j de la consommation de fromage n'était pas associée au risque global de cancer (RR = 1,00, [IC 95 % : 0,97-1,04] P = 0,79 ; I² = 29 %).

Tutunchi et al. (2023⁷⁶) n'ont pas trouvé d'association significative entre la consommation de yaourt et le risque de mortalité par cancer (pool RR : 0,96 [IC 95 % : 0,89- 1,03] à partir de 12 études incluant un total de 741 973 participants et 20 926 décès. Aucune hétérogénéité significative entre les études n'a été observée (I² = 26,5 % ; P = 0,18). Sur 7 études incluses dans l'analyse dose-réponse, chaque portion (250 g/jour) supplémentaire de yaourt n'a pas été associée à la mortalité par cancer (RR regroupé = 0,95 [IC 95 % : 0,85-1,07, I² = 53,3 %]). Il n'y avait aucune preuve d'association non linéaire (P-non-linéarité = 0,08).

Concernant l'incidence de cancers, dans l'étude prospective française NutriNet-Santé (101 279 participants avec 2503 cas de cancer incidents, 78,7 % de femmes, période de suivi médiane de 5,9 [2,7-8,3] ans), la consommation totale de produits laitiers n'était pas significativement associée au risque d'incidence du cancer (Deschasaux-Tanguy et al., 2022⁷⁷). Cependant, la consommation de fromage blanc était associée à un risque accru de cancer en général (HR pour chaque 100 g supplémentaire = 1,11 [IC 95 % : 1,01-1,21] P-tendance = 0,03) et de cancer colorectal (HR = 1,39 [IC 95 % : 1,09-1,77] P-tendance < 0,01). En outre, la consommation de desserts laitiers sucrés était directement associée au risque de cancer colorectal (HR pour chaque 125 g supplémentaire = 1,58 [IC 95 % : 1,01-2,46] P-trend = 0,046). Aucune association n'a été observée entre la consommation de produits laitiers ou de desserts lactés sucrés et le risque de cancer de la prostate et du sein.

Dans l'étude prospective Nurse health Study (63 847 femmes, 5733 (dont 5298 ménopausées) cas incidents de cancer du sein invasif au cours des 32 années de suivi), la consommation totale de produits laitiers et de lait au cours de la vie, à l'adolescence, à l'âge adulte et après

⁷³ Guo J et al. Eur J Epidemiol. 2017;32:269-287. doi: 10.1007/s10654-017-0243-1.

⁷⁴ Jin S, Je Y. Adv Nutr. 2022;13:1063-1082. doi: 10.1093/advances/nmab135.

⁷⁵ Jin S et al. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev. 2020;29:2309-2322. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-20-0127.

⁷⁶ Tutunchi H et al. Public Health Nutr. 2023;26:1196-1209. doi: 10.1017/S1368980022002385.

⁷⁷ Deschasaux-Tanguy M et al. Int J Cancer. 2022;150:1978-1986. doi: 10.1002/ijc.33935.

la ménopause n'a pas été associée au risque global de cancer du sein (HR non significatif comparant le quintile le plus élevé au quintile le plus bas = 0,97-1,08), bien qu'il y ait eu une association positive suggestive entre la consommation de lait à l'adolescence et le risque de cancer du sein (HR : 1,09 [IC 95 % : 1,00-1,18]) (Riseberg et al., 2023⁷⁸). Une consommation plus élevée de fromage au cours de la vie et de la préménopause a été associée à des risques légèrement plus faibles de cancer du sein (quintile le plus élevé vs. quintile le plus bas, HR pour la consommation de fromage au cours de la vie : 0,90 [IC 95 % : 0,82-0,98]; HR pour la consommation de fromage au cours de la préménopause : 0,89 [IC 95 % : 0,79,-1,00]). Les résultats varient selon le sous-type de tumeur et certaines preuves d'hétérogénéité ont été observées pour une association entre la consommation de lait avant la ménopause et le cancer du sein (HR pour les récepteurs d'oestrogènes [ER] positifs : 0,84 [IC 95 % : 0,72-0,99]; ER négatifs : 1,36 [IC 95 % : 1,00-1,84] ; P hétérogénéité = 0,04).

Concernant la consommation de lait, Jin et Je (2022⁷⁹) ont montré qu'une consommation de 200 g/j de lait était associée à une mortalité globale par cancer plus élevée chez les femmes (RR : 1,04 [IC 95 % : 1,01 - 1,06] I² = 49,1 %, P=0,10) et chez les personnes consommant du lait riche en matières grasses (lait entier) (RR : 1,12 [IC 95 % : 1,01 – 1,23] I² = 76,9 %, P = 0,005). Concernant la mortalité par cause de cancer, l'étude mettait en évidence des risques accrus pour les cancers du foie (RR : 1,13 [IC 95 % : 1,02 - 1,26]), des ovaires (RR : 1,32 [IC 95 % : 1,13 - 1,55]) et de la prostate (RR : 1,23 [IC 95 % : 1,02 - 1,48]). Cependant, les femmes consommant 200 g/j de lait fermenté présentaient un risque de mortalité par cancer plus faible (RR : 0,85 [IC 95 % : 0,77 - 0,94] I² = 0 %, P = 0,77). La même tendance, mais non significative, était observée pour les hommes mais (RR : 0,97 [IC 95 % : 0,93 – 1,01] I² = 0 %, P = 0,36).

Dans une cohorte prospective de 52 795 femmes nord-américaines, initialement exemptes de cancer suivie pendant 7,9 ans, une consommation plus élevée de lait était associée à une augmentation de 50 % (RR = 1,50 [IC 95 % : 1,22 - 1,84]) du risque de cancer du sein (Fraser et al., 2020⁸⁰). Les laits entiers et allégés ont donné des résultats similaires, tandis qu'aucune association n'a été observée avec le fromage et le yaourt. La consommation de lait présentait une corrélation préférentielle avec le cancer du sein ER+/PR+ (oestrogènes & progestérone récepteurs positifs) (Fraser et al. 2020⁸⁰). Une cohorte prospective suédoise de 33 780 femmes suivies par mammographie pendant 16,6 ans a établi un lien entre la consommation à long terme de lait non fermenté et l'augmentation de l'incidence du cancer du sein ER+/PR+ (RR = 1,30 [IC 95 % : 1,02-1,65]) pour une consommation moyenne de lait ≥2 (soit 174 – 298 g/j) vs. 0 portions/jour (Kaluza et al., 2021⁸¹).

Dans leur revue, Mělník et al. (2023⁸²) concluent que les données disponibles provenant d'études de cohortes prospectives ainsi que les connaissances patho-biochimiques sur les synergies entre le lait et les voies de signalisation de la carcinogenèse mammaire identifient la consommation de lait de vache comme un facteur de risque critique pour le cancer du sein ER-positif, en étroite analogie avec l'impact du lait sur la pathogenèse du cancer de la prostate,

⁷⁸ Riseberg E et al. Am J Clin Nutr. 2023;S0002-9165(23)66289-6. doi: 10.1016/j.ajcnut.2023.11.017.

⁷⁹ Jin S, Je Y. Adv Nutr. 2022;13:1063-1082. doi: 10.1093/advances/nmab135.

⁸⁰ Fraser GE et al. Int J Epidemiol. 2020;49:1526-1537. doi: 10.1093/ije/dyaa007

⁸¹ Kaluza J et al. Clin Nutr. 2021;40:1966-1973. doi: 10.1016/j.clnu.2020.09.013.

⁸² Melnik BC et al. Curr Nutr Rep. 2023;12:122-140. doi: 10.1007/s13668-023-00457-0.

le cancer le plus fréquent chez les hommes. Fraser et al. (2020⁸⁰) ont observé une augmentation significative du risque de cancer du sein chez les femmes américaines en cas de consommation quotidienne d'environ 160 ml de lait, indépendamment de la teneur en matières grasses du lait. En accord avec Wehbe et Kreydiyyeh (2022⁸³), Mělník et al. (2023⁸²) invitent à reconsidérer les recommandations concernant la consommation de lait.

Ainsi pour résumer, au-delà de l'importance des produits laitiers pour la couverture des besoins en calcium de l'adulte, leur consommation régulière (excepté le lait) présenterait des bénéfices modérés à neutres pour la santé. Pour le fromage, le bénéfice optimal pour la santé est observé pour une consommation de 35 à 40 g/j. Pour le yaourt, le bénéfice optimal pour la santé est observé pour une consommation de 125 à 200 g/j. Dans les deux cas, il n'y pas de détérioration du risque pour une consommation plus importante.

Le niveau de preuve des bénéfices est insuffisant pour les cancers du sein et de la prostate, et probable pour le cancer colorectal, les maladies cardiovasculaires et le diabète de type 2. Une consommation de plus de 160 g/j de lait (non fermenté) serait quant à elle associée de façon probable à une augmentation du risque de cancer du sein chez la femme et de la prostate chez l'homme.

2.3. Les légumineuses

Tableau 1.3 : Rappel des conclusions du rapport ANSES (2016) sur les relations entre la consommation de légumineuses et le risque de développer une maladie cardiométabolique ou un cancer

Pathologie Mécanismes plausibles	Niveau de preuve	Nature de l'association avec le risque de pathologie
Diabète de type 2	Insuffisant	Pas de relation définie
Maladies cardiovasculaires	Insuffisant	Pas de relation définie

Les légumineuses - ou légumes secs - regroupent entre autres les lentilles, les pois chiches, les haricots secs, les pois cassés et les fèves. Ce sont des aliments riches en fibres mais également sources de protéines et de nombreux micronutriments tels que la vitamine B9, le calcium et le fer. Les légumineuses sont également connues pour contenir des facteurs antinutritionnels tels que les saponines, les tanins ou encore l'acide phytique (Mohan et al., 2016⁸⁴). Les facteurs antinutritionnels présents dans les plantes entravent la biodisponibilité

⁸³ Wehbe Z, Kreydiyyeh S. Nutr Rev. 2022;80:874-888. doi: 10.1093/nutrit/nuab046.

⁸⁴ Mohan, Veerabahu Ramasamy, Pious Soris Tresina and Edison Dalmeida Daffodil. "Antinutritional Factors in Legume Seeds: Characteristics and Determination." (2016).

de composés d'intérêt pour l'alimentation humaine, comme le fer ou le zinc (Petroski et Minich, 2020⁸⁵). Certains facteurs antinutritionnels peuvent toutefois être détruits par un procédé de chauffage : c'est notamment le cas des inhibiteurs de protéase et des antivitamines (Mohan et al., 2016⁸⁴). De plus, les légumineuses contiennent des sucres complexes tels que le raffinoose, le stachyose ou le verbascose qui sont responsables de flatulences en réduisant la digestibilité et la disponibilité des protéines (Mohan et al., 2016⁸⁴). Aujourd'hui, le PNNS 2019-2023 recommande de consommer au minimum 2 portions de légumineuses par semaine (soit à priori 200 g cuits/portion).

Peu consommées à l'heure actuelle en France et dans les pays du Nord, les légumineuses sont peu considérées dans les études d'intervention ou prospectives malgré un a priori très positif sur leurs co-bénéfices potentiels pour la santé et pour l'environnement.

Concernant le risque de mortalité, dans une méta-analyse incluant 32 cohortes prospectives principalement d'Europe et d'Asie, Zargarzadeh et al. (2023⁸⁶) concluent que des apports plus élevés en légumineuses, comparés à des apports plus faibles, sont associés à un risque réduit de mortalité toutes causes confondues (HR : 0,94 [IC 95 % : 0,91-0,98] n = 27 études) et d'AVC (HR : 0,91 [IC 95 %: 0,84-0,99] n = 5 études). Aucune association significative n'a été observée pour la mortalité due aux maladies cardiovasculaires (HR : 0,99 [IC 95 % : 0,91-1,09] n = 11 études), aux maladies coronariennes (HR : 0,93 [IC 95 % : 0,78-1,09] n = 5 études) ou au cancer (HR : 0,85 [IC 95 % : 0,72-1,01] n = 5 études). Dans l'analyse linéaire de la dose-réponse, une augmentation de 50 g/j de la consommation de légumineuses a été associée à une réduction de 6 % du risque de mortalité toutes causes confondues (HR : 0,94 [IC 95 % : 0,89-0,99] n = 19 études). La certitude des preuves a été jugée de faible à modérée.

La méta-analyse de Bhandari et al. (2023⁸⁷) portant sur 3 études prospectives avec un suivi sur plus de 5 ans (total de 1086 cas de mortalité cardiovasculaire) n'a pas conclu à une association entre la consommation de légumineuses et la mortalité cardiovasculaire (Pooled HR fort vs. faible consommation : 0,86 [IC 95 % : 0,53-1,38] P= 0.53 ; I² = 76 %, P-hétérogénéité = 0.006). Une grande hétérogénéité a été observée entre les études incluses. Cependant, une plus grande consommation de légumineuses a été associée à une diminution significative du risque de décès cardiovasculaire (P = 0,02) dans l'analyse dose-réponse. La tendance non linéaire n'était pas significative (P = 0,31). Pour chaque augmentation de 100 g par semaine de la consommation de légumineuses, on observe une réduction de 0,5 % du risque de mortalité cardiovasculaire (HR = 0,995 [IC 95 % : 0,991-0,999]).

Concernant les maladies cardiovasculaires, une méta-analyse basée sur des études d'intervention et observationnelles a conclu que la consommation de légumineuses pouvait contribuer à réduire le risque de maladies cardiovasculaires (RR = 0,94 [IC 95 %:0,89-0,99]) et coronariennes (RR = 0,90 [IC 95 % :0,85-0,96]), mais pas d'AVC (RR = 1,00 [IC 95 %: 0,93-1,08]) (Mendes et al., 2022⁸⁸). En se basant sur un apport témoin sans légumineuse consommée, une portion de 100 g de légumineuses cuites par semaine a été associée à une réduction du risque de maladies cardiovasculaires (RR = 0,97 [IC 95 % : 0,90, 1,04]) et de

⁸⁵ Petroski W, Minich DM. Nutrients. 2020;12:2929. doi: 10.3390/nu12102929.

⁸⁶ Zargarzadeh N et al. Adv Nutr. 2023;14:64-76. doi: 10.1016/j.advnut.2022.10.009.

⁸⁷ Bhandari B et al. Adv Nutr. 2023;14:55-63. doi: 10.1016/j.advnut.2022.10.010.

⁸⁸ Mendes V et al. Nutr Metab Cardiovasc Dis. 2023;3:22-37. doi: 10.1016/j.numecd.2022.10.006.

maladies coronariennes ($RR = 0.91$ [IC 95 %: 0.85, 0.98]), qui s'est encore atténuée pour chaque portion supplémentaire, l'apport optimal se situant à environ 400 g/semaine de légumineuses cuites.

Pour résumer, les légumineuses constituent un groupe d'aliments important pour couvrir les besoins en protéines et en micronutriments dans une assiette végétalisée. Leur consommation régulière, comme recommandé par le PNNS (soit 2 portions de 200 g par semaine, <https://www.mangerbouger.fr/>) présenterait des bénéfices neutres à modérés pour la santé cardiovasculaire. Le niveau de preuve des bénéfices est cependant insuffisant car les données sont limitées, du fait de leur faible niveau de consommation à l'heure actuelle.

2.4. Les produits céréaliers

Tableau 1.4 : Rappel des conclusions du rapport ANSES (2016) sur les relations entre la consommation de produits céréaliers complets et le risque de développer une maladie cardiométabolique ou un cancer

Pathologie Mécanismes plausibles	Niveau de preuve	Nature de l'association avec le risque de pathologie
Diabète de type 2	Probable	Réduction du risque
Hypothèses évoquées : teneurs en éléments bioactifs (magnésium, fibres insolubles, vitamines, lignanes et acide phytique) qui peuvent avoir des effets protecteurs sur le diabète, index glycémique généralement plus bas que celui des céréales raffinées. Les aliments complets, d'une façon générale, et ceux riches en fibres, contribuent à ralentir l'absorption des glucides, ce qui engendre un meilleur contrôle de la glycémie.		
Maladies cardiovasculaires	Probable	Réduction du risque
Hypothèses évoquées : teneurs en éléments bioactifs (magnésium, fibres insolubles, vitamine E, lignanes et acide phytique). Les grains complets contiennent de 20 à 50 % de fibres solubles, qui réduisent le cholestérol et notamment le cholestérol LDL. Les fibres peuvent par leur action sur l'augmentation de la vidange gastrique et l'absorption des macronutriments agir sur les facteurs de risque cardiovasculaire, comme la cholestérolémie et la pression artérielle.		
Cancer colorectal	Probable	Réduction du risque
Hypothèses évoquées : richesse en fibres, en particulier en fibres insolubles qui ont des effets laxatifs. Plus généralement, les fibres augmentent le volume des selles et diluent ainsi les éléments carcinogènes tout en diminuant le temps de transit, ce qui conduit à réduire le contact entre les substances cancérogènes et la paroi colorectale. La fermentation bactérienne liée aux fibres entraîne la production d'acides gras à courtes chaînes dits « volatiles » qui pourraient avoir un effet protecteur contre le développement du cancer colorectal. Teneur en composants susceptibles de réduire le risque de cancer colorectal (antioxydants, vitamines, minéraux traces, phytates, acides phénoliques, phytoestrogènes).		
Cancer de la prostate	Insuffisant	Pas de relation définie

Les produits céréaliers se répartissent en deux groupes : les produits céréaliers complets ou semi-complets et les produits céréaliers raffinés. Les produits céréaliers sont des vecteurs intéressants de protéines, et complémentaires aux protéines des légumineuses, pour un profil

en acides aminés optimal. Par ailleurs, les produits céréaliers complets ont un indice glycémique moins important que celui des céréales raffinées et permettent d'apporter une large gamme de nutriments et de fibres à l'organisme, écartés lors du raffinage des céréales (National Health and Medical Research Council, 2013⁸⁹). Ainsi, la consommation de céréales raffinées est associée à un moindre apport en nutriments intéressants pour la santé. Le PNNS 2019-2023 recommande de consommer au moins une portion de céréales complètes par jour (pain complet, riz complet, pâtes complètes, semoule complète, farine complète).

Concernant les maladies cardiovasculaires, la méta-analyse (n=3 études, 4 groupes) conduite par Bhandari et al. (2023⁹⁰) a montré qu'une consommation élevée à long terme de produits céréaliers complets était associée à une réduction significative de la mortalité cardiovasculaire avec une faible hétérogénéité entre les études (HR groupé : 0,87 [IC 95 % : 0,80-0,95] P = 0,001; I² = 17 %, P-hétérogénéité = 0,31). Chaque augmentation de 10 g/j de la consommation de produits céréaliers complets était associée à une réduction de 4 % du risque de mortalité cardiovasculaire. Cependant, l'une des études n'incluait que des femmes atteintes de diabète de type 2. L'analyse dose-réponse a montré que pour chaque augmentation de 10 g/j de la consommation de produits céréaliers complets, il y a une réduction de 4 % du risque de décès cardiovasculaire (HR = 0,96 [IC 95 % : 0,95-0,98]). Le risque de décès cardiovasculaire était significativement diminué dans le quintile le plus élevé de consommation de produits céréaliers complets (P < 0,0001).

Ces résultats ont été corroborés par une méta-analyse d'études prospectives (Hu et al., 2023⁹¹). Pour une augmentation de 30 g/j de la consommation de produits céréaliers complets, les risques relatifs (RR) d'AVC, de maladies coronariennes, d'insuffisance cardiaque, de maladies cardiovasculaires et de mortalité toutes causes confondues étaient respectivement de 0,98 [IC 95 % : 0,96-1,00; I² = 22,9 %; P hétérogénéité = 0,233], 0,94 [IC 95 % : 0,92-0,97 ; I² = 54,4 %; P hétérogénéité = 0,020], 0,97 [IC 95 % : 0,89-1,07 ; I² = 75,0 %; P hétérogénéité = 0,046], 0,92 [IC 95 % : 0,88-0,96 ; I² = 82,9 %; P hétérogénéité < 0,001] et 0,94 [IC 95 % : 0,92-0,97 ; I² = 89,8 %; P hétérogénéité < 0,001] (Hu et al., 2023⁹²).

De même, d'après Aune et al. (2016⁹³) sur la base de 45 études prospectives, les risques relatifs (RR) pour une augmentation de 90 g/j de la consommation de produits céréaliers complets⁹⁴ étaient de 0,81 (IC 95 % : 0,75-0,87 ; I²=9 %, n=7 études) pour les maladies coronariennes, 0,88 (IC 95 % : 0,75-1,03 ; I²=56 %, n=6 études) pour les accidents vasculaires cérébraux et 0,78 (IC 95 % : 0,73-0,85 ; I²=40 %, n=10 études) pour les maladies cardiovasculaires, avec des résultats similaires lorsque les études étaient stratifiées selon que le résultat était l'incidence ou la mortalité. Les risques relatifs de mortalité étaient de 0,85 (0,80 à 0,91 ; I²=37 %, n=6 études) pour le cancer total, de 0,83 (IC 95 % : 0,77-0,90 ; I²=83 %, n=11 études) pour toutes les causes, de 0,78 (IC 95 % : 0,70-0,87 ; I²=0 %, n=4 études) pour

⁸⁹ National Health and Medical Research Council, 2013, Australian Dietary Guidelines https://www.nhmrc.gov.au/_files_nhmrc/publications/attachments/n55_australian_dietary_guidelines_130530.pdf

⁹⁰ Bhandari B et al. Adv Nutr. 2023;14:55-63. doi: 10.1016/j.advnut.2022.10.010.

⁹¹ Hu H et al. Am J Clin Nutr. 2023;117:149-159. doi: 10.1016/j.ajcnut.2022.10.010.

⁹² Hu H et al. Am J Clin Nutr. 2023;117:149-159. doi: 10.1016/j.ajcnut.2022.10.010.

⁹³ Aune D et al. BMJ. 2016;353:i2716. doi: 10.1136/bmj.i2716.

⁹⁴ 90 g équivalent à trois portions - par exemple, deux tranches de pain et un bol de céréales ou un morceau et demi de pain pita à base de céréales complètes

les maladies respiratoires, de 0,49 (IC 95 % : 0,23-1,05 ; I²=85 %, n=4) pour le diabète, de 0,74 (IC 95 % : 0,56-0,85 ; I²=0 %, n=4 études) pour les maladies cardiovasculaires, 74 (IC 95 % : 0,56-0,96 ; I²=0 %, n=3 études) pour les maladies infectieuses, 1,15 (IC 95 % : 0,66-2,02 ; I²=79 %, n=2 études) pour les maladies du système nerveux, et 0,78 (IC 95 % : 0,75-0,82 ; I²=0 %, n=5 études) pour toutes les causes non cardiovasculaires et non cancéreuses. Des réductions du risque ont été observées jusqu'à une consommation de 210-225 g/jour (sept à sept portions et demie par jour) pour la plupart des résultats. La consommation de certains types de produits céréaliers complets, notamment le pain complet, les céréales complètes pour petit-déjeuner et le son ajouté, ainsi que la consommation totale de pain et de céréales pour petit-déjeuner ont également été associées à une réduction du risque de maladie cardiovasculaire et/ou de mortalité toutes causes confondues.

Pour résumer, la consommation quotidienne de produits céréaliers complets présente de bénéfices probables à convaincants pour la réduction du risque de diabète de type 2, de maladies cardiovasculaires et de cancer colorectal. Les effets bénéfiques cardiovasculaires sont proportionnels à la quantité consommée jusqu'à 210-225 g de produits céréaliers complets par jour.

2.5. Les fruits et légumes

Les fruits et légumes (F&L) sont des aliments riches en fibres, en vitamines, en minéraux, et pauvres en calories (car riches en eau), ce qui leur confère un excellent profil nutritionnel (faible densité énergétique, forte densité nutritionnelle). Ils contribuent faiblement aux apports protéiques. Ils sont considérés comme bénéfiques pour la santé et protecteurs vis-à-vis des maladies cardio-métaboliques. À ce titre, Le PNNS 2019-2023 recommande de consommer au moins 5 fruits et légumes par jour, soit au moins 5 portions de 80 à 100 grammes, en accord avec l'OMS⁹⁵. Il est important de noter qu'il faut encourager une consommation variée afin de bénéficier de l'intégralité de l'effet protecteur de ces aliments (ANSES, 2016).

Concernant les maladies cardiovasculaires, la méta-analyse (n=3 études, 4 groupes) conduite par Bhandari et al. (2023⁹⁶) a montré qu'une consommation élevée à long terme de F&L était associée de manière significative à une moindre mortalité cardiovasculaire pendant le temps de suivi avec une faible hétérogénéité entre les études (HR : 0,72 [IC 95 % : 0,61, 0,85] P < 0,0001 ; I² = 51 %, P-hétérogénéité = 0,13). Les études ayant exploré isolément la consommation de fruits ont mis en évidence un effet protecteur plus important que les F&L combinés (HR : 0,66 [IC 95 % : 0,61-0,72] P < 0,00001; I² = 0 %, P-hétérogénéité = 0,57). Par contraste, les études n'ont pas montré d'association significative entre la consommation de légumes considérée isolément et les maladies cardiovasculaires.

⁹⁵ <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

⁹⁶ Bhandari B et al. Adv Nutr. 2023;14:55-63. doi: 10.1016/j.advnut.2022.10.010.

Tableau 1.5 : Rappel des conclusions du rapport ANSES (2016) sur les relations entre la consommation de fruits et légumes et le risque de développer une maladie cardiométabolique ou un cancer

Pathologie Mécanismes plausibles	Niveau de preuve	Nature de l'association avec le risque de pathologie
Diabète de type 2	Limité suggestif*	Réduction du risque (baies, légumes à feuilles vertes)
Hypothèses évoquées : diminution des apports énergétiques et augmentation de ceux en fibres. Présence de substances bioactives pouvant avoir un effet sur la régulation de la glycémie (complexes antioxydants tels que les caroténoïdes et la vitamine C, autres éléments phytochimiques) notamment pour les légumes à feuilles vertes et les baies. Teneur en magnésium et en polyphénols.		
Maladies cardiovasculaires	Convaincant	Réduction du risque
Hypothèses évoquées : faible densité énergétique. Teneurs en fibres, vitamines et minéraux. Les fibres solubles diminuent le cholestérol plasmatique. La vitamine C, apportée surtout par les fruits et légumes crus, est dotée de propriétés antioxydantes à la base de son activité biologique. La vitamine B9, représentée par le groupe des folates, joue un rôle important dans le métabolisme de l'homocystéine, marqueur de risque de thrombose qui s'accumule dans le plasma lorsque le statut en folates est inférieur à la normale. Les légumes verts sont particulièrement riches en folates. Un apport alimentaire élevé de potassium réduit le risque de développement de l'hypertension artérielle, facteur de risque des MCV. En plus de ces micronutriments essentiels, les fruits et légumes possèdent de nombreuses molécules biologiquement actives, comme les polyphénols (particulièrement abondants dans les petits fruits rouges, et fruits à chair blanche) et les caroténoïdes non-provitaminiques (avec notamment la lutéine des légumes verts et le lycopène de la tomate) contribuant par leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires à la protection contre les MCV.		
Cancer colorectal	Données suggestives mais limitées*	Réduction du risque
Hypothèses évoquées : Fruits : teneur en fibres, antioxydants, vitamines (vitamine C), minéraux (sélénium), et autres composés bioactifs comme les polyphénols (flavonoïdes, caroténoïdes, indoles) qui pourraient favoriser l'activité des enzymes détoxifiantes et réduire le stress oxydatif et l'inflammation. Légumes : teneur en fibres, caroténoïdes, folates, sélénium, flavonoïdes, phytostrogènes, glucosonilates, indoles, dithiolthiones, isothiocyanates... Des études expérimentales suggèrent que certaines de ces molécules pourraient piéger les radicaux libres et les molécules susceptibles de réagir avec l'oxygène et protégeraient ainsi contre les dommages de l'oxydation.		
Cancer du sein	Données suggestives mais limitées*	Réduction du risque (cancer ER-)
Hypothèses évoquées : les antioxydants, les molécules impliquées dans les phénomènes de réparation, de communication cellulaire, dans la répression de mécanismes impliqués dans la prolifération (PKC, c-Jun, c-Fos) ou dans l'induction de l'apoptose (caspases) peuvent jouer un rôle protecteur.		
Cancer de la prostate Légumes (à feuilles, riches en caroténoïdes, crucifères, etc.)	Données suggestives mais limitées*	Réduction du risque
Hypothèses évoquées : Les légumes associés à une réduction de risque génèrent ou contiennent des molécules susceptibles d'être impliquées dans le métabolisme des oestrogènes. Il s'agit notamment des lignanes pour les légumes jaune-orange et, dans une moindre mesure, de l'indole-3-carbinol pour les crucifères.		

* Les données suggèrent une association mais sont insuffisantes pour conclure à une relation causale.

Concernant la prévention du diabète de type 2, une méta-analyse portant sur 23 articles associe une consommation élevée de F&L, par rapport à une faible consommation, à une diminution du risque de développer un diabète de type 2 (Wang et al., 2016⁹⁷). Les résultats confirment que les effets bénéfiques varient selon la catégorie de F&L consommés. Ainsi, le risque de développer un diabète de type 2 était diminué de 9 % pour l'ensemble des fruits (RR : 0,91 [IC 95 % : 0,87-0,96] I²=11,2 %, P = 0,33), de 25 % pour les myrtilles (RR : 0,75 [IC 95 % : 0,66-0,84]), de 13 % pour les légumes à feuilles vertes (RR : 0,87 [IC 95 % : 0,81-0,93] I² = 0,0 %, P = 0,50), de 28 % pour les légumes jaunes (RR : 0,72 [IC 95 % : 0,57-0,90]), de 18 % pour les légumes crucifères (RR : 0,82 [IC 95 % : 0,67-0,99]) et de 6 % pour les fibres de légumes (RR : 0,94 [IC 95 % : 0,86-1,03] I²=53,4 %, p=0,005) (Wang et al., 2016). Il n'y avait pas d'association significative avec la consommation de fibres de fruits (RR : 1,00 [IC 95 % : 0,99-1,02] I²=1,5 %, P = 0,44), ce qui indique d'autres nutriments ou substances bioactives. Pour la consommation de F&L combinés, le RR ajusté était de 0,95 ([IC 95 % : 0,90-1,02] I²=34,4 %, p=0,14) pour la consommation la plus élevée par rapport à la consommation la plus faible.

Dans une autre méta-analyse d'études prospectives (Aune et al., 2017⁹⁸), le RR pour 200 g/jour de F&L était de 0,92 ([IC 95 % : 0,90-0,94] I² = 0 %, p=0,96) pour les maladies coronariennes, 0,84 ([IC 95 % : 0,76-0,92] I² = 73 %, p< 0,0001) pour les accidents vasculaires cérébraux, 0,92 ([IC 95 % : 0,90-0,95] I² = 31 %, p=0,13) pour les maladies cardiovasculaires, 0,97 ([IC 95 % : 0,95-0,99] I² = 49 %, p=0,03) pour le cancer total et 0,90 ([IC 95 % : 0,87-0,93] I² = 83 %, p<0,0001) pour la mortalité toutes causes confondues. Des associations similaires ont été observées pour les F&L analysés séparément. Des réductions du risque ont été observées jusqu'à 800 g/jour de fruits et légumes pour tous les résultats, à l'exception du cancer (600 g/jour).

Concernant les risques de cancer, une revue systématique de méta-analyses (Yip et al., 2019⁹⁹) montre que pour chaque augmentation de 100 g de fruits (hors fruits en conserve) par jour, le risque était réduit à 0,56 [IC 95 % : 0,42 - 0,74] pour le cancer de l'œsophage et à 0,72 [IC 95 % : 0,59 - 0,87] pour le cancer de la bouche, du pharynx et du larynx. Pour chaque augmentation de 100 g de légumes (hors légumes marinés) par jour, le risque était diminué à 0,88 [IC 95 % : 0,80 - 0,95] pour le cancer des cellules rénales, suivi de 0,89 [IC 95 % : 0,84 - 0,95] pour le lymphome non hodgkinien. Les premiers 200 g/jour de consommation étaient associés aux effets protecteurs les plus marqués, peu d'augmentation supplémentaire étant observée au-delà de 300 g/jour de consommation.

Une méta-analyse d'études d'observation a montré que les légumes (RR = 0,76 [IC 95 % : 0,63-0,91]), les légumes crucifères (RR = 0,81 [IC 95 % : 0,70-0,94]), les légumes combinés vert foncé et jaune/orange (RR = 0,64 [IC 95 % : 0,42-0,97]) et les fruits (RR = 0,81 [IC 95 % : 0,70-0,92]) étaient fortement associés à une réduction du risque de cancer de l'endomètre (Lu et al., 2023¹⁰⁰).

⁹⁷ Wang PY et al. J Diabetes Investig. 2016;7:56-69. doi: 10.1111/jdi.12376.

⁹⁸ Aune D et al. Int J Epidemiol. 2017;46:1029-1056. doi: 10.1093/ije/dyw319.

⁹⁹ Yip CSC et al. J Acad Nutr Diet. 2019;119:464-481. doi: 10.1016/j.jand.2018.11.007.

¹⁰⁰ Lu YT et al. Eur J Clin Nutr. 2023;77:561-573. doi: 10.1038/s41430-022-01213-3.

Les associations entre l'apport en fibres alimentaires de différents types [total, soluble et insoluble] et de différentes sources (fruits, légumes, céréales complètes, légumineuses, pommes de terre et tubercules) et le risque de maladies cardiovasculaires, de cancer, de diabète de type 2 et de mortalité ont été analysées dans la cohorte prospective NutriNet-Santé (2009-2019, 107 377 participants) (Partula et al., 2020¹⁰¹). Le risque de diabète de type 2 était inversement associé à l'apport en fibres totales (HR pour le quintile 5 comparé au quintile 1 : 0,59 [IC 95 % : 0,42-0,82] P-tendance <0,001), en fibres solubles (HR : 0,77 [IC 95 % : 0,56-1,08] P-tendance = 0,02), et en fibres insolubles (HR : 0,69 [IC 95 % : 0,50, 0,96] P-tendance = 0,004). L'apport en fibres solubles était associé à une diminution du risque de maladies cardiovasculaires (HR : 0,80 [IC 95 % : 0,66-0,98] P-trend = 0,01) et de cancer colorectal (HR : 0,41 [IC 95 % : 0,21-0,79] P-trend = 0,01). L'apport en fibres insolubles était inversement associé à la mortalité par cancer ou par maladies cardiovasculaires (HR : 0,65 [IC 95 % : 0,45-0,94] P-trend = 0,02). La consommation de fibres totales a été associée à une diminution du risque de cancer du sein (HR : 0,79 [IC 95 % : 0,54, 1,13] P-trend = 0,04). La consommation de fibres provenant de fruits était inversement associée au risque de diabète de type 2, de maladies cardiovasculaires et de maladies cérébrovasculaires.

Une consommation élevée de F&L peut augmenter **l'exposition aux pesticides** (ce risque est considérablement plus bas pour les céréales, Åkesson et al., 2023¹⁰²). Une étude prospective sur 68 844 participants d'une cohorte suédoise de mammographie et d'une cohorte d'hommes suédois, montre qu'au cours des 15 années de suivi (1998-2014), 16 527 décès ont été enregistrés, dont 6 238 dus à des maladies cardiovasculaires et 5 364 à des cancers (Åkesson et al., 2023¹⁰²). Les concentrations de résidus de pesticides détectées dans les aliments sur le marché suédois (1996-1998), principalement les F&L, ont été obtenues par le biais de programmes de surveillance. Pour évaluer les effets de mélange, les auteurs ont additionné pour chaque aliment les ratios de la concentration moyenne de résidus de chaque pesticide divisée par la dose journalière admissible, afin de créer pour chaque participant un indice de risque alimentaire lié aux pesticides (ajusté en fonction de l'apport énergétique et exprimé par kilogramme de poids corporel). Les auteurs n'ont pas mis en évidence d'augmentation du risque de mortalité pour les indices de risques d'exposition aux pesticides les plus élevés par rapport aux plus faibles. Une consommation élevée de F&L, par rapport à une faible consommation, était associée à une réduction du risque de mortalité par maladies cardiovasculaires (HR : 0,82 [IC 95 % : 0,75-0,90] et par cancer (HR : 0,82 [IC 95 % : 0,75-0,91].

Une étude Canadienne a évalué les risques et les avantages pour la santé associés à la consommation chronique de F&L contenant des résidus de pesticides dans la province de Québec, au Canada (Valcke et al., 2017¹⁰³). Sur la base d'un échantillon représentatif de Québécois (n=4727, âgés de 1 à 79 ans) participant à l'enquête canadienne sur la nutrition, l'exposition alimentaire chronique moyenne de la population par la consommation de F&L a été évaluée pour 169 ingrédients actifs de pesticides différents (PAI), dont 135 pour lesquels des valeurs toxicologiques de référence (VTR) étaient disponibles dans la littérature. Les auteurs ont conclu que manger des F&L présenterait plus d'avantages pour la santé que les risques éventuels liés aux pesticides qu'ils pourraient contenir (Valcke et al., 2017¹⁰³).

¹⁰¹ Partula V et al. Am J Clin Nutr. 2020;112:195-207. doi: 10.1093/ajcn/nqaa063.

¹⁰² Åkesson A et al. Environ Int. 2023;182:108346. doi: 10.1016/j.envint.2023.108346.

¹⁰³ Valcke M et al. Environ Int. 2017;108:63-74. doi: 10.1016/j.envint.2017.07.023.

Toutefois, les auteurs précisent que des incertitudes subsistent.

Une étude combinant les données des cohortes prospectives longitudinales américaines incluant 137 378 femmes (Nurse Health Studies I et II, suivis sur 21 à 22 ans) et 23 502 hommes (Health Professionals Follow-Up Study, suivi sur 22 ans) sans maladie cardiovasculaire, cancer ou diabète au départ, montre que les consommateurs de ≥4 portions/jour de F&L à faible teneur en résidus de pesticides présentaient un risque de mortalité sur la durée de l'étude inférieur de 36 % [IC 95 % : 32-41 %] par rapport aux participants en ayant consommé <1 portion/jour (Sandoval-Insausti et al., 2022¹⁰⁴). L'estimation correspondante pour la consommation de F&L à forte teneur en résidus de pesticides était de 0,93 [IC 95 % : 0,81-1,07], c'est-à-dire qu'il n'y avait aucun effet santé significatif associé à la consommation de ces F&L à forte teneur en résidus de pesticides (ni protecteur, ni délétère). Cette tendance était similaire pour les trois causes de décès les plus fréquentes (maladies cardiovasculaires, cancer et maladies respiratoires) (Sandoval-Insausti et al., 2022¹⁰⁴). Une étude de la même équipe et basée sur les mêmes cohortes (Chiu et al., 2019¹⁰⁵) montre les mêmes résultats pour le risque de maladies coronariennes.

Pour résumer, la consommation quotidienne de F&L est associée à une réduction probable du risque de diabète de type 2 et convaincante du risque de maladies cardiovasculaires. Les niveaux de preuve pour la réduction du risque de cancers, notamment colorectal, du sein et de la prostate, sont suggestifs. Les effets bénéfiques sont observés jusqu'à 800 g/jour de fruits et légumes pour les maladies cardiovasculaires. Ils sont observables dès 200 g/jour de fruits et légumes et jusqu'à 600 g/jour pour les cancers, toutes causes confondues. Si manger des F&L semble présenter plus d'avantages pour la santé que les risques éventuels liés à leur teneur en pesticides, les effets bénéfiques de la consommation de F&L pourraient être réduits lorsque leur teneur en pesticides est élevée.

3. Présentation du PNNS 4 et comparaison des recommandations alimentaires aux données de consommation réelle dans la population française (INCA3)

L'ANSES réalise des études sur les consommations et habitudes alimentaires de la population française métropolitaine au travers d'enquêtes individuelles. L'étude INCA3 est la dernière en date et a mobilisé 3157 adultes de 18 à 79 ans, ainsi que des enfants (ANSES, 2017¹⁰⁶). À l'aide des tableaux fournis dans le rapport de cette étude, il est possible de comparer la consommation réelle de la population française à la consommation recommandée par le PNNS 4. Ainsi, le Tableau 1.6 (page suivante) indique, pour chaque catégorie faisant l'objet d'une recommandation de consommation, la consommation moyenne en g/j calculée d'une

¹⁰⁴ Sandoval-Insausti H et al. Environ Int. 2022;159:107024. doi: 10.1016/j.envint.2021.107024.

¹⁰⁵ Chiu YH et al. Environ Int. 2019;132:105113. doi: 10.1016/j.envint.2019.105113.

¹⁰⁶ ANSES, INCA3, Rapport d'Expertise Collective 2017.

part sur l'ensemble des adultes de INCA3 (y compris les éventuels non-consommateurs de la catégorie) et, d'autre part, en ne prenant compte que les seuls consommateurs de la catégorie considérée. Il s'agit de poids « tels que consommés », c'est-à-dire après préparation culinaire (cuisson, épluchage, parage, etc.) ; notamment, pour les pâtes, le riz, les légumineuses, etc., il s'agit de poids cuits.

Tableau 1.6 : Comparaison des recommandations de consommation alimentaire du PNNS 4 à la consommation réelle des Français (moyenne des consommations des adultes de 18 à 79 ans) selon l'étude INCA3

Composante PNNS	Équivalence (g) pour une portion ^a	Recommandation PNNS 4	Consommation moyenne des adultes g/j ^c	Consommation moyenne des seuls consommateurs en g/j ^c et taux de consommateurs dans la population française (%) ^c
Produits laitiers ^a	Lait : 125 g Yaourt / fromages blancs : 125 g Fromage : 30 g	2 portions de produits laitiers par jour	Lait : 75 g Yaourt /fromages blancs : 77 g Fromage :31 g	Lait : 172,3 g (43,7 %) Yaourt / fromages blancs :111,8 g (68,6 %) Fromage : 38,5 g (80,4 %)
Fruits et légumes ^b	80 g	Au moins 5 portions (≥ 400 g) de fruits et de légumes par jour	Légumes ^b : 131 g Fruits ^b : 130 g	Légumes ^b : 140 g (93,4 %) Fruits ^b : 165,4 g (78,6 %)
Fruits à coque	15 g	Une petite poignée par jour	3 g	15 g (20,9 %)
Légumineuses	200 g (cuites)	Au moins 2 portions par semaine	7,7 g	52,4 g (14,7 %)
Poissons ^a	100 g	1 portion de poisson gras + 1 portion de poisson maigre par semaine	23 g	54 g (42,5 %)
Viande hors volaille	100 g	Réduire la consommation : maximum 500 g/semaine	47,3 g	69,2 g (68,3 %)
Volaille	100 g	Privilégier la volaille (parmi les viandes)	26 g	52,9 g (49,1 %)
Charcuterie	50 g	Réduire la consommation : maximum 150 g par semaine	27,3 g	40,9 g (66,9 %)
Produits céréaliers	Produits céréaliers (en général) : 200 g	Privilégier des produits céréaliers complets : au moins 1 portion par jour	Produits céréaliers raffinés Pâtes, riz, blé et autres céréales raffinées : 63 g Pain et panification sèche raffinés : 108 g Produits céréaliers complets et semi-complets Pâtes, riz, blé et autres céréales complètes et semi-complètes : 1,6 g Pain et panification sèche complets ou semi-complets : 6,3 g	Produits céréaliers raffinés Pâtes, riz, blé et autres céréales raffinées : 90,8 g (69,0 %) Pain et panification sèche raffinés : 116,3 g (92,9 %) Produits céréaliers complets et semi-complets Pâtes, riz, blé et autres céréales complètes et semi-complètes : 47,1 g (3,4 %) Pain et panification sèche complets ou semi-complets : 39,5 g (16 %)
Œufs	60 g	<i>Pas de recommandation</i>	12,6 g	40,6 g (3,1 %)
Matières grasses	15 g	Privilégier l'huile de colza et de noix	Matières grasses animales : 9 g Matières grasses végétales : 7,5 g	Matières grasses animales : 13,3 g (67,6 %) Matières grasses végétales : 9 g (76,3 %)

^a Dans ce tableau, la catégorie des produits laitiers n'inclut pas les desserts lactés sucrés, la catégorie poisson n'inclut pas les fruits de mer.

^b La portion de fruits et légumes est de 80 g, en cohérence avec les recommandations de consommation de ce groupe d'aliments (PNNS 4).

La composante « Fruits » de l'étude INCA3 prend en compte les fruits frais et séchés mais pas les jus de fruits (regroupés dans cette étude avec les jus de légumes), ni la catégorie compote et fruits au sirop (seulement 13,6 % de consommateurs). La composante « Légumes » ne comporte pas les soupes et bouillons.

^c Les quantités de consommation extraites ici de l'étude INCA3 ne prennent pas en compte les aliments pouvant être contenus dans les plats préparés (qu'ils soient achetés dans le commerce ou cuisinés « maison »). Ce choix a été fait en raison du manque de détails de la catégorie « plats préparés » et du faible taux de consommation (0,4 % des aliments) de ce groupe d'aliments, mais un léger biais sur les valeurs proposées existe.

La comparaison des données INCA3 aux recommandations du PNNS 4 met en évidence une trop faible consommation de produits végétaux. La quantité moyenne consommée de fruits et légumes pour l'ensemble de la population représente 65 % des 400 g recommandés (sachant que cette valeur ne prend pas en compte les jus, les soupes, les compotes ni les plats mixtes comprenant des légumes comme ingrédients). Quant aux légumineuses, fruits à coque et produits céréaliers complets et semi-complets, ils sont quasiment absents de l'alimentation. Il est toutefois intéressant de noter que, pour la faible proportion de consommateurs de légumineuses (14,7 % de la population), la quantité consommée (50 g/j) correspond aux recommandations du PNNS 4. De même pour les fruits à coque, la proportion de consommateurs est de 20,9 % de la population et la consommation correspond aux recommandations du PNNS 4. Le groupe des céréales complètes est très faiblement consommé puisque seulement 3,4 % de la population en consomme. D'une façon globale, la consommation de produits d'origine végétale est nettement inférieure aux recommandations alimentaires actuelles.

Concernant les consommations de produits animaux, pour la viande hors volaille, les quantités consommées ne dépassent pas, en moyenne, la quantité maximale recommandée de 500 g par semaine. Il faut cependant noter que les seuls consommateurs de viande hors volaille en consomment 484 g par semaine. Les viandes hors volaille et charcuterie sont actuellement plus consommées que la volaille qui devrait être privilégiée selon les recommandations du PNNS 4 (la volaille représente en moyenne 26 % des produits carnés consommés). Concernant la charcuterie, la consommation moyenne dépasse la quantité maximale recommandée de 150 g par semaine. Il faut noter que les seuls consommateurs de charcuterie en consomment 286 g par semaine. Selon l'enquête Esteban (2014-2016)¹⁰⁷, 24 % des femmes et 41 % des hommes consomment 500 g ou plus de viandes rouges par semaine. De plus, 57 % des femmes et 70 % des hommes mangent 150 g ou plus de charcuteries par semaine.

Enfin, la consommation de produits laitiers correspond aux recommandations du PNNS 4 avec une moyenne de 2 portions de produits laitiers par jour. Il faut noter cependant que les seuls consommateurs de lait en consomment en moyenne 172,3 g par jour, qui est au-delà de la quantité de lait (non fermenté) associée de façon probable à une augmentation du risque de cancer du sein chez la femme et de la prostate chez l'homme (soit 160 g/j, cf. section 2.2.).

Il est intéressant de noter qu'il n'y a pas de recommandation précise concernant la volaille et les œufs. Les informations du PNNS 4 précisent seulement qu'il faut privilégier la consommation de volaille, car celle-ci ne constitue pas un facteur de risque de cancer colorectal comme la viande rouge.

¹⁰⁷ Torres MJ et al. Adéquation aux nouvelles recommandations alimentaires des adultes âgés de 18 à 54 ans vivant en France. Étude Esteban 2014-2016. Volet Nutrition - Surveillance épidémiologique. Saint-Maurice : Santé publique France ; 2019. 8 p. Disponible sur www.santepubliquefrance.fr

Partie 2 - Les régimes alimentaires proposés par les scénarios de systèmes alimentaires durables

1. La nécessité de prendre en compte les enjeux environnementaux pour une alimentation à la fois saine et durable

L'intensification des impacts environnementaux des activités humaines, dont l'agriculture, a progressivement fait émerger un nouvel enjeu en matière d'alimentation : sa durabilité environnementale. En effet, nos modes de production et de consommation alimentaires ont des conséquences importantes sur les écosystèmes et participent au dépassement de 6 des 9 limites planétaires, parmi lesquelles le changement climatique, l'érosion de la biodiversité et la perturbation des cycles de l'azote et du phosphore¹⁰⁸. Au niveau mondial, l'alimentation est en effet à l'origine de 70 % de l'utilisation de l'eau douce, 80 % de la perte biodiversité par l'expansion d'usage des sols, et 80 % de la pollution aux nitrates et aux phosphates¹⁰⁹.

En ce qui concerne le climat, le système agricole et alimentaire est responsable de 34 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial¹¹⁰. En France, notre alimentation représente 22 % de l'empreinte carbone nationale¹¹¹ - un chiffre qui ne prend pas en compte les émissions liées à la déforestation, et à la destruction d'autres écosystèmes naturels à l'étranger, provoquées par l'intensification des pratiques agricoles sur le territoire national. A l'échelle de la France, 60 % de ces émissions sont issus de l'étape de la production agricole (voir Figure 1 en introduction du rapport). Ainsi, c'est avant tout du type et de la quantité des aliments présents dans nos assiettes (fruits, légumes, produits laitiers, viande, etc.), ainsi que de leur mode de production (intensif, extensif ou biologique, utilisant plus ou moins des engrangements et pesticides de synthèse, etc.), que résulte l'impact de notre alimentation sur le climat.

Les études scientifiques montrent que les produits d'origine animale représentent la majeure partie de l'impact carbone de notre alimentation¹¹². En effet, l'élevage est un contributeur

¹⁰⁸ EAT-Lancet, 2019, Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. URL: <https://www.thelancet.com/commissions/EAT> ; Persson L. et al., 2022, "Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities", in *Environ. Sci. Technol.* 56, 3, 1510–1521. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c04158>

¹⁰⁹ IPES-Food. 2017. Unravelling the Food–Health Nexus: Addressing practices, political economy, and power relations to build healthier food systems. The Global Alliance for the Future of Food and IPES-Food. URL : https://www.ipes-food.org/_img/upload/files/Health_FullReport%281%29.pdf

¹¹⁰ Crippa M. et al., 2021, Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions, *Nature Food* volume 2, pp. 198-209. <https://www.nature.com/articles/s43016-021-00225-9>

¹¹¹ Sdes (2022) « [La décomposition de l'empreinte carbone de la demande nationale de la France par postes de consommation : transport, alimentation, habitat, équipements et services](#) » Document de travail n°59, p.32.

¹¹² Xu X., et al. (2021). [Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods](#), *Nature Food*, 2, 724-732.

Poore J., & Nemecek, T. (2018). [Reducing food's environmental impacts through producers and consumers](#), *Science*, Vol 360, Issue 6392, pp. 987-992.

important aux émissions de gaz à effet de serre directement par les émissions de méthane rejetées par les ruminants et de protoxyde d'azote issues des déjections animales, et indirectement par l'intermédiaire de la production de l'alimentation des animaux qui nécessite l'utilisation d'engrais azotés et participe fortement au changement d'affectation des terres et à la déforestation. Ainsi, l'élevage représente environ 14,5 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'origine anthropique¹¹³. En France, la consommation de produits d'origine animale représente 61 % de l'impact carbone de notre alimentation (boissons incluses)¹¹⁴.

Par ailleurs, les systèmes d'élevage contribuent également à d'autres impacts environnementaux comme la pollution de l'air (émission d'ammoniaque lors de la gestion des effluents) et l'eutrophisation des milieux (perte de nitrates). Les élevages intensifs contribuent également à l'érosion de la biodiversité, en raison de leur consommation massive de céréales dont la culture utilise des quantités importantes de produits phytosanitaires et d'engrais de synthèse. A l'inverse, les modes d'élevages plus durables (élevage biologique, en plein air, pâturage extensif pour les ruminants...), s'ils sont également émetteurs de gaz à effet de serre, ont globalement moins d'impacts environnementaux et ont également des impacts positifs en matière de stockage du carbone dans les prairies et de préservation de la biodiversité (haies et autres infrastructures agroécologiques)¹¹⁵.

Par conséquent, un nombre croissant d'instances et de travaux scientifiques concluent à la nécessité de réduire la consommation de viande et de produits laitiers et d'augmenter celle d'aliments végétaux (fruits et légumes, légumineuses, céréales complètes et fruits à coque), tout en privilégiant des modes de culture et d'élevage durables. C'est en particulier le cas du dernier rapport du GIEC, qui identifie l'adoption de régimes alimentaires plus riches en aliments végétaux comme un levier majeur de réduction des émissions de gaz à effet de serre, et valorise le développement des modèles agroécologiques pour leur adaptation et leur résilience face au changement climatique¹¹⁶. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime également que « de nombreux éléments plaident en faveur d'une réorientation des populations vers des alimentations majoritairement végétales saines qui réduisent ou éliminent la consommation de produits animaux et maximisent les effets favorables de type « Une seule santé » sur les santés humaine, animale et environnementale »¹¹⁷. En France, la réduction de la consommation de protéines animales dans le cadre d'une alimentation plus végétale est également préconisée par France Stratégie dans son rapport *Pour une alimentation durable*, par le Conseil national de l'alimentation, dans son avis 90¹¹⁸ et par le

¹¹³ Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., et al. (2013). Greenhouse Gas Emissions from the ruminant supply chains: A Global Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

¹¹⁴ C'est la part représentée par la viande, les œufs et les produits laitiers dans les émissions de l'alimentation des Français n'incluant pas les émissions liées aux boissons. Source :

<https://www.carbone4.com/myco2-empreinte-moyenne-evolution-methodo>

¹¹⁵ Réseau Civam et Réseau Action Climat (2023). [Résilience de l'agroécologie face aux crises économiques et climatiques](#).

¹¹⁶ GIEC, Special Report : Special Report on Climate Change and Land, Chapter 5: Food Security.

¹¹⁷ OMS (2021). [Plant-based diets and their impact on health, sustainability and the environment: a review of the evidence](#), WHO European Office for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases, p.6.

¹¹⁸ Conseil National de l'Alimentation (2022). [Nouveaux comportements alimentaires : propositions d'actions pour une alimentation compatible avec des systèmes alimentaires durables](#). Avis n°90.

Haut Conseil pour le Climat¹¹⁹.

En outre, les scénarios de systèmes alimentaires durables estiment qu'un régime réduisant de façon importante la consommation de protéines animales et augmentant la consommation d'aliments végétaux (fruits et légumes, légumineuses, céréales complètes et fruits à coque), associé à une évolution vers des pratiques agricoles plus économies en intrants, est indispensable afin de limiter le réchauffement climatique et de ne pas dépasser les limites planétaires. La section suivante passe en revue les modélisations de régimes alimentaires de ces scénarios, qui convergent notamment sur la nécessité de réduire la consommation de viande de moitié en France et dans les autres pays occidentaux où celle-ci est particulièrement élevée.

2. État des lieux des régimes alimentaires dans les modèles et scénarios prospectifs de systèmes agricoles et alimentaires durables

Dans cette partie, nous passons en revue les caractéristiques des régimes alimentaires dans les scénarios de systèmes alimentaires durables et dans la modélisation du « régime santé planétaire » (*Planetary Health Diet*) ou « régime planétaire » établi par les scientifiques de la commission EAT de la revue *Lancet*, ou commission EAT-Lancet. En ce qui concerne le choix des scénarios, nous avons sélectionné ceux qui étaient compatibles avec les objectifs de la France d'atteindre la neutralité carbone et de réduire les émissions de gaz à effet de serre de son secteur agricole de 46 % d'ici 2050¹²⁰. Nous avons par conséquent retenu les scénarios Afterres2050 réalisé par Solagro, TYFA-GES (Ten Years For Agroecology – Gaz à effet de serre) élaboré par l'IDDR, Pulse Fiction proposé par WWF France ainsi que les scénarios S1 et S2 modélisés par l'ADEME dans le cadre de son projet Transition(s) 2050¹²¹. Les scénarios S3 et S4 du même projet et le scénario TYFA de l'IDDR n'ont pas été retenus car ils ne sont pas compatibles avec la réduction des émissions du secteur agricole de 46 % d'ici 2050 (voir les détails sur ce point en section 2.5.).

¹¹⁹ Haut Conseil pour le Climat (2024). [Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste](#).

¹²⁰ Ces objectifs sont fixés par la [Stratégie nationale bas-carbone](#) (SNBC) adoptée en 2015 et actualisée en 2020.

¹²¹ Il convient de noter que les régimes alimentaires établis par la plupart de ces scénarios concernent uniquement la population adulte bien portante et ne prennent pas en considération les besoins spécifiques des enfants, des femmes enceintes ou allaitantes et des personnes âgées par exemple.

2.1. Le « régime planétaire » de la commission EAT-Lancet

L'objectif du rapport EAT-Lancet est de « parvenir à des régimes sains pour l'homme et la planète pour 10 milliards de personnes d'ici 2050 »¹²². Cela se traduit par la proposition d'un consensus pour un régime sain et respectueux de l'environnement à l'échelle planétaire, en se basant sur la littérature scientifique, en particulier relative aux limites planétaires¹²³. La commission EAT-Lancet se compose de 19 commissaires et 18 co-auteurs issus de 16 pays différents, dotés d'expertise dans divers domaines dont la santé humaine, l'agriculture et les sciences politiques et environnementales.

Selon la commission EAT-Lancet, une alimentation saine doit optimiser la santé humaine, définie par l'OMS comme un état de bien-être physique complet, mental et social et non simplement comme une absence de maladie. Sur la base d'une revue des connaissances en nutrition, et notamment des liens entre alimentation et santé, la commission EAT-Lancet a proposé un régime sain dit « planétaire ». Ce régime est caractérisé par un apport calorique suffisant et une alimentation diversifiée, avec une majorité d'aliments d'origine végétale et des quantités modérées à nulles d'aliments d'origine animale. En effet, pour chaque groupe d'aliments, une fourchette est indiquée, avec la valeur basse de la fourchette souvent située à 0 g, notamment pour les produits animaux mais aussi pour les sources de protéines végétales. En plus de ces fourchettes, une quantité cible est proposée pour chaque groupe d'aliments, et ce sont ces quantités cibles qui constituent le régime EAT-Lancet dit « de référence », comme indiqué dans le tableau 2.1 page suivante.

La mise en pratique du régime EAT-Lancet de référence implique d'importants changements par rapport aux régimes alimentaires actuels. Elle comprend plus d'un doublement de la consommation d'aliments favorables à la santé tels que les fruits, légumes, légumineuses et fruits oléagineux, ainsi qu'une réduction de plus de 50 % de la consommation d'aliments dont une consommation excessive est mauvaise pour la santé, tels que les sucres ajoutés et la viande rouge (principalement dans les pays les plus développés où celle-ci est très élevée). D'après les scientifiques du EAT-Lancet, cette végétalisation de l'alimentation aura des effets bénéfiques importants sur la santé humaine, mais pour que ces changements des consommations alimentaires soient compatibles avec le respect des limites planétaires, ils doivent aussi être accompagnés de la mise en place de systèmes de production alimentaire respectueux de l'environnement et d'une lutte contre les pertes et gaspillages¹²². Ainsi, pour le EAT-Lancet, les systèmes alimentaires actuels doivent nécessairement évoluer vers :

- une végétalisation de la consommation alimentaire ;
- de fortes réductions des pertes et gaspillages alimentaires ;
- des améliorations majeures des pratiques de production agricole et alimentaire¹²⁴.

¹²² Willett, W., et al. (2019). [Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems](#). *The Lancet Commission*, 393(10170), 447-792.

¹²³ Steffen, W., et al. (2015). [Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet](#). *Science*, 347(6223).

¹²⁴ Voir le [rapport de la commission du EAT-Lancet](#) pour plus de détails sur l'évolution des systèmes de production et l'ensemble des changements requis dans les systèmes alimentaires, qui dépassent le périmètre de la présente étude.

Tableau 2.1 : Régime planétaire (fourchettes et régime dit « de référence ») établi par la commission EAT-Lancet^{125, 126}

Catégories d'aliments	Quantités (valeurs de référence et fourchettes de consommation) (g/jour/personne)
Céréales complètes	232 (600 de céréales complètes cuites)
Tubercules / légumes féculents	50 (0 à 100)
Légumes	300 (200 à 600)
Fruits	200 (100 à 300)
Produits laitiers	250 (0 à 500)
Sources de protéines animales	
Boeuf, agneau, porc	14 (0 à 28)
Poulet et autres volailles	29 (0 à 58)
Œufs	13 (0 à 25)
Poisson	28 (0 à 100)
Sources de protéines végétales	
Légumineuses	75 (soit 225 g de légumineuses cuites) (0 à 100 soit 0 à 300 de légumineuses cuites)
Fruits oléagineux	50 (0 à 75)
Graisses ajoutées	
Huiles insaturées	40 (20 à 80)
Huiles saturées	11,8 (0 à 11,8)
Sucres ajoutés	31 (0 à 31)

NB : Les quantités sont exprimées en poids avant cuisson et le total des quantités de référence correspond à un apport de 2500 kcal par jour.

¹²⁵ Willett W., Rockström, J., & EAT-Lancet Commission (2019). Healthy diets from sustainable food systems - Food planet health. EAT.

¹²⁶ Pour rappel, les figures et tableaux font l'objet d'une numérotation spécifique dans chaque partie.

2.2. Le scénario Afterres2050 de Solagro

Le scénario Afterres2050 a été produit par Solagro dans le cadre d'une démarche collaborative incluant agriculteurs, scientifiques, institutions et citoyens, et mobilise une approche bilan via le modèle MoSUT (Modèle Systémique d'Utilisation des Terres). Ce scénario présente une assiette théorique pour la France, prenant en compte l'ensemble des impacts environnementaux, afin de proposer un régime sain, équilibré et durable¹²⁷. Ce scénario propose de plus les variantes suivantes :

- SAB (Santé, Alimentation, Biodiversité), qui généralise l'agriculture biologique et les systèmes de production sans phytosanitaires.
- REP (Résilience & Production), qui privilégie la production photosynthétique pour augmenter le captage du carbone.

L'assiette moyenne Afterres2050 voit la quantité de céréales augmenter, et celles de viande et de produits laitiers diminuer respectivement d'environ 50 % et 20 % par rapport au niveau de 2020. La consommation de poissons est divisée par 3 du fait de la faible disponibilité des ressources halieutiques à l'heure actuelle et dans le futur. Les légumineuses prennent une place nettement supérieure avec une quantité approximativement multipliée par 3, tandis que la quantité de fruits à coque est quasiment doublée (voir le tableau 2.2 page suivante).

Les scénarios réalisés par Solagro indiquent qu'une évolution conjointe des systèmes agricoles et des régimes alimentaires permettrait de :

- Diviser par 2 les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture.
- Diviser par 3 les traitements phytosanitaires sur les cultures et par 2,5 la consommation d'azote minéral (engrais chimique).
- Diviser par 2 les prélèvements d'eau pour l'irrigation des cultures d'été avec des productions plus diversifiées.
- Diviser par 2 la consommation d'énergie et mobiliser la biomasse agricole et forestière.

¹²⁷ Couturier, C., Charru, M., Doublet, S., & Pointereau, P. (2016). [Le scénario Afterres2050 version 2016](#), Solagro.

Tableau 2.2 : Comparaison entre l'alimentation observée en France en 2020 et l'assiette Afterres2050¹²⁸

Catégorie d'aliments	Quantités en 2020 (g équivalent primaire/jour/personne)	Quantités dans Afterres 2050 (g équivalent primaire /jour/personne)
Céréales	382	404
Fruits	243	273
Légumes	278	312
Pommes de terre	145	148
Fruits à coque	12	21
Légumineuses	8	23
Viande et abats	264	132
Viande bovine	65	33
Viande porcine	97	40
Viande de volaille	71	42
Viande ovine / caprine	9	5
Autres viandes	4	2
Poissons	73	25
Coquillages et crustacés	30	37
Lait et beurre	864	680
Œufs	38	32
Plantes oléifères et huiles	60	66
Sucres	116	85
Stimulants (café, thé, cacao)	18	15
Boissons alcoolisées	225	183

NB : Il s'agit des quantités consommées exprimées en équivalent primaire : il ne s'agit donc pas des quantités ingérées. Ces quantités sont estimées selon la méthode des formats des bilans d'approvisionnement : il s'agit du bilan apparent, et non des quantités ingérées. Ces quantités sont calculées pour la population française entre 20 et 59 ans.

¹²⁸ Il s'agit de données actualisées suite à la mise à jour du scénario Afterres2050, non publiées à ce jour, et communiquées par Solagro. Les quantités indiquées dans notre tableau diffèrent donc des quantités indiquées dans le scénario Afterres2050 publié en 2016.

2.3. Le scénario TYFA-GES de l'IDDR

Le scénario TYFA-GES est issu du travail de prospective à l'échelle des pays de l'Union européenne (UE 28) intitulé TYFA (*Ten Years For Agroecology*) développé par l'IDDR en association avec le bureau d'étude pour l'environnement AScA¹²⁹. Le premier scénario TYFA proposait un système alimentaire durable capable de nourrir 530 millions d'europeens avec une généralisation de l'agroécologie afin de limiter le recours aux intrants chimiques (engrais et produits phytosanitaires de synthèse) et ainsi préserver la biodiversité¹³⁰. Ce premier scénario, non compatible avec les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle européenne, a donné suite à une variante, le scénario TYFA-GES, qui permet une réduction des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole de 47 % d'ici 2050¹³¹ (contre une réduction de 40 % pour TYFA). Le tableau 2.3 page suivante présente le détail du régime alimentaire du scénario TYFA-GES.

Dans ce régime, on observe une forte baisse de la consommation de viande de monogastriques (porc et volaille) et une importante hausse de celle de fruits et légumes et de légumineuses. La consommation de produits d'origine bovine, en particulier de viande et dans une moindre mesure de produits laitiers, connaît également une réduction mais de moindre ampleur que celle de porc et de volaille, en lien avec l'ambition du scénario TYFA de préserver la plus grande part possible des prairies permanentes, et du développement d'élevages bovins de race mixte¹³². Finalement, la consommation de viande diminue d'environ 50 % dans le scénario TYFA-GES, soit le même ordre de grandeur que la réduction proposée dans le scénario Afterres 2050.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le scénario TYFA-GES résulte principalement de la réduction du recours aux intrants de synthèse (émetteurs de gaz à effet de serre à la fabrication et lors de l'utilisation) et de la diminution du cheptel, qui permet de réduire les émissions de méthane des ruminants ainsi que le volume global de déjections animales de l'ensemble des cheptels.

¹²⁹ La modélisation de l'impact du scénario TYFA est réalisée par le modèle ClimAgri, qui permet d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre liées aux pratiques agricoles sur un territoire donné. ClimAgri® a été initialement développé en 2009 par Solagro et Bio Intelligence Service pour l'ADEME (Eglin T., et al. (2016). [CLIMAGRI: A computer tool and participatory approach to design mitigation strategies of air pollutant and GHG emissions due to agriculture at a territorial level](#). *Pollution Atmosphérique*, numéro spécial, septembre, 203-207).

¹³⁰ Poux, X., & Aubert, P.-M. (2018). [Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine. Enseignements d'une modélisation du système alimentaire européen](#). IDDRI.

¹³¹ Aubert, P.-M., Schwoob, M.-H., & Poux, X. (2019). [Agroecology and carbon neutrality in Europe by 2050: what are the issues? Findings from the TYFA modelling exercise \(2\)](#). IDDRI

¹³² Le terme de race mixte s'applique généralement aux bovins qui sont exploités à la fois pour leurs aptitudes laitières et bouchères.

Tableau 2.3 : Comparaison entre l'alimentation observée en Europe en 2010 et l'assiette TYFA-GES¹³³

Catégorie d'aliments	Quantité consommée en Europe en 2010 (g équivalent primaire /jour/personne)	Quantité consommée dans TYFA-GES (g équivalent primaire /jour/personne)
Céréales	278	300
Huiles végétales	34	34
Fruits et légumes	268	430
Pomme de terre	116	80
Fruits à coque	x	32
Sucre	36	23
Légumineuses	5	35
Viande bovine	29	24
Viande porcine	83	36
Viande de volaille	55	20
Viande ovine / caprine	5	2
Total toutes viandes	173	81
Poisson	27	10
Produits laitiers (équivalent lait)	505	250
Œufs	20	10
Boissons	310	204
Boissons alcoolisées (équivalent alcool pur)	22	14

NB : il s'agit des quantités ingérées, consolidées par l'IDDRRI à partir de données de l'EFSA. Le total correspond à 2445 kcal par jour boissons incluses, ou 2265 kcal sans les boissons.

¹³³ D'après Aubert, P.-M., Schwoob, M.-H., & Poux, X. (2019). [Agroecology and carbon neutrality in Europe by 2050: what are the issues? Findings from the TYFA modelling exercise \(2\)](#). IDDRRI ; Brumont, L., & Saujot, M. 2023. [Affichage environnemental alimentaire : révéler les visions pour construire un compromis politique](#). IDDRRI.

2.4. Le scénario Pulse Fiction du WWF France

Le scénario Pulse Fiction a été développé par le WWF France avec l'appui de Solagro pour répondre à la question suivante : « Quel système agricole durable permettrait de fournir une alimentation saine et bas carbone en France d'ici 2050 ? ».

Du côté de l'assiette, le scénario Pulse Fiction présente l'originalité de prendre en compte la diversité des régimes alimentaires, c'est-à-dire la proportion de flexitariens¹³⁴, végétariens et végétaliens dans la population française¹³⁵. En supposant une évolution linéaire des tendances récentes d'ici 2050, Pulse Fiction fait l'hypothèse que 53 % de la population aurait un régime alimentaire flexitarien, tandis que 26 % et 14 % suivraient respectivement un régime végétarien et végétalien (le régime des 7 % correspondant au régime alimentaire moyen actuel d'après les données INCA3 - voir la Figure 2.2).

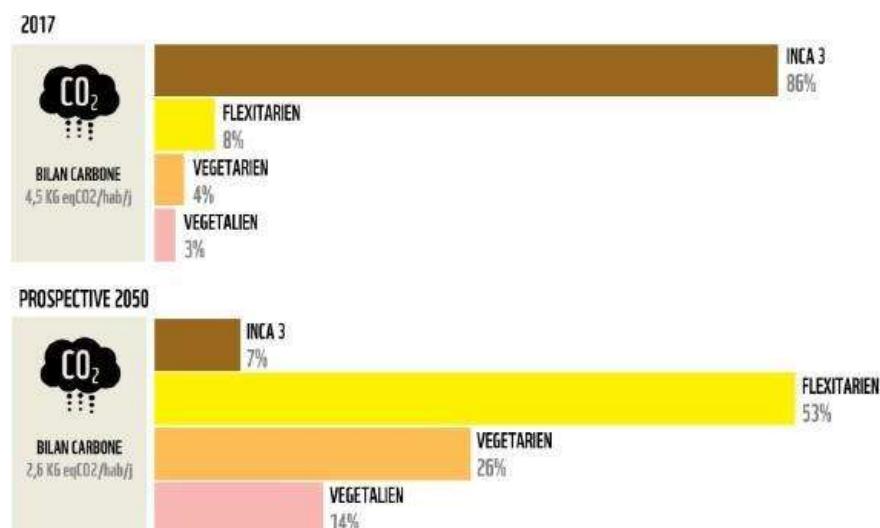


Figure 2.2 : Répartition des différents régimes alimentaires en France en 2017 et 2050¹³⁶

¹³⁴ Dans Pulse Fiction, le régime flexitarien est défini comme un « mode de consommation qui consiste à réduire fortement la part de protéines animales au profit des protéines végétales. Il se compose de 2/3 de protéines végétales contre 1/3 de protéines animales ». Uthayakumar, T., Loustau, H., & Couturier, C. (2019). [Pulse Fiction pour une transition agricole et alimentaire durable](#), WWF France, p.8 - version mise à jour en septembre 2021.

¹³⁵ Voir le détail des données utilisées dans WWF France (2018). [Vers une alimentation bas carbone, saine et abordable. Volet 2 - Prospective des régimes alimentaires et évolution de l'empreinte carbone de l'alimentation en France](#), pp. 9-10.

¹³⁶ Uthayakumar, T., Loustau H., & Couturier, C. (2019). [Pulse Fiction pour une transition agricole et alimentaire durable](#), WWF France - version mise à jour en septembre 2021.

Tableau 2.4 : Comparaison entre l'alimentation en France en 2017 et l'assiette Pulse Fiction

Catégorie d'aliments	Quantité consommée en France en 2017 (g / jour / personne)	Quantité consommée dans l'assiette « moyenne » de Pulse fiction ¹ (g / jour / personne)
Céréales et produits à base de céréales	184	248
Huiles végétales	9	20
Fruits et légumes (dont produits à base de fruits et de légumes, racines et tubercules amylacés et légumes à cosse)	320	456
Fruits à coque et oléagineux	3	13
Sucre	28	11
Légumes secs	10	139
Viande bovine	34	12
Agneau	4	2
Viande porcine	11	4,5
Viande de volaille	27	9
Charcuteries	27	8,5
Total toutes viandes	103	36
Poissons	26,5	15,5
Produits laitiers frais	152	87
Fromage	31	24,5
Beurre	8	7
Total produits laitiers	191	118,5
Œufs	13	14
Substituts de produits laitiers	0	32
Substituts de viande	4	54
Aliments composés (soupe, pizza, plats à base de viande, légumes, céréales, etc.)	257	119

¹ : il s'agit de la quantité dans l'assiette 2050 « moyenne », qui correspond à la moyenne pondérée des quantités des assiettes INCA3 et des scénarios d'assiettes flexitarienne, végétarienne et végétalienne.

En termes de contenu, le nouveau régime alimentaire moyen d'ici 2050 contient une proportion plus élevée de légumes secs (+ 1290 %), de céréales et produits céréaliers (+ 35 %) et de fruits et de légumes (+ 43 %) que le régime alimentaire moyen actuel. À l'inverse, le scénario table sur une réduction de la consommation de viande (- 64 %), de poisson (- 42 %), de produits laitiers (- 38 %) - voir le détail dans le tableau 2.4 ci-dessus¹³⁷. Le rapport met aussi l'accent sur la place des produits innovants à base de protéines végétales, à l'image des produits germés (comme les pousses de soja) et fermentés (comme le tempeh et le miso).

Selon le WWF France, la combinaison de cette évolution des régimes alimentaires et du changement des pratiques de production agricole permettrait de réduire fortement les impacts environnementaux du système alimentaire – le scénario Pulse fiction permettrait en particulier une réduction de 55 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole et une diminution de 83 % du recours aux produits phytopharmaceutiques.

2.5. Les scénarios Transition(s) 2050 de l'ADEME

La publication *Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat*¹³⁸ de l'ADEME propose 4 scénarios différents pour atteindre la neutralité carbone en 2050 pour le territoire français. Ces scénarios proposent des transformations profondes de la société, que ce soit au niveau des habitudes de consommation, des innovations techniques, des modes de production ou encore de l'aménagement du territoire. Les 4 scénarios sont les suivants :

- S1 - « Génération frugale » : un mode de consommation qui tend vers la sobriété, à travers la réduction volontaire de la consommation de biens et de services. La consommation de viande est divisée par 3 par rapport au niveau actuel.
- S2 - « Coopération territoriale » : les organisations non gouvernementales, les institutions publiques, le secteur privé et les sociétés civiles trouvent des voies de coopération qui permettent de maintenir la cohésion sociale. La consommation de biens devient mesurée et responsable, le partage se généralise. La consommation de viande est divisée par 2 par rapport au niveau actuel.
- S3 - « Technologies vertes » : le changement est basé davantage sur le développement des technologies plutôt que sur le changement des habitudes de consommation. Ainsi, les changements dans l'assiette sont moindres, avec une diminution de la consommation de viande de 30 % par rapport à aujourd'hui.
- S4 - « Pari réparateur » : la sauvegarde des modes de vie de consommation de masse est priorisée en prenant appui sur la capacité à réparer les dégâts causés aux écosystèmes. La consommation de viande ne diminue que de 10 % par rapport au niveau actuel.

¹³⁷ Uthayakumar, T., Loustau, H., & Couturier, C. (2019). [Pulse Fiction pour une transition agricole et alimentaire durable](#), WWF France, p.8 - version mise à jour en septembre 2021.

¹³⁸ ADEME (2021). [Transition\(s\) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat](#).

En ce qui concerne l'évolution des régimes alimentaires, l'ADEME s'appuie comme dans le scénario Pulse Fiction sur une évolution des proportions de la population adoptant une alimentation omnivore, flexitarienne ou végétarienne, correspondant à des quantités précises de viandes consommées. La figure 2.3 présente le détail de la composition de l'assiette « moyenne » de 2050 en fonction du scénario considéré.

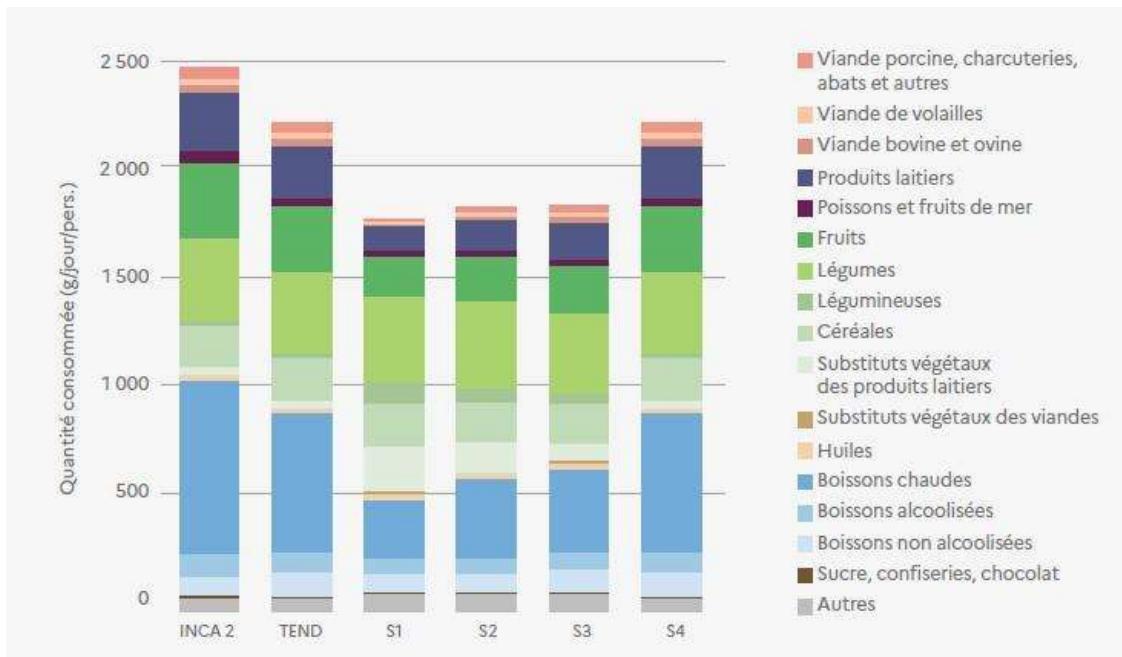


Figure 2.3 : Représentation graphique de la composition de l'assiette « moyenne » dans chaque scénario en 2050¹³⁹

NB : pour chaque scénario, les quantités d'aliments indiquées dans l'assiette « moyenne » correspondent à la moyenne pondérée des quantités présentes dans les assiettes omnivores, flexitariennes et végétariennes.

Les régimes alimentaires modélisés dans ces scénarios sont issus du projet de recherche Simulation prospective du système alimentaire et de son empreinte carbone (SISAE) et ont la particularité de couvrir l'ensemble des apports nutritionnels recommandés.

Il convient néanmoins de noter que seuls les scénarios S1 et S2 sont compatibles avec l'engagement de la France de réduire les émissions de gaz à effet de serre de son secteur agricole de 46 % d'ici 2050, comme le montre la figure 2.4. C'est donc les régimes alimentaires issus de ces deux scénarios que nous présenterons¹⁴⁰.

¹³⁹ ADEME (2021). [Transition\(s\) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat](#).

¹⁴⁰ Dans les scénarios S3 et S4, la réduction de la consommation de viande est limitée à respectivement 30 % et 10 %, ce qui contribue à expliquer la moindre ampleur de la diminution des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole dans ces scénarios. Les scénarios S3 et S4 atteignent toutefois l'objectif de la neutralité carbone grâce à une réduction des émissions de gaz à effet de serre supérieure dans les autres secteurs d'activité, et à un recours significatif aux technologies de capture et stockage du carbone dans S4.

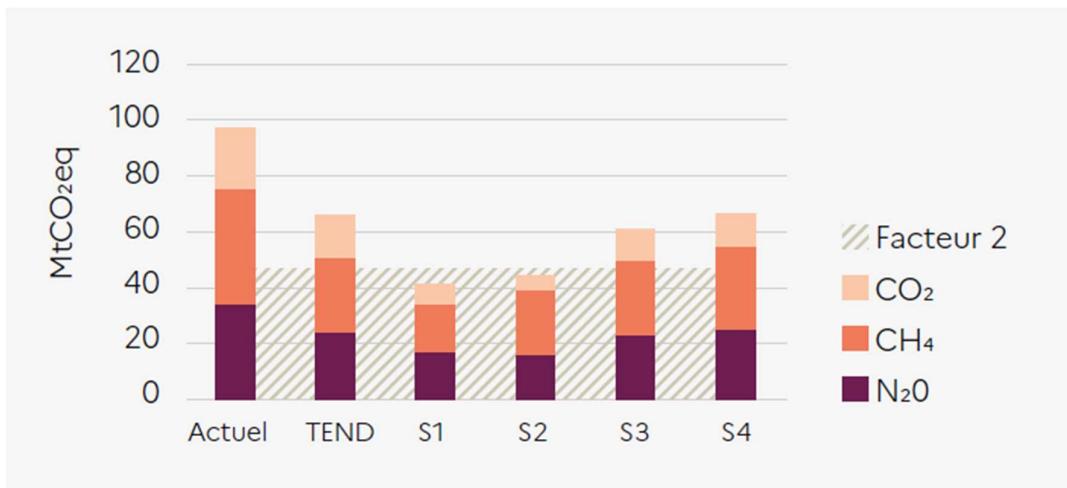


Figure 2.4 : émissions territoriales de gaz à effet de serre actuelles et à l'horizon 2050 du secteur agricole dans les scénarios Transition(s) 2050 de l'ADEME¹⁴¹

Le tableau suivant indique l'évolution des quantités consommées des principales catégories d'aliments dans les scénarios S1 et S2 (voir Tableau 2.5).

Tableau 2.5 : Comparaison entre l'alimentation observée en 2020 et dans les scénarios S1 et S2 de l'ADEME¹⁴²

Catégorie d'aliment	Evolution de la quantité par habitant dans S1 par rapport à 2020	Evolution de la quantité par habitant dans S2 par rapport à 2020
Céréales	- 6 %	- 11 %
Pommes de terre	- 26 %	- 20 %
Légumineuses	+ 567 %	+ 400 %
Fruits à coque	- 25 %	- 33 %
Légumes	+ 15 %	+ 6 %
Fruits	- 16 %	- 10 %
Lait et beurre	- 28 %	- 21 %
Œufs	+ 17 %	+ 17 %
Viande et abats	- 70 %	- 49 %

¹⁴¹ ADEME (2021). *Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat*, p. 278.

¹⁴² Ces données ne sont pas publiques et ont été calculées par les auteurs du rapport à partir de données brutes communiquées par l'ADEME.

2.3. Bilan des régimes proposés par les scénarios de systèmes alimentaires durables

Les régimes alimentaires proposés par les scénarios présentés plus haut présentent un certain nombre de différences relatives à leurs objectifs, à leur méthodologie (approche « *a priori* » du EAT-Lancet versus approche multicritères de Pulse Fiction par exemple, méthodes de comptabilisation des quantités consommées, etc.), à leur échelle géographique (française, européenne voire mondiale pour le EAT-Lancet) ou encore à leur degré de prise en compte de l'ensemble des impacts environnementaux et des apports nutritionnels.

Néanmoins, la mise en perspective de ces travaux est intéressante car malgré leur diversité d'approches, les systèmes et régimes alimentaires durables qu'ils proposent présentent un certain nombre de points communs :

- **Une diminution importante la consommation de viande de l'ordre de 50 % ou plus**, dans des proportions variables pour chaque type de viande selon les scénarios (TYFA-GES se caractérisant par une forte baisse de la consommation de porc et de volaille, et par une réduction de celle de viande bovine moindre que dans d'autres scénarios).
- **Une diminution significative de la consommation de produits laitiers** (entre 21 % et 51 % selon les scénarios).
- **Une forte hausse de la consommation de fruits et légumes et de sources végétales de protéines**, et tout particulièrement de légumineuses.

La comparaison des grammages de chaque régime alimentaire est délicate car les méthodes de comptabilisation et les périmètres retenus diffèrent selon les scénarios : données ingérées déclarées par les individus ou données basées sur des ventes, importations et exportations (qui ne correspondent pas aux consommations effectives en raison notamment des pertes et gaspillages), inclusion ou non de la viande présente dans les plats préparés à base de viande dans l'estimation des consommations de viande, variabilité du périmètre des produits laitiers (inclusion ou non des produits laitiers de type beurre et crème, et des quantités présentes dans les produits transformés et plats préparés - quiches, pizzas, crèmes glacées, etc.), équivalences retenues pour aggrégérer les différents produits laitiers (lait, yaourts, fromages...), données de conversion entre produits secs et cuits (céréales et légumineuses notamment). Plutôt que de se baser sur des quantités absolues en grammes, il semble plus pertinent de comparer les évolutions en pourcentages, au sein de chaque scénario et pour chaque catégorie d'aliments, entre les quantités proposées pour 2050 et les quantités estimées (selon les méthodes propres à chaque approche) comme étant actuellement consommées (voir le tableau 2.6 page suivante).

Tableau 2.6 : Comparaison de l'évolution de la consommation de viande, de produits laitiers, de céréales, de légumes secs et de fruits à coque selon les différents scénarios

	TYFA-GES (par rapport à 2010)	Afterres2050 (par rapport à 2020)	Pulse Fiction ¹⁴³ (par rapport à 2017)	ADEME S1 (par rapport à 2020)	ADEME S2 (par rapport à 2020)
Viande¹⁴⁴	- 53 %	- 50 %	- 64 %	- 70 %	- 49 %
Produits laitiers¹⁴⁵	- 51 %	- 21 %	- 38 %	- 28 %	- 21 %
Légumes secs	+ 600 %	+ 188 %	+ 1290 %	+ 567 %	+ 400 %
Fruits à coque	pas de données	+ 75 %	+ 267 %	- 25 %	- 33 %
Céréales	+ 8 %	+ 21 %	+ 35 %	- 6 %	- 10 %

En ce qui concerne l'évolution de la consommation de viande, il apparaît donc clairement qu'une **réduction d'au moins 50 % à horizon 2050 est nécessaire** afin que la France atteigne ses objectifs de baisse d'émissions de gaz à effet de serre. Ce constat partagé par les différents scénarios se rapproche de celui qui ressort des hypothèses d'évolution des régimes alimentaires établies par INRAE dans le cadre de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC), qui indiquent que « dans toutes les études, pour une baisse visée de 40 à 50 % des GES, la baisse totale de la consommation de viande se situe entre 40 et 50 % » en 2050¹⁴⁶. Ces scénarios montrent également que la réduction de la consommation de viande ne concerne pas que la viande rouge, mais bien l'ensemble des viandes incluant les volailles (poulet, canard, etc.). Ce constat souligne la nécessité pour le Programme National Nutrition Santé (PNNS) de réviser ses recommandations sur la viande et de fixer une quantité maximale de consommation à l'ensemble des viandes, volailles incluses.

¹⁴³ Nous avons indiqué l'évolution concernant l'assiette 2050 pondérée, issue de la pondération des assiettes flexitarienne, végétarienne, végétalienne et INCA3 détaillées dans Pulse fiction.

¹⁴⁴ Cette réduction concerne l'ensemble de la viande et de la charcuterie consommées, y compris dans les plats préparés, sauf dans le cas de Pulse Fiction, dont la réduction concerne uniquement la viande et la charcuterie consommées hors plats préparés. Pulse fiction propose par ailleurs une diminution de 54 % de la consommation de plats préparés (contenant ou non de la viande).

¹⁴⁵ Cette réduction concerne l'ensemble des produits laitiers consommés, y compris dans les plats préparés et cuisinés, sauf dans le cas de Pulse Fiction, dont la réduction concerne les produits laitiers, le fromage et le beurre, mais pas les produits dérivés du lait présents sous forme d'ingrédients dans des plats préparés et aliments transformés.

¹⁴⁶ Soussana, J.-F., et al. (2023). [Propositions d'hypothèses pour le scénario AMS de la SNBC 3 pour le secteur Agriculture](#), INRAE, p. 13.

Partie 3 - État des lieux de la prise en compte des enjeux environnementaux dans les recommandations alimentaires des différents pays

1. La prise en compte des enjeux environnementaux dans les guides alimentaires : une dynamique récente en forte progression

Comme évoqué en introduction, les recommandations officielles de consommation alimentaire, compilées dans les guides alimentaires¹⁴⁷, à l'image du PNNS en France, ont une influence directe et indirecte sur les comportements alimentaires. Elles servent en effet de fondement non seulement aux messages d'information et aux campagnes de communication publiques, mais aussi de référence aux professionnels de santé (diététiciens, médecins, nutritionnistes, etc.) pour informer et conseiller la population, et au personnel enseignant pour éduquer les enfants en milieu scolaire. Plusieurs acteurs institutionnels et associatifs proposent également de s'appuyer sur ces recommandations pour réguler la publicité et le marketing pour les produits alimentaires, pour définir les produits éligibles à la mise en place de chèques alimentaires ou encore pour réduire la TVA sur certaines catégories d'aliments.

Ces guides alimentaires ont initialement été conçus pour favoriser la couverture des besoins nutritionnels et permettre une meilleure prévention des maladies chroniques. Par conséquent, ils ne prennent historiquement pas en considération les enjeux environnementaux comme les émissions de gaz à effet de serre ou les impacts sur la biodiversité générés par l'alimentation. Les régimes alimentaires promus par la plupart de ces guides alimentaires de par le monde sont donc déconnectés des objectifs de lutte contre le changement climatique et de transition écologique. En 2020, une étude concluait que même si les populations suivaient parfaitement les recommandations des guides alimentaires de leur pays, les gaz à effet de serre ne seraient réduits que de 13 %¹⁴⁸.

Toutefois, suite à la multiplication des travaux scientifiques et des scénarios de régimes sains et durables évoqués dans la partie précédente, un nombre croissant de pays ont décidé de réviser les recommandations de leur guide alimentaire pour intégrer les enjeux environnementaux. Une étude de 2022 indique que 29 des 83 pays ayant établi des guides alimentaires¹⁴⁹ avaient à ce jour procédé à la prise en compte de façon plus ou moins

¹⁴⁷ Pour rappel, ce terme désigne les documents officiels regroupant les recommandations de consommation alimentaire (ou recommandations alimentaires) pour la population. Selon les pays, ces recommandations peuvent être présentées dans un seul ou dans plusieurs documents spécifiques destinés au grand public, aux professionnels de santé ou à la communauté scientifique.

¹⁴⁸ Springman, M. et al. (2020). [The healthiness and sustainability of national and global food based dietary guidelines: modelling study](#). *BMJ*, 2020;370:m2322.

¹⁴⁹ D'après la FAO, 95 pays ont déclaré avoir des recommandations de consommation alimentaire, mais seuls 83 ont été analysées par James-Martin, G., et al. (2022), 5 pays ne disposant pas de recommandations publiquement accessibles, et les recommandations de 7 autres pays n'ayant pas pu être traduites par les auteurs. Voir James-Martin, G., et al. (2022). [Environmental sustainability in national food-based dietary guidelines: a global review](#). *Lancet Planet Health*, 2022;6:e977-e986.

exhaustive d'un ou plusieurs de ces enjeux^{150,151}. Leur nombre s'élève à 25 en 2023 si l'on écarte les guides alimentaires dont la prise en compte des enjeux environnementaux se limite au gaspillage alimentaire et aux emballages. Si les pays européens sont particulièrement représentés (60 % des guides alimentaires concernés), cette dynamique est internationale puisque cela concerne aussi le Brésil, le Canada, la Chine, le Mexique, le Qatar ou encore l'Uruguay. Initiée au début des années 2010, la prise en compte des enjeux environnementaux dans les guides alimentaires connaît une accélération ces dernières années, avec 9 pays concernés entre 2018 et 2023. De plus, plusieurs pays ont programmé ou déjà engagé la révision de leurs recommandations en ce sens (en particulier l'Allemagne¹⁵², l'Argentine¹⁵³, l'Islande¹⁵⁴, la Norvège, les Pays-Bas¹⁵⁵ et la Suisse). La Flandre (en Belgique)¹⁵⁶ et le Conseil nordique des ministres¹⁵⁷ ont également intégré la préservation de l'environnement dans leurs recommandations publiées respectivement en 2021 et 2023. La carte ci-dessous montre plus spécifiquement l'état des lieux de la prise en compte des enjeux environnementaux dans les pays européens (voir figure 3.1 page suivante).

¹⁵⁰ James-Martin, G., et al. (2022). [Environmental sustainability in national food-based dietary guidelines: a global review](#). *Lancet Planet Health*, 2022;6:e977-e986.

¹⁵¹ Les enjeux examinés dans l'étude de James-Martin et al. (2022) sont plus précisément : les impacts environnementaux, la biodiversité, les antibiotiques et les hormones, les emballages des produits et le gaspillage alimentaire.

¹⁵² Schäfer, A.-C., et al. (2021). [Deriving Sustainable Food-Based Dietary Guidelines for Germany via Multidimensional Optimization: Insights to Operationalise the Diet-Health Dimension](#), Current Developments in Nutrition, 5, 881 ; Schäfer, A.-C. (2023). Consideration of sustainability within the multi-dimensional food-based dietary guideline for Germany. Oral communication, FENS meeting, Belgrad.

¹⁵³ <https://www.fao.org/nutrition/education/food-based-dietary-guidelines/regions/countries/argentina/es/>

¹⁵⁴ <https://www.fao.org/nutrition/education/food-dietary-guidelines/regions/countries/iceland/en/>

¹⁵⁵ Brink, E., et al. (2019). [Development of healthy and sustainable food-based dietary guidelines for the Netherlands](#). *Public Health Nutrition*, 22, 2419–2435.

¹⁵⁶ Flemish Institute for Healthy Living (2021). [Eating according to the food triangle: good for yourself and the planet](#).

¹⁵⁷ Le Conseil nordique des ministres rassemble les ministères des gouvernements danois, finlandais, islandais, norvégien et suédois. Voir : Nordic Council of Ministers (2023). [Nordic Nutrition Recommendations 2023](#).

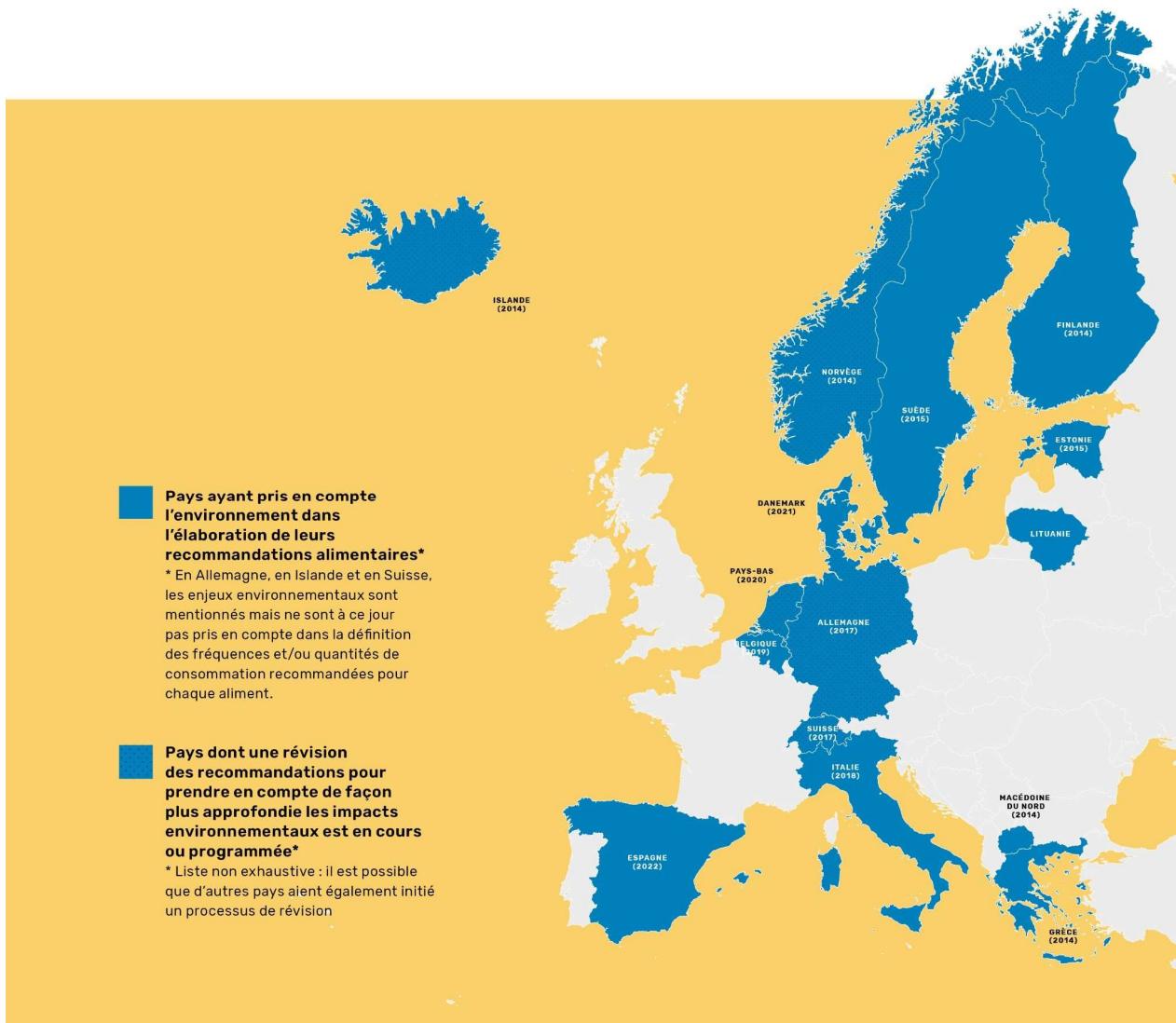
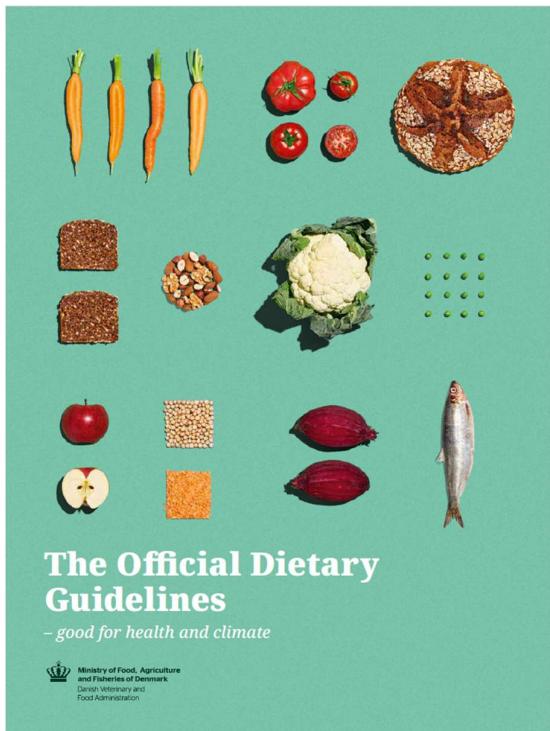


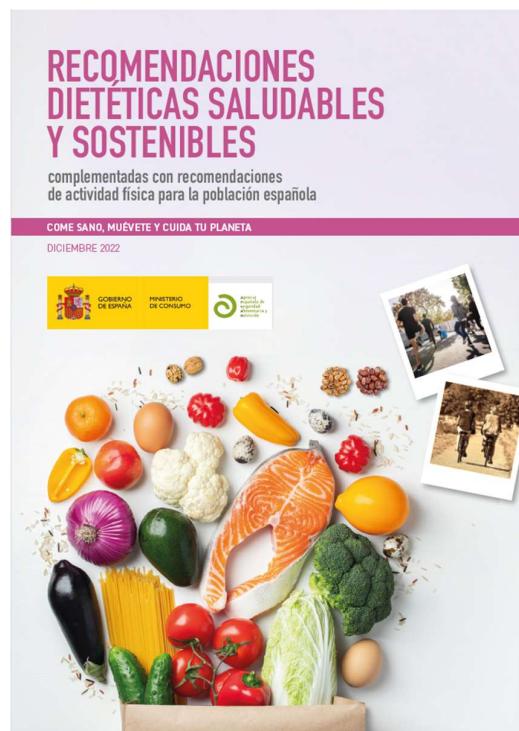
Figure 3.1 : Etat des lieux de la prise en compte des enjeux environnementaux dans les recommandations alimentaires des différents pays d'Europe¹⁵⁸

Plusieurs pays communiquent même de façon très explicite sur la prise en compte des enjeux environnementaux dans leurs recommandations, à l'image du Danemark et de la Flandre en 2021, de l'Espagne en 2022 et de la Suède dès 2015, ou encore des Recommandations nutritionnelles nordiques publiées en 2023 (voir page suivante les couvertures de leurs documents de recommandations à destination du grand public).

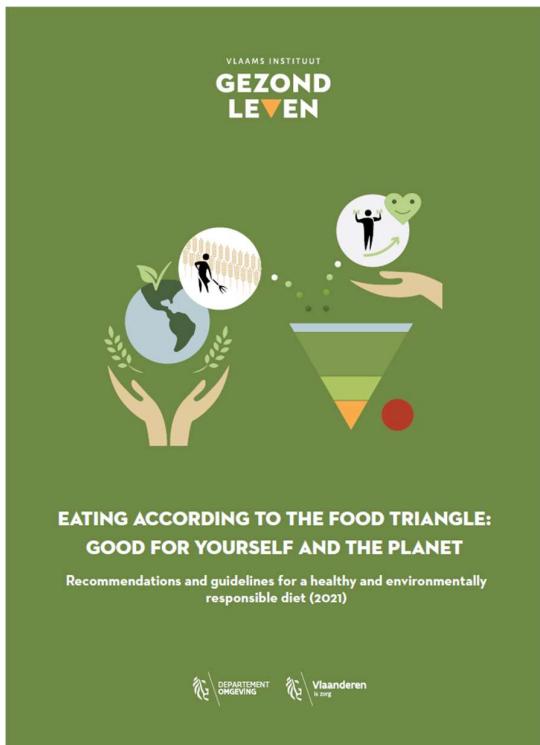
¹⁵⁸ Pour rappel, les figures et tableaux font l'objet d'une numérotation spécifique dans chaque partie.



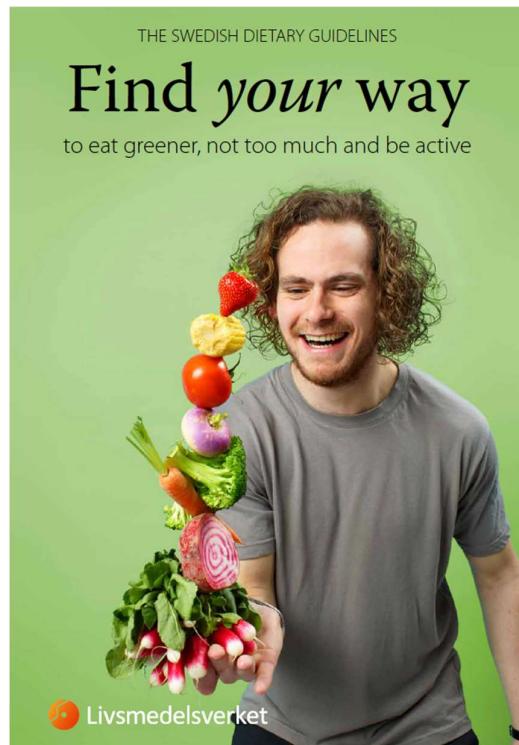
Recommandations danoises



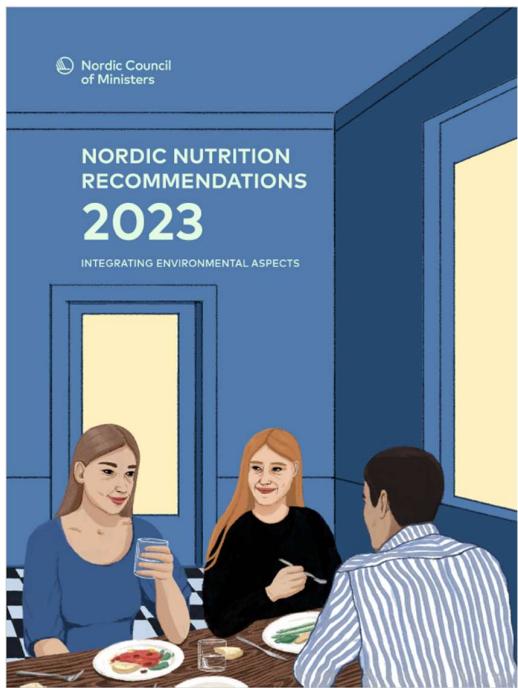
Recommandations espagnoles



Recommandations flamandes



Recommandations suédoises



Recommandations nordiques

Traduction des textes des couvertures

- Danemark : Les recommandations alimentaires officielles - bonnes pour la santé et le climat.
- Espagne : Recommandations alimentaires saines et durables, complétées de recommandations d'activité physique pour la population espagnole. Mangez sainement, bougez et prenez soin de la planète.
- Flandre : Manger selon le triangle alimentaire : bon pour vous-même et la planète. Recommandations et directives pour un régime sain et environnementalement responsable.
- Suède : Trouvez votre manière de manger plus « vert » et sans excès, et d'être actif.
- Recommandations nutritionnelles nordiques 2023 intégrant les aspects environnementaux.

2. Analyse comparative des recommandations alimentaires des pays prenant en compte les enjeux environnementaux

2.1. Comparaison des quantités et fréquences recommandées par catégorie d'aliments

Pour un certain nombre de raisons ne pouvant pas être développées dans ce rapport (année de publication, processus d'élaboration, intérêts économiques, spécificités culturelles et habitudes alimentaires propres à chaque pays, etc.), les guides alimentaires des pays prenant en compte les enjeux écologiques varient de façon assez significative. Elles présentent cependant un certain nombre de principes communs, parmi lesquels la diminution du gaspillage alimentaire, la limitation de la consommation de produits d'origine animale (viande en priorité dans la plupart des cas) et la hausse de la consommation d'aliments végétaux (fruits, légumes et légumineuses en particulier)¹⁵⁹.

Le tableau 3.1 (pages 68-70) compile les recommandations de 19 des 25 pays ayant pris en compte les enjeux environnementaux de façon explicite dans leur guide alimentaire¹⁶⁰. Ces guides alimentaires ont été répartis en deux catégories. La première comprend ceux dont les fréquences et portions de consommation des différentes catégories d'aliments ont été définies en prenant en compte les impacts environnementaux. La deuxième comprend les guides alimentaires mentionnant explicitement les enjeux environnementaux mais ne les prenant pas en compte pour définir les quantités (ou fréquences) recommandées des différentes catégories d'aliments.

Le tableau indique les fréquences et/ou les quantités recommandées pour cinq catégories d'aliments : la viande, les produits laitiers, les fruits et légumes, les légumineuses et les fruits à coque (NB : voir infra les tableaux 3.2 et 3.3 spécifiques et détaillés sur la viande et les légumineuses respectivement). Cette liste a été établie après analyse des guides alimentaires recensés par James-Martin et al. (2022)¹⁵⁹, répertoriés sur le portail de la FAO¹⁶¹, et des guides publiés depuis ce recensement. Par ailleurs, la France a été ajoutée à des fins de comparaison. Les toutes récentes Recommandations nutritionnelles nordiques¹⁶² formulées par le Conseil nordique des ministres en 2023 figurent également dans le tableau. Fruit d'une collaboration entre le Danemark, la Finlande, l'Islande, la Norvège et la Suède, elles vont assez loin dans la prise en compte des enjeux environnementaux et servent de référence pour l'actualisation des guides alimentaires de plusieurs de ces pays. A noter que les recommandations nutritionnelles nordiques ne se substituent pas aux recommandations alimentaires de chacun de ces pays, mais sont utilisées par ces derniers comme référence lors de l'élaboration et la révision de leurs recommandations alimentaires nationales.

¹⁵⁹ James-Martin, G., et al. (2022). [Environmental sustainability in national food-based dietary guidelines: a global review](#). *Lancet Planet Health*, 2022;6:e977-e986.

¹⁶⁰ Les guides alimentaires ne fournissant pas de précisions sur les quantités de consommation recommandées (Afrique du Sud, Brésil, Canada et Uruguay) ne figurent pas dans ce tableau, tout comme les recommandations de la Lituanie et de la Macédoine du Nord que nous n'avons pas pu traiter, faute de version anglaise disponible.

¹⁶¹ <https://www.fao.org/nutrition/education/food-based-dietary-guidelines>

¹⁶² Nordic Council of Ministers (2023). [Nordic Nutrition Recommendations 2023](#).

Les produits céréaliers complets n'ont pas été intégrés du fait de l'imprécision et de l'absence de recommandations chiffrées de consommation dans de nombreux cas. Il convient toutefois de noter que la quasi-totalité des pays recommande de privilégier les produits céréaliers complets aux produits céréaliers raffinés (comme le PNNS 4 en France). De même, si l'ensemble des guides alimentaires préconise de limiter voire d'éviter la consommation de viande transformée et/ou de produits transformés contenant de la viande (charcuterie, burgers, saucisses, etc.), le tableau ne consacre pas de colonne spécifique à cette catégorie d'aliments en raison de la forte hétérogénéité du périmètre retenu pour cette catégorie d'aliments, et de l'absence fréquente de précisions quant à la quantité à ne pas dépasser (les recommandations sont, le cas échéant, indiquées dans la colonne « Viande »).

Tableau 3.1 : Fréquences et/ou quantités d'aliments recommandées dans les guides alimentaires des pays ayant pris en compte les enjeux environnementaux¹

Pays et date d'actualisation de ses recommandations alimentaires	Viande, y compris charcuterie et autres viandes transformées ² (par semaine)	Produits laitiers (par jour)	Fruits et légumes (par jour) ³	Légumineuses (par jour ou par semaine)	Fruits à coque (par jour)
France – PNNS 4 (2019)	Viande rouge (hors charcuterie) : 500 g maximum Charcuterie : 150 g maximum	2 portions	Au moins 5 (80 à 100 g par portion)	Au moins 2 fois par semaine	1 poignée [que l'on peut estimer à environ 15 g]
Pays prenant en compte l'environnement dans leurs recommandations pour chaque catégorie d'aliments⁴					
Australie (2013)	Viande rouge (hors viande transformée) : 455 g maximum ⁵	2 à 3 portions	Au moins 7 portions	Consommation recommandée sans quantité précise ⁶	
Belgique (2019)	Viande rouge : 300 g maximum Viande transformée : 30 g maximum Volaille : 100 à 300 g	2 à 4 portions	Au moins 550 g	Au moins 100 g par semaine	15 à 25 g
Chine (2022)	Toutes viandes : 300 à 500 g	Équivalent de 300 g de lait	300-500 g de légumes et 200-350 g de fruits	1 fois par jour	Consommation recommandée sans quantité précise
Colombie (2015)	Pas de recommandation précise ⁷	Au moins 2 portions	Au moins 5 portions	Au moins 2 fois par semaine	Consommation recommandée sans quantité précise
Danemark (2021)	Toutes viandes : 350 g maximum	2 à 3 portions	6 portions (600 g)	100 g par jour	30 g
Espagne (2022)	Toutes viandes : 0 à 300-375 g ⁸	0 à 3 portions	Au moins 5 portions (de 120 g pour les fruits et 200 g pour les légumes)	4 à 7 portions de 170 g par semaine	3 à 7 portions de 20 à 30 g par semaine
Estonie (2015)	Viande rouge et viande transformée : 500 g maximum ⁹	2 à 3 portions	7 à 9 portions (de 100 g)	3 à 4 portions par semaine	20 à 30 g

Finlande (2014)	Viande rouge et viande transformée : 500 g maximum	4 portions	Au moins 6 portions (500 g)	Consommation recommandée sans quantité précise	30 g
Grèce (2014)	Viande rouge et viande transformée : 120 à 150 g Volaille : 240 à 300 g	2 portions	7 portions (de 120 g pour les fruits et 200 g pour les légumes)	Au moins 3 portions de 150 à 200 g par semaine	Consommation recommandée sans quantité précise ¹⁰
Italie (2018)	Toutes viandes : 300 g maximum Viande rouge (hors viande transformée) : 100 g Volaille : jusqu'à 200 g ou 300 g en cas d'absence de consommation de viande rouge ¹¹	3,5 portions ¹²	5 à 6 (de 150 g pour les fruits et 200 g pour les légumes)	3 portions (450 g) par semaine	9 g (60 g par semaine)
Mexique (2023)	Toutes viandes : 275 à 385 g pour les femmes et 380 à 515 g pour les hommes ¹³	Pas de recommandation	400 g (5 portions de légumes et 2 portions de fruits)	100-200 g par jour pour les femmes ; 200 g par jour pour les hommes	Pas de recommandation
Norvège (2014)	Viande rouge et viande transformée : 500 g maximum	Consommation recommandée sans quantité précise	Au moins 5 portions (500 g)	Consommation recommandée sans quantité précise	Une poignée
Nouvelle-Zélande (2020)	350-500 g de viande rouge maximum (jusqu'à 3 portions par semaine), et limiter la viande transformée	2,5 portions	7-8 portions	Consommation recommandée sans quantité précise ¹⁴	30 g
Pays-Bas (2020) ¹⁵	Toutes viandes : 500 g maximum, dont maximum 300 g de viande rouge et viande transformée	2 à 3 portions	450 g	Au moins 135 g par semaine	15 à 25 g
Suède (2015)	Viande rouge et viande transformée : 500 g maximum	1,5 à 4 portions ¹⁶	Au moins 500 g	Consommation recommandée sans quantité précise	Consommation recommandée sans quantité précise

<u>Recommandations nutritionnelles nordiques</u> (2023) du Conseil nordique des ministres (regroupant les ministres des gouvernements danois, finlandais, islandais, norvégien et suédois)	Viande rouge et viande rouge transformée : 350 g maximum Volaille : ne pas augmenter, et limiter la viande blanche transformée	Equivalent de 350 à 500 mL de lait	Au moins 500-800 g	Consommation recommandée sans quantité précise	Consommation recommandée sans quantité précise
Pays mentionnant explicitement les enjeux environnementaux mais ne les prenant pas en compte pour définir les quantités (ou fréquences) recommandées des différentes catégories d'aliments¹⁷					
<u>Allemagne</u> ¹⁸ (2017)	Toutes viandes : maximum 300-600 g selon les besoins caloriques ¹⁹	4 portions	Au moins 5 portions (650 g)	1 portion (125 g) par jour ²⁰	25 g ²¹
<u>Islande</u> (2014)	500 g de viande rouge par semaine max, en limitant en particulier la viande transformée (inclus dans les 500 g)	Équivalent de 500 mL de lait	Au moins 5 portions (500 g)	Consommation recommandée sans quantité précise ²²	Pas de recommandation
<u>Qatar</u> (2015)	Pas de recommandation précise ²³	2 à 3 portions	5 à 9 portions (400 à 720 g)	1 portion par jour (130 g)	37,5 g
<u>Suisse</u> ²⁴ (2017)	Ne pas consommer de viande tous les jours ²⁵	3 portions	5 portions (400 g)	Consommation recommandée sans quantité précise ²⁶	20 à 30 g

1 : Les grammages concernent les aliments cuits dans le cas de la viande et des légumes secs. Il convient de noter que tous les pays n'utilisent pas les mêmes métriques pour leurs recommandations, qui peuvent être exprimées en fréquence, en grammes ou en portions, sachant que le grammage de ces dernières diffère en fonction des pays et n'est parfois pas spécifié. De même, les catégories employées sont hétérogènes : si la présence de catégories au périmètre resserré comme « viande rouge » ou « légumes secs » est fréquente, certaines recommandations emploient des catégories plus larges telles que « sources de protéines », « viande, oeufs et poisson », etc. Nous avons donc fait au mieux pour présenter les informations recueillies de manière à pouvoir les comparer, et nous indiquons les précautions à prendre en cas d'incertitude ou de manque de précision.

2 : La quasi-totalité des recommandations analysées utilise la catégorie « viande transformée » (processed meat en anglais) en incluant non seulement la charcuterie, mais aussi, bien que cela soit variable selon les pays, les saucisses, les nuggets, la viande séchée, la viande en conserve, les hamburgers ou encore les kebabs et les préparations à tartiner à base de viande. Le périmètre n'étant pas défini de façon exhaustive dans la majorité des recommandations, nous sommes contraints d'employer l'expression générique « viande transformée ».

3 : Nous indiquons le nombre de portions et/ou le grammage recommandé, en fonction des informations indiquées dans les recommandations des pays. Nous avons fait le choix de ne pas utiliser d'équivalent portion/grammage pour l'ensemble des recommandations du fait de l'hétérogénéité des choix de grammage par portion selon les pays (parfois 80, 100, 150 ou 200 g).

4 : L'essentiel des données est issu des documents officiels de recommandations de consommation alimentaire des différents pays recensés sur le [site de la FAQ](#) ou directement sur le site des autorités nationales compétentes lorsque le site de la FAO n'était pas à jour.

5 : Le guide alimentaire australien recommande par ailleurs de limiter la consommation de produits à forte teneur en graisses saturées incluant les viandes transformées, les hamburgers vendus dans le commerce, les pizzas, les aliments frits, etc.

6 : Le guide alimentaire australien recommande de consommer au moins 3 portions de viandes maigres, volaille, poisson, œufs, tofu, fruits à coque et graines, et légumineuses par jour, en indiquant 150 g pour une portion de légumineuses.

7 : La Colombie ne consacre pas de recommandations dédiées exclusivement à la viande, mais cible cette dernière dans deux recommandations : « Réduisez votre consommation de sel et d'aliments riches en sodium comme les viandes transformées, les aliments en conserve et les produits emballés » et « Évitez de manger des aliments contenant des graisses animales, des graisses solides et des aliments contenant des acides gras trans » (p.107 du [document technique des recommandations colombiennes](#)).

8 : L'Espagne recommande de consommer entre 0 et 3 portions de viande par semaine, en recommandant des portions de 100 à 125 g.

9 : Les recommandations estoniennes invitent par ailleurs à « éviter » la consommation de viande transformée (p. 265 des [Recommandations alimentaires estoniennes](#)).

10 : La Grèce recommande de consommer 4 à 5 portions par jour d'huiles végétales, d'olives et de fruits à coque.

11 : Lors de leur dernière révision, les recommandations italiennes pour la viande transformée sont passées de maximum 50 g par semaine à une préconisation à « éviter » d'en consommer, sans indication chiffrée.

12 : L'Italie recommande de consommer 3 portions de yaourt et/ou lait par jour et 3 portions de fromage par semaine, soit approximativement 3,5 produits laitiers par semaine.

13 : Plus précisément : 150 à 210 g de viande rouge (viande transformée incluse) 125 à 175 g de volaille pour les femmes, et 180 à 240 g de viande rouge (viande transformée incluse) et 200 à 275 g de volaille pour les hommes.

14 : La Nouvelle-Zélande recommande la consommation de 3 portions par jour pour les hommes (2,5 pour les femmes) d'aliments riches en protéines (légumineuses, fruits à coque, graines, poisson, œufs, volaille, viande rouge).

15 : Les Pays-Bas ont initié un processus de révision de leurs recommandations afin d'intégrer les enjeux environnementaux de façon plus approfondie.

16 : La Suède recommande plus précisément de consommer entre 200 et 500 mL de lait par jour, à moduler en fonction des autres aliments consommés.

17 : Par exemple, sous la forme de recommandations ad hoc invitant à privilégier les aliments végétaux aux produits animaux, à limiter les emballages et le gaspillage, à consommer de saison ou biologique, mais sans prendre en compte les impacts environnementaux dans la définition des recommandations de consommation spécifiques à la viande, aux produits laitiers, aux légumineuses, etc.

18 : Une partie des données provient de la publication [The Planetary Health Diet in contrast to the food-based dietary guidelines of the German Nutrition Society \(DGE\)](#). Par ailleurs, l'Allemagne est actuellement en train d'actualiser ses recommandations afin d'intégrer les enjeux environnementaux de façon plus approfondie (Voir : Schäfer A et al. Curr. Dev. Nutr. 2021, 5, 881, doi:10.1093/CDN/NZAB048_016 ; Schäfer, A. C. Consideration of sustainability within the multi-dimensional food-based dietary guideline for Germany. Oral communication, FENS meeting, Belgrad, 2023).

19 : Plus précisément, le document indique que, pour les personnes mangeant de la viande, « une quantité hebdomadaire de viande et de saucisses d'un total de 300 g pour les adultes ayant des besoins faibles en calories, jusqu'à 600 g pour les adultes ayant des besoins caloriques élevés, est suffisante » (voir [le site des recommandations alimentaires allemandes](#)).

20 : L'Allemagne ne consacre pas de recommandation spécifique pour les légumineuses, mais les inclut dans sa recommandation de consommer au moins 5 fruits et légumes par jour. La *German Nutrition Society*, qui établit ces recommandations, considère que celles-ci préconisent la consommation d'une portion de 125 g de légumineuses par jour (pp. 60-61 de sa publication [The Planetary Health Diet in contrast to the food-based dietary guidelines of the German Nutrition Society \(DGE\)](#)).

21 : Les [recommandations alimentaires allemandes](#) précisent qu'une portion de fruits à coque remplace une portion de fruits.

22 : Le guide islandais indique : « Privilégiez [à la viande rouge] la volaille (viande blanche), le poisson, les œufs, plats de haricots ou de légumes dans d'autres plats de la semaine et en accompagnement » (p.14) et inclut explicitement les légumineuses dans les fruits et légumes, dont il préconise une consommation de 5 portions par jour.

23 : Le Qatar recommande d' « éviter de consommer de la viande transformée » (comme les saucisses et la charcuterie) et de consommer moins de viande, en indiquant que « des recherches suggèrent de limiter sa consommation de viande rouge à pas plus de 500 g par semaine » (p.18 des [Recommandations alimentaires du Qatar](#)).

24 : La Suisse a initié un processus de révision de ses recommandations afin d'intégrer les enjeux environnementaux de façon plus approfondie.

25 : La Suisse recommande de consommer chaque jour une portion d'aliments riches en protéines parmi la viande rouge, la volaille, les œufs, le poisson, le tofu, le fromage ou le seitan, en alternant entre ces différentes sources. Le guide alimentaire suisse recommande par ailleurs de « privilégier les aliments d'origine végétale » pour des raisons environnementales (pp. 3-5 de la [Swiss Food Pyramid](#)).

26 : La Suisse recommande de consommer 3 portions de céréales, pommes de terre et légumineuses par jour.

2.2. Points communs des recommandations alimentaires des pays prenant en compte les enjeux environnementaux

Dans cette section, nous analysons les points communs des guides alimentaires des pays ayant pris en compte les enjeux environnementaux pour établir leurs recommandations de consommation de chaque catégorie d'aliments. Nous laissons ainsi de côté les guides alimentaires qui, bien que prenant également en compte explicitement les enjeux environnementaux, limitent cette prise en compte à de simples messages ou recommandations d'ordre général (de type : privilégiez les aliments végétaux aux produits animaux, limitez le gaspillage, etc.). Notre analyse porte donc sur les recommandations alimentaires des 15 pays décrits dans la première partie du tableau 3.1.

→ **Limiter la consommation de viande rouge et de viande transformée, mais aussi celle de volaille**

L'ensemble des pays ont en commun de recommander une limitation importante de la consommation de viande. Ainsi, à l'exception du Danemark (350 g maximum pour l'ensemble des viandes) et de l'Espagne (300-375 g maximum pour l'ensemble des viandes), qui sont les plus stricts en matière de limitation, et de la Belgique (630 g maximum), la quantité maximale recommandée pour l'ensemble des viandes par la majorité des pays oscille entre 400 et 500 g par semaine. L'Italie recommande de ne consommer que 100 g de viande rouge par semaine, et de consommer 2 portions de 100 g de viande blanche par semaine (une troisième portion pouvant être consommée en substitution à la portion de viande rouge), et d'éviter de consommer de la charcuterie.

Par ailleurs, 8 des 15 pays étudiés recommandent, outre de réduire la consommation de viande rouge et de viande transformée (charcuterie comprise), de limiter la consommation de volaille. Dans 4 de ces pays (Chine, Danemark, Espagne et Pays-Bas), cette recommandation est implicite : elle se traduit par une quantité hebdomadaire à ne pas dépasser concernant toutes les viandes, volaille comprise. Les 4 autres pays, à savoir la Belgique, la Grèce, l'Italie et le Mexique, formulent une recommandation spécifique chiffrée pour la volaille (voir le détail dans le tableau 3.2 page suivante). **Il est intéressant de noter que 7 des 8 pays qui ont révisé leurs recommandations en 2018 ou après indiquent une quantité maximale de consommation pour l'ensemble des viandes, y compris la volaille.**

Tableau 3.2 : Recommandations incluant la volaille parmi les 15 pays ayant pris en compte les enjeux environnementaux dans leurs recommandations pour chaque catégorie d'aliments

Pays	Inclusion de la volaille dans une recommandation chiffrée portant sur l'ensemble des viandes (incluant aussi les viandes transformées)	Inclusion de la volaille dans une recommandation chiffrée spécifique sur la volaille
Australie (2013)	X	X
Belgique (2019)	630 g maximum	100 g à 300 g
Chine (2022)	300 à 500 g	X
Colombie (2015)	X	X
Danemark (2021)	350 g maximum	X
Espagne (2022)	0 à 300-375 g	X
Estonie (2015)	X	X
Finlande (2014)	X	X
Grèce (2014)	360 à 450 g	240 à 300 g
Italie (2018)	300 g maximum	200 g maximum et jusqu'à 300 g en remplacement de la portion de 100 g de viande rouge recommandée
Mexique (2023)	380 à 515 g pour les hommes 275 à 385 g pour les femmes	200 à 275 g pour les hommes 125 à 175 g pour les femmes
Norvège (2014)	X	X
Nouvelle-Zélande (2020)	X	X
Pays-Bas (2020)	500 g maximum	X
Suède (2015)	X	X

NB : Les Recommandations nutritionnelles nordiques ne précisent pas de quantité maximale de volaille mais invitent à ne pas augmenter la consommation de viande blanche. Elles recommandent plus précisément de « limiter la viande blanche transformée » et de « ne pas augmenter le niveau actuel de viande blanche (qui peut être réduit) »¹⁶³, en précisant que « la réduction de la consommation de viande rouge ne doit pas entraîner une augmentation de la consommation de viande blanche »¹⁶⁴.

¹⁶³ [Recommandations nutritionnelles nordiques](#), p. 101.

¹⁶⁴ [Recommandations nutritionnelles nordiques](#), p. 228.

En outre, à la différence du PNNS 4, la quasi-totalité des pays étudiés ne formulent pas de plafond de consommation distinct pour la charcuterie. En effet, dans leurs documents de recommandation, la charcuterie est, sauf exception¹⁶⁵, intégrée dans la catégorie « viande rouge » (ou « toutes viandes »), en complément de la préconisation d'éviter ou de ne manger qu'exceptionnellement de la viande transformée (catégorie incluant la charcuterie mais aussi, même si le périmètre varie selon les pays, les produits transformés comme les saucisses, les nuggets ou même les burgers). Pour illustrer, la recommandation de la Finlande, de la Norvège ou de la Suède de ne pas dépasser 500 g de viande rouge par semaine concerne à la fois les viandes de ruminants et de porc, mais aussi les saucisses, le jambon et autres charcuteries à base de bœuf et de porc. La figure 3.2 représente sous forme de graphique les quantités maximales recommandées pour la viande dans les guides alimentaires des pays ayant pris en compte les enjeux environnementaux dans leurs recommandations pour chaque catégorie d'aliments.

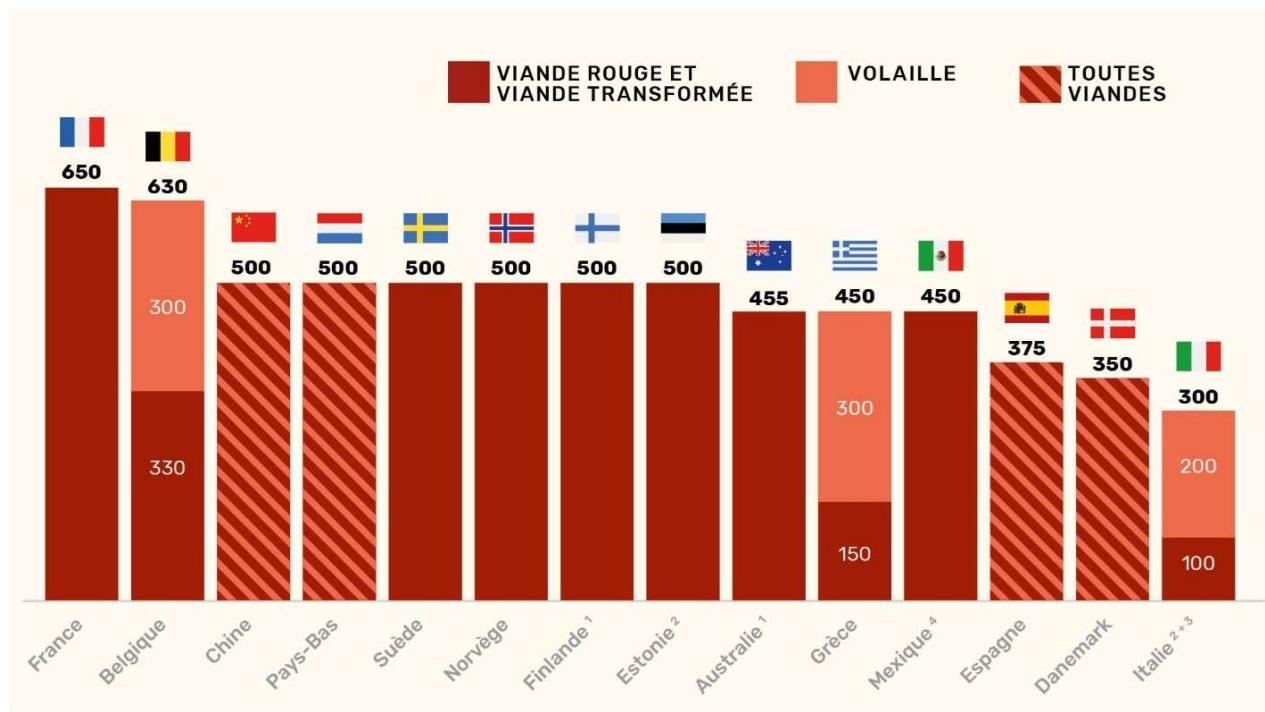


Figure 3.2 : Quantités maximales de viande établies en France et dans les pays ayant pris en compte l'environnement dans leurs recommandations alimentaires

1 : Cette quantité n'inclut pas la viande transformée, pour laquelle la quantité maximale n'est pas précisée.

2 : Cette quantité n'inclut pas la viande transformée, dont le guide alimentaire recommande d'éviter la consommation.

3 : La quantité de volaille peut atteindre 300 g en cas de non consommation de viande rouge.

4 : 385 g pour les femmes et 515 g pour les hommes.

¹⁶⁵ Exception de l'Australie qui recommande de ne pas consommer plus de 455 g de viande rouge maigre (hors charcuterie et viande transformée), et de la Nouvelle-Zélande dont la recommandation de ne pas consommer plus de 500 g de viande rouge par semaine ne concerne pas la viande transformée (dont le guide alimentaire recommande par ailleurs de limiter la consommation autant que possible). L'Estonie et l'Italie n'incluent pas la viande transformée dans les quantités maximales de viande qu'elles recommandent, mais invitent à en « éviter » la consommation.

Pour conclure cet aperçu des recommandations concernant la viande, il est intéressant de noter que plusieurs pays préconisent non seulement une limitation de la consommation de viande, mais aussi une consommation de viande plus durable et/ou respectueuse du bien-être animal. C'est en particulier le cas de l'Espagne¹⁶⁶ et de la Suède, dont le document de recommandations contient le message suivant :

« Si vous réduisez votre consommation de viande, vous aurez assez d'argent pour [acheter] de la viande produite de façon plus durable et prenant en considération le bien-être des animaux. Choisissez des viandes avec des labels écologiques comme le plein air, la viande biologique ou la viande certifiée écologique »¹⁶⁷.

→ **Des recommandations sur les produits laitiers qui fluctuent mais convergent autour de 2 à 3 portions par jour**

La plupart des pays prenant en compte les enjeux environnementaux préconisent une consommation quotidienne de 2 à 3 produits laitiers (Australie, Chine, Colombie, Danemark, Estonie, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas). D'autres pays en recommandent une consommation quotidienne plus importante : 2 à 4 pour la Belgique¹⁶⁸, 3,5 pour l'Italie, 4 pour la Finlande.

La recommandation de la Suède présente une amplitude importante (1,5 à 4 portions par jour), tout comme celle de l'Espagne (0 à 3 portions par jour) qui présente l'originalité de faire dépendre sa préconisation concernant les produits laitiers de la consommation de viande consommée par chaque personne. Les recommandations espagnoles précisent ainsi que « en raison du fort impact environnemental des produits laitiers, il est suggéré d'en réduire le nombre de portions quotidiennes si vous consommez d'autres produits d'origine animale (viande, poisson, oeufs, lait) »¹⁶⁹. La Grèce est le seul parmi les pays étudiés à recommander, comme le PNNS 4 en France, de consommer exactement 2 produits laitiers par jour, tandis que le Mexique et la Norvège ne formulent pas de recommandations chiffrées.

→ **Des recommandations qui se rejoignent sur davantage de consommation d'aliments végétaux**

Un autre point commun entre les pays étudiés est la recommandation de consommer (beaucoup) plus d'aliments végétaux, à savoir : fruits et légumes, légumineuses, céréales et produits céréaliers complets (à privilégier vis-à-vis des céréales raffinées) et autres graines et fruits à coque.

¹⁶⁶ "When possible, choose products from farms where animal husbandry meets the highest standards of animal welfare" ([Recommandations alimentaires espagnoles en anglais](#), p.10).

¹⁶⁷ [Recommandations alimentaires de la Suède](#), p.15.

¹⁶⁸ Les recommandations belges justifient cette fourchette par l'absence de bénéfices pour la santé de consommer plus de 500 mL de produits laitiers par jour et par les difficultés de couvrir les besoins nutritionnels (calcium, vitamine B2, vitamine B12 et protéines) en dessous de 250 mL par jour. Elles se réfèrent également au rapport du EAT Lancet pour indiquer que selon ce dernier, il est préférable de ne pas dépasser 250 g/j pour des raisons environnementales ([Recommandations alimentaires belges](#), p.56).

¹⁶⁹ [Recommandations alimentaires espagnoles en anglais](#), p.10.

Concernant les fruits et les légumes, tous les pays recommandent d'en consommer au moins 5 par jour, soit au moins 400 ou 500 g selon la taille des portions. Plusieurs pays en préconisent une consommation encore plus importante : au moins 675 g pour l'Australie, au moins 600 g pour le Danemark, et même entre 960 et 1400 g par jour pour la Grèce.

La quasi-totalité des pays étudiés recommande une consommation accrue de fruits à coque (amandes, noisettes, etc.), en évitant le sel (voire le sucre) ajouté, dans des quantités variables mais le plus souvent de l'ordre de 25 g par jour (15 à 25 g en Belgique et aux Pays-Bas, 20 à 30 g en Espagne et en Estonie, 30 g au Danemark, en Finlande et en Nouvelle-Zélande). Outre l'Italie (qui n'en recommande que 60 g par semaine), les autres pays encouragent la consommation de fruits à coque sans préciser de quantité (Australie, Chine, Colombie, Grèce et Norvège), le Mexique étant le seul pays à ne pas évoquer les fruits à coque dans ses recommandations.

La situation est plus hétérogène en ce qui concerne les légumineuses, dont la comparaison entre pays est par ailleurs difficile du fait de l'expression des recommandations en portions et non en poids, et de la différence voire de l'absence de précisions quant au poids des portions. Le tableau 3.3 page suivante synthétise ces recommandations.

La diversité des recommandations concernant les légumineuses tient à plusieurs facteurs, et notamment à la place qu'elles occupent dans l'alimentation actuelle des populations concernées. Les quantités recommandées sont ainsi particulièrement élevées dans des pays dans lesquels les légumineuses font partie de la culture culinaire comme au Mexique (1 à 2 portions de 100 g par jour) et en Chine (1 portion par jour). Par contraste, dans des pays où elles sont peu consommées, le choix a été fait de ne pas éloigner excessivement les recommandations du niveau de consommation observé pour des questions de réalisme. Ainsi la Belgique et les Pays-Bas préconisent d'en consommer au moins une portion par semaine, et la France au moins deux portions. En revanche, le Danemark et l'Espagne recommandent une consommation élevée de légumineuses (respectivement 100 g par jour et 4 à 7 portions de 170 g par semaine), du fait de leur prise en compte avancée des enjeux écologiques et de l'importante limitation de la consommation de viande dans leurs recommandations.

Tableau 3.3 : Synthèse des recommandations de consommation de légumineuses dans les guides alimentaires prenant en compte les enjeux environnementaux

Pays	Recommandation concernant les légumineuses telle qu'indiquée dans le guide	Recommandation concernant les légumineuses ramenée sur une base hebdomadaire
Australie (2013)	Recommandation de consommer au moins 3 portions de viandes maigres, volaille, poisson, œufs, tofu, fruits à coque et graines, et légumineuses par jour, en indiquant 150 g pour une portion de légumineuses	
Belgique (2019)	Au moins une portion de 100 g par semaine	
Chine (2022)	1 fois par jour	7 portions
Colombie (2015)	Au moins 2 fois par semaine	
Danemark (2021)	100 g par jour	700 g
Espagne (2022)	4 à 7 portions de 170 g par semaine	
Estonie (2015)	3 à 4 portions par semaine	
Finlande (2014)	Le document recommande de consommer des légumineuses mais sans quantité précise	
Grèce (2014)	Au moins 3 portions de 150 à 200 g par semaine	
Italie (2018)	3 portions de 150 g soit 450 g par semaine	
Mexique (2023)	100 à 200 g par jour pour les femmes et 200 g par jour pour les hommes	700 à 1400 g pour les femmes et 1400 g pour les hommes
Norvège (2014)	Le document recommande de consommer des légumineuses mais sans quantité précise	
Nouvelle-Zélande (2020)	Recommandation de consommer 3 portions par jour pour les hommes (2,5 pour les femmes) d'aliments riches en protéines (légumineuses, fruits à coque, graines, poisson, œufs, volaille et/ou viande rouge)	
Pays-Bas (2020)	Au moins 1 portion de 135 g par semaine	
Suède (2015)	Le document recommande de consommer des légumineuses mais sans quantité précise	

3. Des pays qui placent les enjeux environnementaux au cœur de leur guide alimentaire

3.1. Une section « Faire la différence pour sa santé et pour le climat » associée à chacune des recommandations danoises

Le Danemark présente la particularité de mettre le climat (et non l'ensemble des enjeux environnementaux) au centre de son document de recommandations destiné au public. En témoigne le titre de ce dernier : « The Official Dietary Guidelines – good for health and climate ». Le document met en avant 7 recommandations dans un livret coloré d'une vingtaine de pages. Chaque recommandation est assortie d'un encadré d'une page regroupant des astuces pour « Faire la différence pour sa santé et pour le climat » (voir la figure 3.3 dédiée à la recommandation « Mangez moins de viande – choisissez les légumes secs et le poisson »).



Figure 3.3 : Recommandation « Mangez moins de viande – choisissez les légumineuses et le poisson » (Eat less meat - choose legumes and fish) , accompagnée de messages pour « Faire une différence pour la santé et le climat » (Make a difference for health and climate)

Source : [Recommandations alimentaires danoises](#), pp. 8-9

3.2. Les aspects environnementaux omniprésents dans le guide alimentaire de la Flandre

La Flandre (ou Région flamande, en Belgique) a la particularité de placer les enjeux environnementaux au cœur de son guide alimentaire, intitulé « Manger selon le triangle alimentaire : bon pour vous-même et la planète. Recommandations et directives pour un régime sain et environnementalement responsable »¹⁷⁰. Le document commence par une partie « Contexte » de 2 pages, avec les 3 sections suivantes :

- 1- Pourquoi l'environnement doit-il être pris en compte quand on établit des recommandations nutritionnelles ?
- 2- Alimentation durable ou environnementalement responsable ?
- 3- L'intégration de la santé et de l'environnement : une nécessité

Le guide alimentaire de la Flandre propose notamment, en complément d'une pyramide alimentaire (ou « Triangle alimentaire ») classant les aliments selon leur fréquence recommandée de consommation¹⁷¹, un graphique avec les impacts carbone, occupation des sols et consommation d'eau de chaque catégorie d'aliments (voir figure 3.4 page suivante). Le document présente ensuite 3 « principes pour des décisions alimentaires saines et environnementalement responsables » :

- Principe 1 : Mangez proportionnellement plus d'aliments végétaux que de produits d'origine animale
- Principe 2 : Mangez et buvez aussi peu de calories que possible
- Principe 3 : Evitez le gaspillage alimentaire et modérez votre consommation

La présentation de chacun de ces principes s'accompagne d'un double encadré indiquant les justifications du principe sur les plans de la santé et de l'environnement, sous la forme de réponses aux deux questions suivantes :

- Pourquoi est-ce meilleur pour la santé ?
- Pourquoi est-ce meilleur pour l'environnement ?

En ce qui concerne les recommandations alimentaires à proprement parler, celles-ci n'indiquent pas de quantité ou de fréquence de consommation précises, à l'exception pour la viande d'une préconisation de ne pas consommer plus de 300 g de viande rouge et 30 g de viande transformée par semaine, et de privilégier la volaille, les œufs et le poisson. Le guide alimentaire de la Région flamande recommande aussi d'avoir plusieurs « journées végétariennes » dans la semaine, en y allant progressivement : d'abord une, « puis par exemple deux, trois ou même quatre jours par semaine »¹⁷².

Par ailleurs, la Flandre ont conçu un document spécifique intitulé « Pouvons-nous faire avec un peu moins de viande ? » ([Could we do with a little less meat?](#)). Celui-ci propose notamment des infographies pour illustrer comment aller progressivement vers moins de viandes et plus de légumineuses et d'alternatives à la viande.

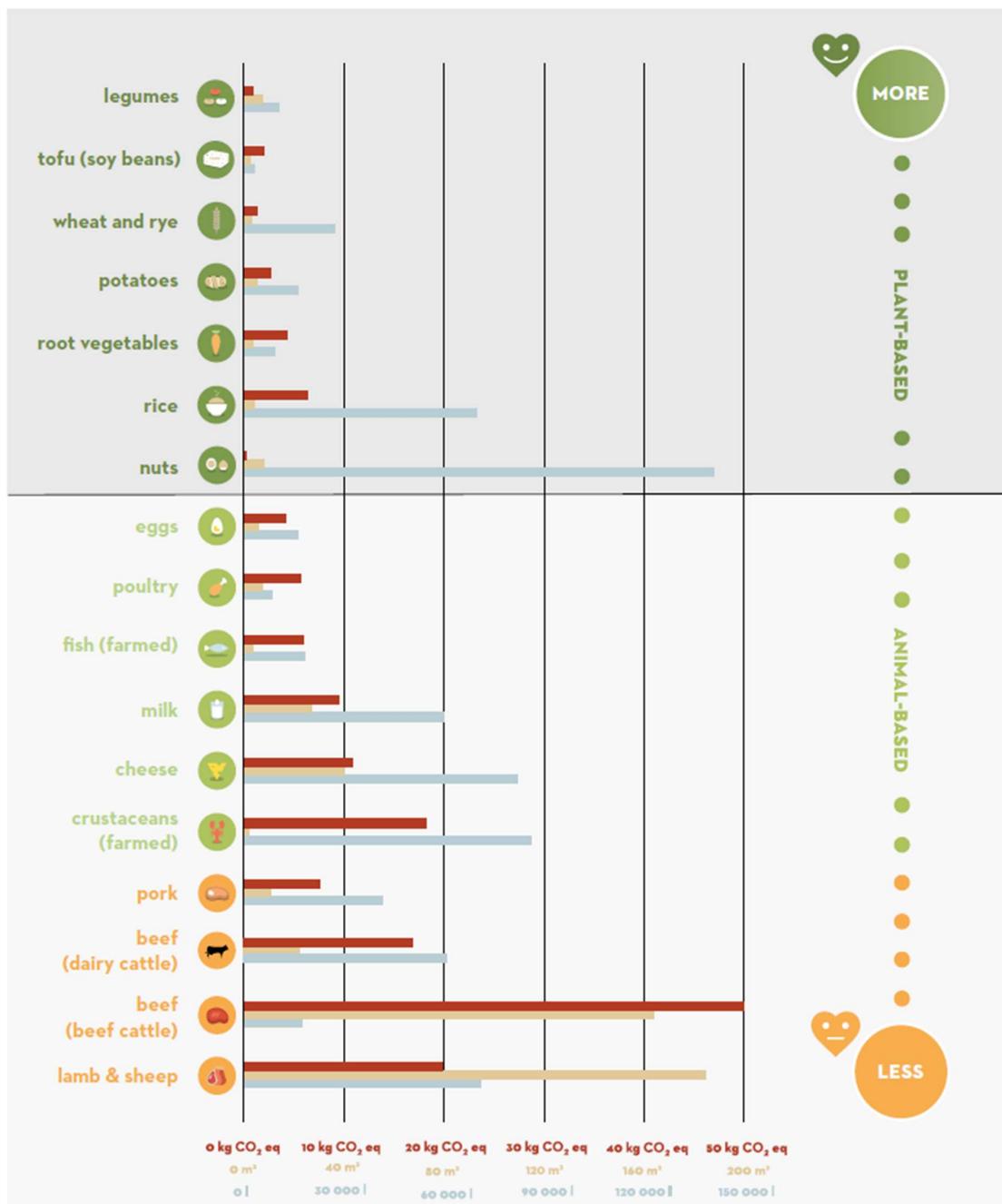
¹⁷⁰ [Recommandations alimentaires de la Flandre](#).

¹⁷¹ [Recommandations alimentaires de la Flandre](#), p.9.

¹⁷² [Recommandations alimentaires flamandes](#), p.17.

KNOW WHAT YOU EAT, FOR OUR PLANET

WHY MORE PLANT-BASED (GREEN HEART) (AND LESS ANIMAL-BASED (ORANGE HEART)) IS ALSO BETTER FOR THE ENVIRONMENT



Légende : en rouge, les émissions de gaz à effet de serre (en kg équivalent CO₂) ; en jaune, la surface agricole mobilisée (en m²) ; en gris, la quantité d'eau utilisée (en litres).

Figure 3.4 : Graphique du guide alimentaire de la Flandre intitulé « L'impact environnemental des aliments végétaux et des produits d'origine animale, classés selon leur place dans le triangle alimentaire »

3.3. Des sections « Ce que doit contenir une alimentation saine et durable » dans les recommandations espagnoles

Chacune des recommandations du document espagnol présente, en titre de début de page, la mention « Ce que doit contenir une alimentation saine et durable ». De plus, un code couleur - la couleur de police verte - est utilisé pour faire ressortir les passages du texte concernant les enjeux environnementaux liés à la consommation de chaque groupe d'aliments, comme on peut le voir dans la recommandation sur la viande et les produits laitiers (voir figure 3.5).

10

QUÉ DEBE ESTAR PRESENTE EN UNA DIETA SALUDABLE Y SOSTENIBLE

LECHE Y PRODUCTOS LÁCTEOS CON MODERACIÓN, SEGUN TUS NECESIDADES



ADEMÁS...

Se recomienda consumir un máximo de 3 raciones al día, sin azúcares añadidos y con bajo contenido en sal.

Ración: 200-250 ml de leche (ejemplo: 1 vaso o taza de leche), 85-125 g de queso fresco, 40-60 g de queso curado (ejemplo: 2-3 lonchas de queso), 125 g de yogur (ejemplo: 1 unidad de yogur).



En situaciones carenciales y de demanda nutricional elevada (embarazo, lactancia, anorexia asociada al envejecimiento), el consumo de lácteos es recomendable por su alto aporte nutricional y su facilidad de consumo

MENOS CARNE, MEJOR SI ES BLANCA



ADEMÁS...

Se recomienda consumir de 0 a un máximo de 3 raciones de carne a la semana, priorizando el consumo de carne blanca de aves y conejo y minimizando el consumo de carne procesada.

Cada ración equivale a 100-125 gramos. Ejemplos: 1 filete mediano, ¼ pollo, ¼ conejo.

El impacto ambiental de la carne es mayor que la de otros tipos de alimentos. Dentro de las carnes, la producción de vaca y cordero es la que tiene mayor impacto ambiental.

Si puedes, elige productos procedentes de ganaderías donde la cría de animales cumpla con los más altos estándares de bienestar animal y consume todas las partes del animal (incluyendo cortes grasos y casquería), para evitar el desperdicio. No obstante, se recomienda elegir cortes magros si se necesita controlar la ingesta de calorías.

Figure 3.5 : Section « Ce que doit contenir une alimentation saine et durable » de la recommandation sur la viande et les produits laitiers dans les recommandations espagnoles
Source : [Recommandations alimentaires espagnoles en anglais](#), p.10

3.4. Des recommandations justifiées par des arguments d'ordre nutritionnel et environnemental dans le guide alimentaire suédois

Comme le Danemark, l'Espagne et la Flandre, la Suède met l'alimentation durable au premier plan : le titre de son document de recommandations n'est autre que « Trouvez votre voie pour manger plus vert et sans excès, et être actif » (« *Find your way to eat greener, not too much and be active* »), et la première page du document est consacrée aux enjeux environnementaux (voir figure 3.6).



Figure 3.6 : Couverture et première page des recommandations suédoises

Source : [Recommandations alimentaires suédoises](#), p.1-2.

Par ailleurs, pour chaque catégorie d'aliments, la recommandation est accompagnée d'un encadré avec des explications sur les enjeux et les bénéfices en termes de santé d'une part, et pour l'environnement d'autre part. En outre, une courte section intitulée « Trouvez votre voie - Comment faire pour y arriver » fournit des trucs et astuces concrets au lecteur. Voici à titre d'exemple la page dédiée à la recommandation de consommer moins de viande rouge et de viande transformée (voir Figure 3.7 page suivante).

Less RED AND PROCESSED MEAT

Eat less red and processed meat, no more than 500 grams a week. Only a small amount of this should be processed meat.

FIND YOUR WAY – how to make it work

FOUR A WEEK?

Four meals containing meat makes around 500 grams. Focus more on vegetarian foods and eggs, and sometimes fish or poultry. Or eat meat a little more often, but in smaller quantities. Make your meat sauce or casserole go further using crushed tomatoes, lentils or root vegetables. You can kill two birds with one stone this way – less meat and more vegetables!

CHICKEN OR EGG

Chicken can be varied just about any way you like. As can eggs – you can have them boiled, fried or in an omelette together with some wholemeal bread and salad for a quick and tasty meal.

EASY TO SWITCH

Soups, pies and stirfries can easily be made without meat. The freezer section in your supermarket offers lots of exciting "veggie burgers", and you'll find ready-to-eat beans, lentils and chickpeas among the tinned products. Quick, simple and delicious.

VEGGIE FOOD IN WHEN YOU'RE OUT

More and more restaurants are focusing on serving delicious vegetarian food. Take the opportunity to enjoy a tasty veggie meal if you're having lunch out.

HEALTHIER CHOICE

The Keyhole symbol can help you find minced meat and processed meat containing less fat.

MEAT WITH A CARE

If you cut back on meat, you'll have enough money for meat produced more sustainably, with attention paid to the welfare of the animals. Choose ecolabelled meats such as free range, organic or certified eco-friendly.

GOOD FOR YOUR HEALTH

Cutting back on red and processed meat is good for our health. By red meat, we mean beef, pork, lamb, reindeer and game. Eating less than 500 grams a week (equivalent to 600-750 grams of raw meat) reduces the risk of colorectal cancer. This is particularly true if we cut back on processed meat products. Processed meat also contains lots of salt and saturated fat, so cutting back on these also reduces the risk of cardiovascular disease.

Meat contains vital nutrients, but beans, chickpeas, lentils, fish, eggs and poultry also provide lots of iron and protein, for instance.

GREATEST ENVIRONMENTAL IMPACT

Of all foods, meat has the greatest impact on our climate and environment. This is why it's important for us to cut back on meat and be careful about what meat we do choose to eat. Poultry has the smallest impact on our climate, followed by pork. Beef and lamb have the greatest impact, but free range beef and lamb can also have positive effects. In Sweden, for example, they help to produce a rich agricultural landscape and ensure that natural pastures are kept open. This benefits lots of species under threat. Sweden is also in a good position when it comes to animal welfare and the use of antibiotics.

Figure 3.9 : La fiche pratique des recommandations suédoises pour arriver à manger moins de viande et plus de légumineuses

Source : [Recommandations alimentaires suédoises](#), p.15.

NB : la quantité maximale de 500 g contient la viande rouge et la viande transformée.

4. Points communs et différences entre les recommandations des guides alimentaires intégrant les enjeux environnementaux et celles du PNNS 4

Dans cette section, nous mettons en perspective les recommandations du PNNS 4, établies dans une optique de nutrition et de santé publique, avec celles des guides alimentaires prenant également en compte les impacts environnementaux liés aux différentes catégories d'aliments, présentées dans les sections précédentes¹⁷³. Cette comparaison met en lumière que :

- Pour certaines catégories d'aliments, les recommandations du PNNS 4 sont dans le même ordre de grandeur que celles des pays prenant en compte les impacts environnementaux. C'est le cas pour les fruits et légumes et pour les produits laitiers.
- Pour d'autres catégories d'aliments, les recommandations du PNNS 4 diffèrent plus ou moins sensiblement de celles des guides alimentaires intégrant les enjeux environnementaux. Cette différence est plus prononcée en ce qui concerne la viande, et s'observe également, bien que dans une moindre mesure, pour les légumineuses et les fruits à coque.

4.1. Les catégories de produits dont les recommandations sont globalement similaires

→ Les fruits et légumes

Recommandation du PNNS 4 : Au moins 5 portions de fruits et légumes par jour

La recommandation du PNNS 4 est tout à fait alignée sur celle de la plupart des guides alimentaires des autres pays, dont la majorité recommande également de consommer au moins 5 portions de fruits et légumes par jour, même si les recommandations de plusieurs pays vont jusqu'à 6 ou 7 portions quotidiennes.

→ Les produits laitiers

Recommandation du PNNS 4 : 2 portions de produits laitiers par jour

La recommandation du PNNS 4 sur les produits laitiers est dans le même ordre de grandeur que les recommandations des guides alimentaires prenant en compte la durabilité. Si seule la Grèce recommande également d'en consommer 2 portions par jour, la majorité des autres pays préconise entre 2 et 3 portions par jour (c'est le cas de l'Australie, du Danemark, de l'Estonie et des Pays-Bas), tandis que la Colombie en recommande au moins 2, l'Espagne 0 à 3, la Nouvelle-Zélande 2,5, la Belgique 2 à 4 et la Suède 1,5 à 4. Seules l'Italie et la Finlande

¹⁷³ Nous nous limitons aux catégories d'aliments étudiées dans les sections suivantes, à savoir la viande (charcuterie incluse), les produits laitiers, les fruits et légumes, les légumineuses et les fruits à coque.

se situent nettement au-dessus, avec respectivement 3,5 et 4 portions quotidiennes recommandées.

4.2. Les catégories d'aliments dont les recommandations vont dans le même sens, mais avec des curseurs variables

→ Les légumineuses

Recommandation du PNNS 4 : au moins 2 portions par semaine

La recommandation du PNNS 4 est en phase avec la préconisation de consommer davantage de légumineuses, partagée par l'ensemble des guides alimentaires prenant en compte les enjeux environnementaux. La fréquence de consommation recommandée en France est identique à celle de la Colombie, supérieure à celle des Pays-Bas et de la Belgique (au moins 1 portion par semaine) et inférieure aux recommandations de la Grèce (au moins 3 portions par semaine), de l'Italie (3 portions par semaine). On observe toutefois une différence plus importante avec des pays comme la Chine (1 portion par jour), le Danemark (100 g par jour), l'Espagne (4 à 7 portions par semaine), l'Estonie (3 à 4 portions par semaine) ou le Mexique (7 à 14 portions par semaine)¹⁷⁴.

→ Les fruits à coque

Recommandation du PNNS 4 : une petite poignée par jour

Le PNNS 4 partage avec la quasi-totalité des pays étudiés la recommandation de consommer des fruits à coque quotidiennement, en évitant le sel ajouté. Si les guides alimentaires des autres pays en recommandent la consommation en quantité variable, celle-ci se situe le plus souvent aux alentours de 25 g par jour : 15 à 25 g en Belgique et aux Pays-Bas, 20 à 30 g en Espagne et en Estonie, 30 g au Danemark, en Nouvelle-Zélande et en Finlande (l'Italie fait figure d'exception avec une recommandation limitée à 60 g par semaine).

→ Les viandes et charcuteries

Recommandations du PNNS 4 :

- *Privilégier la volaille et limiter les autres viandes (porc, bœuf, veau, mouton, agneau, abats) à 500 g par semaine.*
- *Limiter la charcuterie à 150 g par semaine privilégier parmi ces aliments le jambon blanc et le jambon de volaille.*

¹⁷⁴ Les autres pays recommandent de consommer des légumineuses régulièrement, sans toutefois préciser de quantité ou de fréquence, à l'image de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande qui recommandent de consommer des aliments riches en protéines tous les jours, parmi lesquels figurent les légumineuses, la viande ou encore les fruits à coque.

La recommandation du PNNS 4 de limiter la consommation de viande rouge et de charcuterie est également présente dans l'ensemble des guides alimentaires prenant en compte les impacts environnementaux. Toutefois, les recommandations de ces guides alimentaires diffèrent sur deux aspects : les quantités maximales recommandées et les types de viande concernés par celles-ci.

En premier lieu, parmi les 15 guides alimentaires analysés, 8 recommandent de limiter non seulement la consommation de viande rouge et transformée, mais aussi celle de volaille, soit via une recommandation de limitation de la consommation de l'ensemble des viandes (volaille incluse), soit via une recommandation ciblant spécifiquement la volaille (voir le détail dans le tableau 3.2 page 74). **La définition de quantités maximales de consommation pour la volaille est un phénomène récent devenu largement majoritaire dans les guides alimentaires révisés ces dernières années : cela concerne en effet 7 des 8 pays qui ont révisé leurs recommandations après 2017** (à savoir la Belgique, la Chine, le Danemark, l'Espagne, l'Italie, le Mexique et les Pays-Bas).

Ensuite, les guides alimentaires de 13 des 15 pays prenant en compte les impacts environnementaux dans la définition de leurs recommandations des quantités maximales de consommation de viande inférieures aux recommandations du PNNS 4¹⁷⁵. C'est le cas des pays dont la recommandation concerne l'ensemble des viandes (oscillant entre un maximum de 300 g en Italie, 350 g au Danemark et 300-375 g en Espagne, et un maximum de 630 g en Belgique), mais aussi de plusieurs pays dont la recommandation ne concerne que la viande rouge (maximum 500 g de viande rouge et viande transformée en Norvège et en Suède, maximum 455 g de viande rouge en Australie)¹⁷⁶.

Enfin, l'ensemble des guides alimentaires étudiés recommande de limiter la consommation de « viande transformée », soit via des recommandations de type « éviter la viande transformée », soit par l'inclusion de la viande transformée dans la quantité totale de viande à ne pas dépasser sur une semaine. Cette catégorisation diffère ainsi de celle adoptée par le PNNS 4 qui isole une catégorie « charcuterie ». Outre les enjeux de sémantique, cela change le périmètre des aliments couverts par les recommandations, puisque le groupe d'aliments « viande transformée » comprend, en plus de la charcuterie, les autres formes de viande transformée à base de viande rouge (comme les saucisses), mais aussi celles à base de volaille comme les nuggets et les cordons bleus.

¹⁷⁵ Outre la Colombie qui ne définit pas de quantité maximale de consommation de viande, l'Estonie présente une recommandation identique à celle de la France.

¹⁷⁶ A noter que la Nouvelle-Zélande définit un maximum de 350 à 500 g de viande rouge par semaine (hors charcuterie et autres viandes transformées) en précisant toutefois que cela correspond à 3 portions par semaine maximum.

5. Conclusion des parties 2 et 3

Dans la partie 2 de ce rapport, nous avons montré qu'à la suite du progrès des connaissances sur les impacts environnementaux des systèmes alimentaires, la définition et la promotion de régimes alimentaires à la fois sains et durables sont devenus des enjeux importants pour les scientifiques et les autorités publiques. De nombreux scénarios prospectifs ont modélisé des régimes alimentaires visant à concilier la couverture des apports nutritionnels et la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des autres impacts environnementaux liés à l'alimentation. Ces travaux convergent sur la nécessité de diminuer la consommation de viande de 50 % d'ici 2050, de réduire la consommation de produits laitiers et d'augmenter la consommation de fruits et légumes et de sources de protéines végétales (céréales complètes, fruits à coque et légumineuses).

Dans le même temps, un nombre croissant de pays ont procédé à la révision de leurs recommandations de consommation alimentaire afin d'intégrer, en plus des enjeux de nutrition et de santé publique, les impacts environnementaux de l'alimentation. Comme détaillé dans la partie 3 de ce rapport, en 2023, 25 pays prennent en compte et/ou mentionnent de façon plus ou moins approfondie les enjeux environnementaux dans leurs guides alimentaires. De façon plus précise, 15 pays prennent en compte ces enjeux pour définir les quantités et/ou fréquence de chaque catégorie d'aliments qu'ils recommandent de consommer, et plusieurs autres pays ont récemment engagé un processus pour faire de même. A quelques rares exceptions près, ces pays ont en commun de recommander une consommation fréquente de fruits et légumes (au moins 5 portions par jour), légumineuses (entre 3 fois par semaine et une fois par jour) et de fruits à coque (20-30 g par jour), une consommation de produits laitiers entre 2 à 3 portions par jour et de limiter la consommation de viande. Un peu plus de la moitié des pays recommandent de limiter non seulement la viande rouge et la viande transformée (charcuterie incluse), mais aussi la volaille (cela concerne d'ailleurs 7 des 8 pays ayant révisé leurs recommandations après 2017). Les quantités maximales de viande indiquées dans les recommandations de ces pays oscillent entre 300 et 630 g par semaine pour l'ensemble des viandes, viande transformée et volaille comprises (300 g en Italie, 350 g au Danemark, 500 g aux Pays-Bas et 630 g en Belgique par exemple).

Les régimes alimentaires issus des scénarios et ceux préconisés par les guides alimentaires des différents pays convergent donc assez largement sur une consommation accrue d'aliments végétaux (hors produits gras, sucrés et/ou salés) et une réduction importante de la consommation de viande, incluant les viandes transformées et la volaille (systématique dans les scénarios, et majoritaire dans les guides alimentaires). Dans les scénarios, cette réduction est de l'ordre de 50 % par rapport à la quantité actuellement consommée en France, ce qui correspond à 435 g par semaine et se situe dans l'ordre de grandeur des quantités maximales de viande indiquées dans les guides alimentaires des pays prenant en compte les impacts environnementaux.

Toutefois, et comme noté par INRAE également, si ces scénarios prospectifs ont la vertu d'intégrer de façon complète les variables agronomiques et environnementales, et de garantir un « bouclage » et une cohérence entre régimes alimentaires et systèmes agricoles, ils

n'intègrent pas de manière aussi fine les enjeux de couverture des besoins nutritionnels¹⁷⁷. Partant de ce constat, la quatrième partie du présent rapport cherchera, à l'aide d'un travail de modélisation, à répondre aux questions suivantes :

1) Est-ce possible de réduire de 50 % la consommation de viande, comme le recommandent les scénarios prospectifs, tout en :

- satisfaisant les recommandations d'apports en nutriments pour l'adulte (adéquation nutritionnelle)¹⁷⁸ ;
- respectant les recommandations actuelles de consommation alimentaire (PNNS 4) ;
- réduisant l'impact carbone (et jusqu'à quel pourcentage ?) sans dégrader d'autres impacts environnementaux ;
- s'écartant le moins possible des consommations observées ;
- sans avoir recours à des produits enrichis ou des supplémentations ?

2) Avec quelles implications en termes d'évolution des consommations alimentaires ?

Les résultats des modélisations apporteront des données supplémentaires sur lesquelles s'appuyer pour formuler des propositions d'évolution des recommandations du PNNS afin que celles-ci prennent en compte les impacts environnementaux liés à l'alimentation.

¹⁷⁷ La contribution d'INRAE note plus précisément que « Les études conduites par les nutritionnistes et épidémiologistes ne bouclent généralement pas avec des scénarios de production, mais introduisent parfois certaines contraintes techniques (par exemple, sur la relation lait-viande) » et que « Les scénarios prospectifs qui intègrent un bouclage avec la production (TYFA, Afterres 2050) mais pas nécessairement un calage nutritionnel très précis » (Soussana, J.-F., et al. (2023). [Propositions d'hypothèses pour le scénario AMS de la SNBC 3 pour le secteur Agriculture](#), INRAE, p. 13).

¹⁷⁸ Il convient de rappeler que l'alimentation actuelle est éloignée des recommandations de consommation (trop de produits gras-salés-sucrés, trop de viande rouge et de charcuterie, trop peu de fruits et légumes, de produits céréaliers complets et de légumineuses) et n'est pas nutritionnellement adéquate (pas assez de fibres, trop d'acides gras saturés...).

Partie 4 - Modélisation de régimes compatibles avec les enjeux nutritionnels et environnementaux, avec deux fois de moins de viande qu'aujourd'hui

1. Objectif de l'approche de modélisation conduite dans cette étude

Dans cette partie 4 du rapport, nous avons mis en œuvre une approche de modélisation pour répondre à la question suivante : est-ce possible de réduire de 50 % la consommation de viande tout en :

- satisfaisant les recommandations d'apports en nutriments pour l'adulte (adéquation nutritionnelle),
- respectant les recommandations actuelles de consommation alimentaire (PNNS 4),
- réduisant l'impact carbone (et en estimant quel pourcentage de réduction maximum il est possible d'atteindre) sans aggraver d'autres impacts environnementaux,
- en s'écartant le moins possible des consommations observées,
- sans avoir recours à des produits enrichis ou des supplémentations,
- et avec quelles implications en termes d'évolution des consommations alimentaires ?

NB : Dans cette partie du rapport, nous avons choisi de citer prioritairement des travaux réalisés à partir de données françaises, bien qu'il existe désormais une vaste littérature scientifique internationale sur l'alimentation durable, faisant appel notamment à la modélisation pour identifier des choix alimentaires plus durables.

2. Choix de l'approche et des données

2.1. Choix de l'approche

Dans les recherches en nutrition et santé publique, la question de la durabilité de l'alimentation n'a été abordée que relativement récemment, au tournant des années 2010, en lien notamment avec la définition pour la première fois par une instance internationale – la FAO – du concept d'alimentation durable, qui comporte quatre dimensions : environnementale mais aussi nutrition/santé, socioculturelle et économique¹⁷⁹ ».

Dans ce champ de recherche disciplinaire, les travaux ont principalement porté sur l'évaluation de l'impact environnemental des choix alimentaires, la compréhension des synergies et des conflits entre les différentes dimensions de l'alimentation durable, notamment entre nutrition et environnement, et l'identification des changements nécessaires, en termes

¹⁷⁹ FAO. (2010) Definition of sustainable diets. International Scientific Symposium “Biodiversity and Sustainable Diets United Against Hunger.” <https://www.fao.org/ag/humannutrition/28507-0e8d8dc364ee46865d5841c48976e9980.pdf>

de choix alimentaires, pour tendre vers une alimentation plus saine et plus durable. Contrairement aux approches ciblées sur une filière alimentaire et/ou un aliment, telle que l'analyse de cycle de vie (ACV), ce sont les diètes (réelles ou théoriques, populationnelles ou individuelles) qui sont étudiées, ce qui impose de considérer simultanément l'ensemble des aliments constitutifs de la diète (i.e. le répertoire alimentaire ou la diversité alimentaire) et les quantités et les fréquences auxquelles ces aliments sont consommés (ou pourraient être consommés, dans le cas de diètes théoriques).

Dans leur grande majorité, ces recherches ont mobilisé 4 grands types d'approches¹⁸⁰, à savoir :

- Approche 1 : la proposition de diètes théoriques supposées plus durables conçues sur la base de considérations a priori (par exemple : diète méditerranéenne¹⁸¹, diète de référence EAT-Lancet^{182,183}, substitution de produits animaux par des produits végétaux^{184,185}...), avec vérification a posteriori de l'intérêt potentiel de ces diètes au regard de différents critères de durabilité ;
- Approche 2 : l'évaluation de la durabilité de diètes existantes à partir d'enquêtes de consommations alimentaires individuelles et l'analyse des associations entre différents critères de durabilité^{186,187} ;
- Approche 3 : l'identification de diètes plus durables que les autres au sein de diètes existantes, également appelée approche par la déviance positive, en vue d'isoler, parmi les régimes existants, ceux qui concilient le mieux différentes exigences de la

¹⁸⁰ Perignon, M., & Darmon, N. (2022). Advantages and limitations of the methodological approaches used to study dietary shifts towards improved nutrition and sustainability. *Nutrition Reviews*, 80(3), 579-597.

¹⁸¹ Sáez-Almendros, S., Obrador, B., Bach-Faig, A., & Serra-Majem, L. (2013). Environmental footprints of Mediterranean versus Western dietary patterns: beyond the health benefits of the Mediterranean diet. *Environmental Health*, 12, 1-8.

¹⁸² Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., ... & Murray, C. J. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447-492.

¹⁸³ Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., ... & Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519-525.

¹⁸⁴ Vieux, F., Darmon, N., Touazi, D., & Soler, L. G. (2012). Greenhouse gas emissions of self-selected individual diets in France: changing the diet structure or consuming less? *Ecological economics*, 75, 91-101.

¹⁸⁵ Springmann, M., Wiebe, K., Mason-D'Croz, D., Sulser, T. B., Rayner, M., & Scarborough, P. (2018). 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*, 2(10), e451-e461.

¹⁸⁶ Vieux, F., Soler, L. G., Touazi, D., & Darmon, N. (2013). High nutritional quality is not associated with low greenhouse gas emissions in self-selected diets of French adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 97(3), 569-583.

¹⁸⁷ Seconda, L., Baudry, J., Allès, B., Boizot-Szantai, C., Soler, L. G., Galan, P., ... & Kesse-Guyot, E. (2018). Comparing nutritional, economic, and environmental performances of diets according to their levels of greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 148, 155-172.

- durabilité^{188,189,190,191} (par exemple, identifier, parmi les régimes consommés dans une population, ceux dont la qualité nutritionnelle est supérieure à la qualité nutritionnelle médiane et dont l'impact carbone est plus faible que l'impact carbone médian),
- Approche 4 : la conception de diètes théoriques par une approche multicritères sans a priori basée sur la technique d'optimisation sous contraintes : cette méthode permet d'aller plus loin que l'existant, en générant des diètes répondant à plusieurs exigences sur différentes dimensions de la durabilité^{192,193,194,195}.

Les méthodes monocritères, comme par exemple la segmentation de la population en fonction d'une seule dimension ou d'une seule métrique de la durabilité (qui relève de l'approche 2), ne sont pas adaptées pour identifier des choix alimentaires plus durables. En effet, l'amélioration d'une seule métrique de la durabilité (par exemple la réduction de l'impact carbone) n'est en aucun cas une garantie de l'amélioration des autres métriques. Par exemple une alimentation très déséquilibrée et de mauvaise qualité nutritionnelle a plutôt tendance à avoir un faible impact environnemental^{196,197} car elle a une forte densité énergétique¹⁹⁸ (donc il suffit d'en consommer relativement peu en quantité pour couvrir les besoins en énergie) et est largement constituée de produits basés sur des ingrédients d'origine végétale (du type

¹⁸⁸ Vieux, F., Privet, L., Soler, L. G., Irz, X., Ferrari, M., Sette, S., ... & Darmon, N. (2020). More sustainable European diets based on self-selection do not require exclusion of entire categories of food. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119298.

¹⁸⁹ Masset, G., Vieux, F., Verger, E. O., Soler, L. G., Touazi, D., & Darmon, N. (2014). Reducing energy intake and energy density for a sustainable diet: a study based on self-selected diets in French adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99(6), 1460-1469.

¹⁹⁰ Vieux, F., Privet, L., Soler, L. G., Irz, X., Ferrari, M., Sette, S., ... & Darmon, N. (2020). More sustainable European diets based on self-selection do not require exclusion of entire categories of food. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119298.

¹⁹¹ Seconda, L., Baudry, J., Allès, B., Soler, L. G., Hercberg, S., Langevin, B., ... & Kesse-Guyot, E. (2018). Identification of sustainable dietary patterns by a multicriteria approach in the NutriNet-Sante cohort. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1256-1265.

¹⁹² Gazan, R., Brouzes, C. M., Vieux, F., Maillot, M., Lluch, A., & Darmon, N. (2018). Mathematical optimization to explore tomorrow's sustainable diets: a narrative review. *Advances in Nutrition*, 9(5), 602-616.

¹⁹³ Perignon, M., Masset, G., Ferrari, G., Barré, T., Vieux, F., Maillot, M., ... & Darmon, N. (2016). How low can dietary greenhouse gas emissions be reduced without impairing nutritional adequacy, affordability and acceptability of the diet? A modelling study to guide sustainable food choices. *Public Health Nutrition*, 19(14), 2662-2674.

¹⁹⁴ Vieux, F., Perignon, M., Gazan, R., & Darmon, N. (2018). Dietary changes needed to improve diet sustainability: are they similar across Europe?. *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(7), 951-960.

¹⁹⁵ Kesse-Guyot, E., Pointereau, P., Brunin, J., Perraud, E., Toujani, H., Berthy, F., ... & Fouillet, H. (2023). Trade-offs between water use and greenhouse gas emissions related to food systems: an optimization study in French adults. *medRxiv*, 2023-03.

¹⁹⁶ Vieux, F., Soler, L. G., Touazi, D., & Darmon, N. (2013). High nutritional quality is not associated with low greenhouse gas emissions in self-selected diets of French adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 97(3), 569-583.

¹⁹⁷ Payne, C. L., Scarborough, P., & Cobiac, L. (2016). Do low-carbon-emission diets lead to higher nutritional quality and positive health outcomes? A systematic review of the literature. *Public health Nutrition*, 19(14), 2654-2661.

¹⁹⁸ Masset, G., Vieux, F., Verger, E. O., Soler, L. G., Touazi, D., & Darmon, N. (2014). Reducing energy intake and energy density for a sustainable diet: a study based on self-selected diets in French adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99(6), 1460-1469.

biscuits, chips, pâtes...), qui de surcroît sont très peu chers¹⁹⁹ mais pas favorables au maintien de la santé. Il est donc impossible de trouver des solutions capables de concilier les différentes exigences de l'alimentation durable sur la base d'analyses monocritères. C'est également très difficile en se basant sur la conception de diètes théoriques conçues pour être a priori plus durables (approche 1).

Outre son caractère théorique, la limite principale de l'approche 1 est qu'elle ne permet pas (non plus) d'atteindre avec certitude une amélioration sur tous les critères d'intérêt, puisque la plupart de ces critères sont analysés *a posteriori*. Par exemple, une étude (réalisée par les promoteurs de la diète EAT-Lancet) suggère que le simple remplacement (total ou partiel) de produits animaux par des produits végétaux (sans autres exigences relatives à ces changements), agraverait l'impact « eau » de l'alimentation et ne permettrait pas de couvrir l'ensemble des besoins nutritionnels²⁰⁰. De plus, dans le cas où certains critères ne sont pas atteints, l'approche 1 ne permet pas de savoir s'ils seraient atteignables (en posant d'autres hypothèses *a priori*) ou s'il existe des incompatibilités fortes entre certaines exigences, rendant impossible leur réalisation simultanée. Concernant l'approche par la déviance positive (approche 3 : identification de diètes plus durables au sein de diètes existantes), elle est intéressante car les diètes proposées sont réalistes (prenant donc en compte la dimension socio-culturelle de l'alimentation durable) puisque déjà consommées au moins par une partie de la population, mais les améliorations nutritionnelles et environnementales associées à ces diètes sont généralement modestes (notamment, aucune diète existante, même la plus équilibrée qui soit, ne respecte l'ensemble de toutes les recommandations basées sur les nutriments et/ou toutes les recommandations de consommation alimentaire). De plus, l'approche 3 ne permet pas l'exploration de nouvelles alternatives puisque les solutions ne sont recherchées que dans les régimes alimentaires actuellement consommés.

En revanche, l'optimisation mathématique sous contraintes (approche 4) présente plusieurs avantages par rapport aux trois autres approches. Il est relativement aisé, si les données sont disponibles et fiables, d'inclure dans un même modèle des contraintes portant sur différentes dimensions de l'alimentation durable (par exemple nutrition et environnement) et différents critères associés à ces dimensions. On pourra alors savoir rapidement si, compte tenu des aliments disponibles et de leurs caractéristiques connues, ces contraintes sont compatibles entre elles ou non. Si elles sont compatibles, les solutions proposées respecteront de facto toutes les contraintes imposées. Si elles ne le sont pas, on pourra explorer les raisons de cette incompatibilité, et on pourra aussi envisager des solutions alternatives, comme le recours à de nouveaux aliments, ou bien l'assouplissement de certaines contraintes pour trouver des solutions qui les respectent « au mieux ». Quoi qu'il en soit, cette capacité à intégrer simultanément de nombreuses exigences sur un grand nombre de métriques relatives à différentes dimensions de la durabilité (c'est-à-dire pas seulement la durabilité environnementale mais aussi les dimensions nutrition/santé, culture/social, et économie) a fait

¹⁹⁹ Masset, G., Soler, L. G., Vieux, F., & Darmon, N. (2014). Identifying sustainable foods: the relationship between environmental impact, nutritional quality, and prices of foods representative of the French diet. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(6), 862-869.

²⁰⁰ Springmann, M., Wiebe, K., Mason-D'Croz, D., Sulser, T. B., Rayner, M., & Scarborough, P. (2018). 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*, 2(10), e451-e461.

de cette technique une approche de choix pour l'étude de l'alimentation durable²⁰¹. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi cette méthode dans la présente étude pour identifier comment les recommandations de consommation du PNNS pourraient évoluer si elles prenaient en compte la nécessité de réduire l'impact environnemental de l'alimentation.

L'optimisation mathématique sous contraintes est particulièrement bien adaptée à la résolution de problèmes complexes. Appliquée à la nutrition, elle permet de générer, sans a priori, des diètes théoriques (i.e. une combinaison d'aliments et leurs quantités) respectant un ensemble d'exigences exprimées sous la forme de contraintes chiffrées (égalités ou inégalités mathématiques). Elle a été largement utilisée pour identifier quels choix alimentaires permettent d'atteindre l'adéquation nutritionnelle (i.e. le respect d'un set de recommandations nutritionnelles, c'est-à-dire non seulement l'équilibre en macronutriments mais également la totalité des apports nutritionnels conseillés en vitamines, minéraux, oligo-éléments, fibres, acides gras essentiels, et les valeurs maximales recommandées pour les nutriments à limiter tels que le sodium, les acides gras saturés et les sucres libres). L'optimisation sous contrainte est également très utile pour analyser la capacité d'une offre alimentaire existante (i.e. une liste d'aliments disponibles) à couvrir les besoins nutritionnels d'une population donnée en vue de concevoir des recommandations de consommation adaptées à une population particulière et/ou un contexte socio-géographique donné. On peut citer pour exemple la question de l'alimentation de complément à l'allaitement maternel dans les pays à revenus faibles ou intermédiaires²⁰². L'optimisation sous contraintes permet aussi de mettre en évidence et de comprendre les incompatibilités éventuelles et les arbitrages à opérer entre différentes exigences appliquées aux diètes, notamment entre contraintes nutritionnelles et budgétaires²⁰³. Elle a été mise en œuvre dès 2010 pour identifier des choix alimentaires plus sains et plus durables sur le plan environnemental²⁰⁴.

Concrètement, l'optimisation sous contrainte permet d'identifier, lorsque c'est possible, la meilleure combinaison de variables (les aliments et leurs quantités) qui respecte un ensemble de contraintes (ex : recommandations nutritionnelles et/ou alimentaires) en atteignant l'optimum d'une fonction appelée fonction « objectif » (par exemple, cet optimum peut être l'écart minimum atteignable entre la diète optimisée et les consommations observées, compte tenu des variables disponibles et des contraintes imposées).

Un modèle d'optimisation est donc défini par les 3 éléments suivants :

- **Les variables**, aussi appelées variables décisionnelles, c'est-à-dire la liste des aliments dont le modèle pourra modifier les quantités pour respecter les contraintes imposées et atteindre l'optimum désiré,
- **La fonction « objectif »**, c'est-à-dire la fonction à optimiser (minimisation ou maximisation),
- **Les contraintes**, c'est-à-dire la liste des exigences, exprimées sous la forme de contraintes chiffrées, que la diète optimisée (respect des recommandations, réduction des impacts environnementaux...) devra respecter.

²⁰¹ Gazan, R., Brouzes, C. M., Vieux, F., Maillot, M., Lluch, A., & Darmon, N. (2018). Mathematical optimization to explore tomorrow's sustainable diets: a narrative review. *Advances in Nutrition*, 9(5), 602-616.

²⁰² Ferguson, E. L., Darmon, N., Fahmida, U., Fitriyanti, S., Harper, T. B., & Premachandra, I. M. (2006). Design of optimal food-based complementary feeding recommendations and identification of key "problem nutrients" using goal programming. *The Journal of Nutrition*, 136(9), 2399-2404.

²⁰³ Darmon, N., Ferguson, E. L., & Briand, A. (2002). A cost constraint alone has adverse effects on food selection and nutrient density: an analysis of human diets by linear programming. *The Journal of Nutrition*, 132(12), 3764-3771.

²⁰⁴ Macdiarmid, J. I., Kyle, J., Horgan, G. W., Loe, J., Fyfe, C., Johnstone, A., & McNeill, G. (2012). Sustainable diets for the future: can we contribute to reducing greenhouse gas emissions by eating a healthy diet?. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 96(3), 632-639.

La programmation linéaire (ou la modélisation multicritère) a été utilisée pour contribuer au développement des recommandations de consommation alimentaire au Royaume-Uni²⁰⁵, aux Pays-Bas²⁰⁶, et même en France^{207,208,209}. Cependant, à notre connaissance, aucun de ces modèles n'imposait une réduction, ou un contrôle de l'empreinte environnementale des diètes. En ce qui concerne les Pays-Bas, dans leurs modélisations multicritères, c'est la quantité de viande rouge qui a été utilisée comme proxy de l'impact environnemental, et non pas des données issues d'analyses de cycle de vie. En 2021, un groupe d'experts réuni par la société allemande de nutrition a recommandé l'utilisation d'une approche d'optimisation sous contraintes pour le développement des recommandations de consommation alimentaire, en veillant à imposer, en combinaison du respect des recommandations nutritionnelles, des contraintes de réduction des impacts environnementaux (basées sur des métriques environnementales, telles que les émissions de gaz à effet de serre)²¹⁰. Depuis, la société allemande de nutrition a développé un outil de programmation linéaire pour répondre à cet objectif et est la seule institution à avoir commencé à publier son travail^{211,212}.

2.2. Choix des données

Pour identifier, à l'aide de l'optimisation sous contraintes, les changements de consommation pour tendre vers une alimentation plus durable, il faut disposer de données sur la composition nutritionnelle des aliments et sur leurs impacts environnementaux²¹³ et relier ces données

²⁰⁵ Buttriss JL (2016). The Eatwell guide refreshed. *Nutrition Bulletin* 41:135–141.

²⁰⁶ Brink, E., van Rossum, C., Postma-Smeets, A., Stafleu, A., Wolvers, D., van Dooren, C., ... & Ocké, M. (2019). Development of healthy and sustainable food-based dietary guidelines for the Netherlands. *Public Health Nutrition*, 22(13), 2419-2435.

²⁰⁷ ANSES (2016) Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires.

²⁰⁸ Mariotti, F., Havard, S., Morise, A., Nadaud, P., Sirot, V., Wetzler, S., & Margaritis, I. (2021). Perspective: modeling healthy eating patterns for food-based dietary guidelines—scientific concepts, methodological processes, limitations, and lessons. *Advances in Nutrition*, 12(3), 590-599.

²⁰⁹ Notons cependant que les recommandations finales du PNNS 4 s'écartent notablement des résultats des modèles publiés par l'Anses (références citées dans les deux notes ci-dessus).

²¹⁰ Schäfer, A. C., Schmidt, A., Bechthold, A., Boeing, H., Watzl, B., Darmon, N., ... & Vieux, F. (2021). Integration of various dimensions in food-based dietary guidelines via mathematical approaches: Report of a DGE/FENS workshop in Bonn, Germany, 23–24 September 2019. *British Journal of Nutrition*, 126(6), 942-949.

²¹¹ Schäfer, A., Gazan, R., Boeing, H., Breidenassel, C., Haurogne, T., Nöthlings, U., ... & Watzl, B. (2021). Deriving sustainable food-based dietary guidelines for Germany via multidimensional optimization: insights to operationalise the diet-health dimension. *Current Developments in Nutrition*, 5, 5140881.

²¹² Schäfer A (2023). Consideration of sustainability within the multi-dimensional food-based dietary guideline for Germany. Oral communication, *FENS meeting*, Belgrad.

²¹³ D'autres informations comme les teneurs en contaminants des aliments peuvent également être prises en compte dans l'optimisation sous contraintes. Etant donné la difficulté d'accès à des données fiables et récentes sur ces caractéristiques, et à leur variabilité en fonction des modes de production, elles n'ont pas été prises en compte dans la présente étude. Le prix des aliments est potentiellement intéressant à prendre en compte, mais ces données sont également très difficiles à obtenir, et les valeurs sont sujettes à de grandes fluctuations, qui pourraient notamment être induites par des changements de modes de production et de consommation. Dans la présente étude, nous avons utilisé une base de données de prix élaborée dans le cadre d'une étude précédente, mais ces informations n'ont été exploitées qu'à titre indicatif.

entre elles en adoptant notamment une catégorisation commune à ces différentes métriques issues de sources différentes²¹⁴.

Des données sur les consommations individuelles sont également nécessaires, car elles rendent compte de ce qui est aujourd’hui socialement acceptable. Or, une limite importante de la modélisation sous contraintes est qu’elle aboutit à des diètes théoriques, dont il est impossible d’évaluer l’acceptabilité effective, une dimension pourtant centrale de l’alimentation durable (une diète non acceptée n’est pas adoptée et ne peut donc être durable). A cet égard, les données sur les consommations individuelles sont importantes car elles permettent, par exemple, de savoir quelle est la quantité maximale consommée d’un aliment, ou d’une catégorie d’aliments, par les plus grands consommateurs de cet aliment, ou de cette catégorie d’aliments, dans la population concernée. Afin de garantir un certain réalisme aux diètes générées par les modèles d’optimisation (appelées « diètes modélisées » ou « diètes optimisées »), ces valeurs extrêmes sont souvent utilisées comme limites maximales dans les modèles pour borner les quantités qui seront introduites dans les diètes théoriques générées par les modèles. Une autre façon de tenir compte des habitudes de consommation, est de « demander » au modèle de générer des diètes qui s’écartent le moins possible des consommations actuelles, ce qui impose de connaître ces consommations, également appelées « diètes observées ».

Pour réaliser la présente étude, nous avons utilisé plusieurs types de données, détaillées ci-après.

2.2.1. Consommations alimentaires individuelles (pour la prise en compte de la dimension socio-culturelle)

Les données de consommation individuelle sont celles des adultes ayant participé à l’étude INCA3 (2014-2015), la plus récente étude sur l’alimentation représentative de la population vivant en France métropolitaine²¹⁵. Plus précisément, nous avons considéré les données de consommation des adultes âgés de 18 à 79 ans ayant répondu à un questionnaire auto-administré, et à au moins 2 rappels de 24h. L’échantillon final utilisé comporte 2121 individus dont 1234 femmes et 887 hommes. Les données sont des quantités d’aliments « tels que consommés », c’est à dire après cuisson (pour des aliments comme les pâtes, le riz ou des légumineuses achetées sèches), l’épluchage (pour les fruits et légumes), le parage pour les viandes, etc.

2.2.2. Table de composition nutritionnelle des aliments (pour la prise en compte de la dimension nutritionnelle)

Les 2500 aliments de la table CIQUAL ont été catégorisés en trois niveaux : groupes, sous-groupes, et items alimentaires. Le niveau le plus détaillé comportait 68 items (dont 10 items

²¹⁴ Gazan, R., Barré, T., Perignon, M., Maillot, M., Darmon, N., & Vieux, F. (2018). A methodology to compile food metrics related to diet sustainability into a single food database: application to the French case. *Food Chemistry*, 238 , 125-133.

²¹⁵ ANSES, INCA3, Rapport d’Expertise Collective 2017.

<https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0234Ra.pdf>

enrichis et 3 items d'« alternatives végétales » aux produits animaux), répartis dans 27 sous-groupes et 16 groupes.

Pour chaque item alimentaire, une base de composition nutritionnelle pour 100 g a été calculée à partir des compositions nutritionnelles des aliments disponibles au sein de la base INCA3. Pour un item donné, la composition nutritionnelle a été estimée comme étant la moyenne de la composition nutritionnelle de l'ensemble des aliments que l'item regroupe, pondérée par les quantités consommées de ces aliments par les 2121 adultes, ceci afin que les aliments les plus consommés soient mieux représentés que ceux faiblement consommés. Par exemple, au sein de l'item « fruits riches en vitamine C », les oranges étant bien plus consommées que les kumquats, leur composition nutritionnelle comptera davantage que celle des kumquats.

Les aliments enrichis ont été repérés sur la base de leur libellé au sein des produits céréaliers raffinés, des produits laitiers, des céréales du petit-déjeuner, des biscuits, des boissons sucrées et des matières grasses.

2.2.3. Impacts environnementaux des aliments (pour la prise en compte de la dimension environnementale)

Nous avons utilisé la base Agribalyse® v3.0.1 qui fournit l'inventaire du cycle de vie de 2500 produits alimentaires enregistrés dans CIQUAL. Dans la présente étude, 8 métriques environnementales fournies par la base Agribalyse® ont été utilisées : l'impact carbone (appelé indicateur de changement climatique dans la base), l'utilisation de l'eau, l'eutrophisation des eaux douces, l'eutrophisation des eaux marines, l'eutrophisation terrestre, l'acidification, l'utilisation des sols et l'utilisation d'énergie²¹⁶. Ces métriques ont été choisies car ce sont les plus utilisées et donc les mieux renseignées en agriculture.

²¹⁶ L'indicateur de changement climatique, exprimé en kg CO₂ eq, correspond à la modification des équilibres climatiques, en particulier de l'effet de serre naturel, due à l'augmentation anthropique de certains gaz dans l'atmosphère (principalement CO₂, CH₄ et N₂O), et affectant l'écosystème global.

- L'utilisation de l'eau correspond à la consommation d'eau et à son épuisement dans certaines régions ; cet impact tient compte de la rareté (par exemple, la consommation d'un litre d'eau a plus d'impact au Maroc qu'en Bretagne).
- L'eutrophisation marine et celle des eaux douces correspondent à un enrichissement excessif des milieux naturels en nutriments (principalement azote et phosphore) provenant des rejets d'eaux usées et des terres agricoles fertilisées qui accélèrent la croissance des algues et autres végétaux dans l'eau, ce qui conduit à leur prolifération et à leur asphyxie.
- L'eutrophisation terrestre correspond à un enrichissement excessif de l'environnement, en azote notamment, entraînant un déséquilibre et un appauvrissement de l'écosystème ; elle concerne principalement les sols agricoles.
- L'indicateur d'acidification traite de l'impact dû aux émissions chimiques dans l'atmosphère qui se redéposent dans les écosystèmes (eau, sols) ; ce problème est connu notamment à travers le phénomène des pluies acides.
- L'indicateur d'utilisation des sols, exprimé en point, est un indice de qualité des sols qui reflète l'impact d'une activité sur la dégradation des sols, en référence à « l'état naturel ».
- L'indicateur de consommation d'énergie correspond à l'épuisement des ressources énergétiques non renouvelables : charbon, gaz, pétrole, uranium, etc.

Pour plus d'information : <https://doc.agribalyse.fr/documentation/les-donnees/methodologie-acv>

2.2.4. Prix des aliments (pour la prise en compte de la dimension économique)

Compte tenu que l'accessibilité financière est un des critères d'une alimentation durable²¹⁷, il nous a semblé utile de disposer de données sur le prix des aliments pour estimer le coût des diètes observées et optimisées, et/ou imposer une contrainte de coût à ne pas dépasser ou même directement minimiser le coût de la diète optimisée. Il n'existe malheureusement pas de base de données officielle, libre d'accès et suffisamment exhaustive sur le prix des aliments, mais des bases de prix peuvent être constituées pour les besoins de la recherche. Dans le cadre de la présente étude nous avons eu accès à une telle base (constituée en collaboration entre INRAE et MS-Nutrition), et nous l'avons utilisée pour estimer le coût des diètes observées et optimisées. Cette base fournit, pour les aliments génériques de la table CIQUAL, les prix moyens calculés à partir des données du panel Kantar (année 2015) qui relève les dépenses pour l'alimentation à domicile d'un large échantillon représentatif de foyers vivant en France métropolitaine.

Il faut noter d'une part, que ces prix ne reflètent pas les prix actuels (qui ont subi une forte inflation), et surtout que le coût estimé des diètes observées ne correspond pas à de vraies dépenses pour l'alimentation mais au coût moyen estimé de ces diètes si tous les aliments qu'elles contiennent avaient été achetés à leur prix moyen de 2015 (et sans considérer le coût de l'alimentation hors domicile).

3. Méthodes

3.1. Critères de regroupement des aliments au sein des items alimentaires

La catégorisation des aliments en items alimentaires, sous-groupes et groupes d'aliments s'est faite selon certains critères.

Les choix opérés pour regrouper les aliments au sein des items ont été principalement motivés par la similitude des caractéristiques nutritionnelles des aliments constituant un même item et par les recommandations de consommation du PNNS. C'est en suivant ces recommandations, notamment, que le pain complet a été distingué du pain blanc, que le jambon blanc a été distingué des autres charcuteries, et que l'item « matières grasses favorables PNNS » a été constitué. De même, les poissons gras ont été distingués des autres « poissons et produits de la mer » car ils font l'objet de recommandations distinctes du fait de leurs teneurs élevées en vitamine D et en acides gras oméga-3 à longues chaînes pour permettre la couverture des besoins en ces nutriments. Au sein des fruits, il était important de distinguer les « fruits riches en vitamine C » car tous les fruits ne sont pas de bonnes sources de vitamine C. D'ailleurs dans des essais préliminaires avec un seul item « fruit », il était particulièrement difficile d'atteindre la recommandation d'apport en vitamine C car cet item (qui est un fruit moyen pondéré par les consommations des différents types de fruits) n'était pas suffisamment riche en vitamine C. Nous avons aussi distingué les noix des autres fruits à

²¹⁷ FAO. (2010) Definition of sustainable diets. International Scientific Symposium "Biodiversity and Sustainable Diets United Against Hunger." <https://www.fao.org/ag/humannutrition/28507-0e8d8dc364ee46865d5841c48976e9980.pdf>

coque, car elles ont un profil lipidique très particulier (et intéressant de par sa richesse en acide alpha linolénique, un acide gras oméga-3 végétal dont les apports sont généralement très insuffisants au regard des recommandations).

Des considérations environnementales ont également été prises en compte dans la constitution de certains items. C'est pour cette raison (en plus de critères purement nutritionnels) que des items distincts ont été constitués pour la viande bovine, la viande de porc, et la volaille.

Tableau 4.1 : Catégorisation des aliments en groupes, sous-groupes et items alimentaires²¹⁸

Groupe	Sous-groupe	Item
Fruits et légumes	Fruits	Fruits riches en vitamine C
		Fruits séchés
		Autres fruits
	Fruits à coque	Autres fruits à coque
		Noix
	Jus de fruits	Jus de fruits
Produits céréaliers raffinés	Produits céréaliers raffinés	Légumes
		Céréales petit déjeuner (non sucré, non complet, enrichi)
		Pain blanc
		Produits céréaliers raffinés (pâtes, riz, semoule)
Produits céréaliers complets	Produits céréaliers complets	Produits céréaliers complets (pâtes, riz, semoule)*
		Pain complet
Pommes de terre	Pommes de terre	Pommes de terre
Légumineuses	Légumineuses	Légumineuses
Charcuterie	Charcuterie	Autres charcuteries
		Jambon blanc
Viande	Viande hors volaille	Viande de porc
		Viande de ruminant
		Abats
		Lapin
		Gibier
	Volaille	Volaille
Produits de la pêche	Poisson gras	Poisson gras
	Poisson maigre crustacés	Crustacés
		Poisson maigre
Œufs	Œufs	Œufs
Produits laitiers	Fromage	Fromage
	Lait et produits laitiers frais	Lait
		Produits laitiers frais
		Lait enrichi
		Produits laitiers frais enrichis
		Desserts lactés**

²¹⁸ Pour rappel, les figures et tableaux font l'objet d'une numérotation spécifique dans chaque partie.

		Sucre, miel, confiture
		Chewing-gum, édulcoré
		Barres céréalierées et muesli
		Biscuits
		Desserts glacés
		Gâteaux
		Produits sucrés
		Produits sucrés au chocolat
		Boissons sucrées
		Barres céréalierées et muesli enrichies
		Biscuits enrichis
		Céréales petit déjeuner sucrées enrichies
		Produits sucrés au chocolat enrichis
		Boissons sucrées enrichies
		Produits apéritifs
		Autres sauces et condiments
		Sel
Produits sucrés salés gras	Plats mixtes	Plats mixtes
		Huile de lin
		Huile de noix
		Huile de colza
		Margarine riche en oméga-3 pauvre en sodium enrichie
		Huile d'olive
		Huile mélangée type isio4
Matières grasses (MG)		Autres MG : Graisses animales
		Autres MG : Graisses végétales
		Autres MG : Graisses végétales enrichies
		Huile de tournesol
		Sauces animales
		Sauces végétales
Eau et boisson	Boissons chaudes	Boissons chaudes
	Eau	Eau du robinet
		Eau en bouteille
Alternatives végétales***	Alternatives viande	Alternatives viande
	Alternatives produits laitiers	Alternatives produits laitiers et lait
		Alternatives produits laitiers et yaourt, enrichies

* Le son d'avoine est classé dans l'item « Produits céréaliers complets »

** Pour des raisons techniques expliquées plus bas les desserts lactés sont classés dans le groupe « Produits laitiers », alors que le PNNS les classe dans les produits sucrés

*** Les alternatives végétales à base de soja sont classées dans le groupe « Alternatives végétales » et pas dans celui des légumineuses

3.2. Croisement des bases de données et calcul de la diète moyenne

Pour chacun des 2121 adultes de l'étude INCA3, la diète a été caractérisée en croisant les bases de données décrites ci-dessus. Ainsi, pour chaque individu, ont été calculés, par jour : les quantités consommées de chaque item, groupe et sous-groupe d'aliments ; les apports énergétiques et nutritionnels ; les impacts environnementaux de la diète à partir des 8 métriques environnementales retenues.

Ces données ont été utilisées pour déterminer les distributions dans la population des consommations des items alimentaires ainsi que des groupes et sous-groupes d'aliments afin d'en tirer des **valeurs maximales réalistes** à ne pas dépasser dans l'optimisation (voir paragraphe « contraintes de réalisme »).

Ces données ont également été utilisées pour calculer la **diète moyenne observée** dans la population. C'est cette diète moyenne qui a été utilisée comme point de départ de la modélisation, le processus d'optimisation visant à corriger cette diète observée pour obtenir une diète optimisée de meilleure qualité nutritionnelle et de moindre impact environnemental et qui s'écarte le moins possible de la diète observée (voir paragraphe fonction « objectif »).

NB : Pour les impacts environnementaux comme pour les compositions nutritionnelles, les informations fournies par les bases (CIQUAL et Agribalyse, respectivement) concernent des aliments génériques. Même si, pour certains aliments, il aurait été possible de disposer d'informations moins génériques, prenant en compte par exemple le mode de production, la marque ou le label, le mode de conservation ou de préparation, ces informations sont parcellaires et ne pourraient être obtenues pour l'ensemble des aliments consommés en s'appuyant sur des méthodologies comparables pour tous les aliments. C'est pourquoi nous avons retenu pour l'étude présentée ici les données proposées par les organismes officiels qui concernent des aliments génériques (Anses pour la composition nutritionnelle et Ademe pour les impacts environnementaux).

3.3. Définition des modèles d'optimisation

Après plusieurs tests préliminaires qui ne seront pas détaillés dans le présent rapport, un set de différents modèles a été défini. Ces différents modèles sont décrits ci-dessous. Les résultats principaux seront d'abord présentés pour tous les modèles, puis un ou deux modèles seront sélectionnés pour une présentation plus détaillée des diètes optimisées avec ces modèles.

3.3.1. Variables décisionnelles

Afin de faciliter la traduction des résultats en recommandations de consommation de catégories d'aliments (et non pas d'aliments spécifiques), il a été choisi de travailler au niveau des items alimentaires (voir Tableau 4.1. ci-dessus) et non pas au niveau des 2500 aliments de la base CIQUAL.

Des raisons techniques justifient également ce choix. En effet, il est classiquement recommandé d'utiliser un nombre relativement faible de variables décisionnelles dans les

modèles afin d'éviter la génération de diètes optimisées irréalistes. En effet, quand plusieurs centaines d'aliments sont disponibles pour la modélisation, et que les contraintes imposées sont sévères et/ou difficilement compatibles, il est fréquent que l'optimisation s'engouffre, pour répondre aux exigences imposées, dans le recours à des aliments « magiques » particulièrement denses en certains nutriments essentiels (comme la levure de bière, certaines baies, certaines huiles...). Or, bien souvent ces aliments ne font pas partie du répertoire alimentaire classique des individus, ils peuvent être chers et/ou peu disponibles. Par ailleurs, les informations concernant leurs impacts environnementaux (et même pour certains leurs compositions nutritionnelles) peuvent être peu fiables, car en réalité inconnues et approximées sur la base des informations disponibles pour d'autres aliments considérés comme semblables. C'est pour toutes ces raisons que le choix a été fait d'utiliser comme variables des items alimentaires et pas des aliments spécifiques.

Pour éviter d'aboutir à des solutions irréalistes, nous n'avons pas autorisé dans la liste des variables décisionnelles l'introduction d'aliments non consommés dans la population INCA3 (comme les insectes, la « viande in vitro », la spiruline, les algues et micro-algues, etc.). Nous n'avons pas non plus autorisé le recours à des suppléments vitaminiques ou minéraux, ou à des extraits végétaux ou animaux (comme les huiles de poisson), en supposant que le respect des contraintes imposées devrait pouvoir se réaliser en s'appuyant sur le répertoire alimentaire habituel des adultes vivant en France (métropolitaine).

Enfin, la catégorisation initiale comportait 3 items « alternatives végétales aux produits animaux », mais nous ne les avons pas intégrés à la liste des variables décisionnelles. Ce choix a été fait en raison d'une part, du très faible nombre de consommateurs de ces items (moins de 5 %) dans INCA3 (rendant difficile l'estimation des quantités qui seraient acceptables par la population) et, d'autre part, du manque de fiabilité des compositions nutritionnelles et des impacts environnementaux associés à ces alternatives végétales dans les bases CIQUAL et Agribalyse respectivement. Ainsi, en l'absence de données plus récentes, plus représentatives du marché actuel de ces produits, il nous a semblé préférable de ne pas les autoriser comme variables décisionnelles.

Les plats mixtes de la table CIQUAL ont été pris en compte dans le calcul de la diète moyenne observée, mais ont été exclus de la liste des variables décisionnelles en raison de leur diversité et de leur composition incertaine (notamment, ces plats peuvent avoir été achetés dans le commerce ou préparés à domicile selon différentes recettes). C'est aussi la raison pour laquelle ces plats ne font jamais partie des recommandations officielles de consommation, surtout quand, comme en France, le fait-maison est recommandé et le recours à des aliments « ultra-transformés » découragé.

Partant d'une liste de 68 items (Tableau 4.1. plus haut), après retrait de l'item « plats mixtes » et des 3 items « alternatives végétales » de la liste des variables décisionnelles, 64 items étaient disponibles au final pour la modélisation. Concrètement, ces 4 items retirés étaient pris en compte pour le calcul des caractéristiques (apport énergétique, composition nutritionnelle, impacts environnementaux, coût) de la diète moyenne observée mais ne pouvaient pas être intégrés à la diète optimisée.

NB=> Les variables décisionnelles sont les mêmes pour tous les modèles présentés ci-après.

3.3.2. Contraintes

Quatre types de contraintes ont été intégrées dans les modèles d'optimisation : a- contraintes de réalisme ; b-constraintes alimentaires ; c-constraintes nutritionnelles ; d-constraintes environnementales.

3.3.2. a) Contraintes de réalité

Les contraintes de réalité (parfois appelées contraintes d'acceptabilité) sont des contraintes permettant d'éviter la génération de diètes modélisées irréalistes. Elles sont basées sur la distribution des consommations des items alimentaires, groupes et sous-groupes d'aliments dans la population (tableau 4.2 page suivante). Classiquement dans ce type de modélisation, les limites maximales imposées aux groupes et sous-groupes d'aliments sont le 95ème percentile (P95) calculé dans l'ensemble de la population (c'est-à-dire incluant les potentiels non-consommateurs du groupe ou du sous-groupe, ce qui est un moyen de tenir compte de la généralisation, ou non, de la consommation de ces groupes et sous-groupes dans la population). Quant aux items alimentaires, la limite maximale est aussi le P95, mais cette fois calculé uniquement dans la sous-population des consommateurs de l'item (ce qui correspond à la quantité journalière consommée par les 5 % les plus grands consommateurs de l'item, et s'apparente ainsi à une grande portion par rapport à ce qui est consommé en moyenne).

Quand, pour certains groupes ou sous-groupes d'aliments, le pourcentage de consommateurs est très faible, imposer comme maximum le P95 calculé dans l'ensemble de la population peut être assez restrictif (car la distribution est calculée sur une majorité de valeurs nulles correspondant aux non-consommateurs). Ceci reviendrait à discriminer de facto ces groupes ou sous-groupes, et pose problème quand il s'agit d'aliments recommandés pour la santé. Ainsi, dans la présente étude, pour les groupes d'aliments à favoriser (fruits et légumes, légumineuses, produits céréaliers complets), comme pour les sous-groupes à favoriser (fruits, légumes, légumineuses, produits céréaliers complets, fruits à coque, MG favorables PNNS), ce sont les P95 calculés chez les consommateurs de ces groupes et sous-groupes que nous avons imposés comme limites maximales à ne pas dépasser. Cette « dérogation » à la règle générale revient à autoriser le modèle à introduire des quantités bien plus importantes (la quantité consommée par les 5 % les plus grands consommateurs de ces groupes et sous-groupes dans la population au moment de l'étude) que si on le limitait au P95 calculé dans la population toute entière.

Plusieurs modèles préalables ayant abouti à des solutions irréalistes car contenant des quantités trop importantes d'un ou plusieurs produits très peu consommés (comme l'huile de lin) et/ou de composition nutritionnelle incertaine (comme les sauces et condiments) et/ou enrichis mais appartenant à un groupe alimentaire considéré comme « à limiter » par le PNNS (comme les produits sucrés salés ou gras enrichis ou l'item sel qui contient du sodium mais aussi l'iode), plusieurs items ont été contraints à ne pas dépasser la quantité observée. Il s'agit des items : sel, céréales petit déjeuner enrichies, barres céréalier et muesli enrichis, huile de lin, crustacés, sauces animales, sauces végétales, autres sauces et condiments, boissons chaudes, eau en bouteille.

Tableau 4.2 : Contraintes de réalisme

Type de contrainte	Min	Max
Poids total	$\geq 80\%$ du poids total observé	$\leq 120\%$ du poids total observé
Ratio quantité items solides/liquides		\geq Ratio estimé dans l'observé
Groupes d'aliments		\leq P95 calculé parmi toute la population, sauf : - pour les groupes à favoriser (fruits et légumes, légumineuses, produits céréaliers complets) où le P95 est calculé chez les consommateurs du groupe ; - pour les groupes où P95=0, max = quantité observée.
Sous-groupes d'aliments		\leq P95 calculé parmi toute la population sauf : - pour les sous-groupes à favoriser (fruits, légumes, légumineuses, produits céréaliers complets, fruits à coque, matières grasses favorables PNNS), où le P95 est calculé chez les consommateurs du sous-groupe ; - pour les sous-groupes où P95=0, max = quantité observée.
Items alimentaires		\leq P95 chez les consommateurs de l'item
Sel, céréales petit déjeuner enrichies, barres céréalier es et muesli enrichis, huile de lin, crustacés, sauces animales, sauces végétales, autres sauces et condiments, boissons chaudes, eau en bouteille*.		\leq quantité observée

* L'item « eau du robinet » est traité comme les autres items (c'est-à-dire limité au P95 calculé chez les consommateurs)

3.3.2. b) Contraintes alimentaires

Les contraintes dites « alimentaires » visaient d'une part à garantir que les diètes optimisées respectent les recommandations de consommation du PNNS 4²¹⁹ et d'autre part, en accord avec l'objectif de l'étude, que les quantités de viande soient divisées par deux par rapport à l'observé (selon des modalités décrites ci-dessous).

Concernant le respect des recommandations de consommation, il a fallu les traduire en contraintes chiffrées (imposées, selon les cas, sur les groupes, sous-groupes ou items alimentaires). La traduction en contraintes chiffrées était relativement aisée dans le cas où le PNNS fournit des recommandations précises (par exemple 5 portions de 80 g chacune de fruits et légumes par jour). Pour d'autres aliments, les recommandations sont peu précises ce qui a obligé à les interpréter. De plus, certaines de ces recommandations sont exprimées en fréquences de consommation sans qu'une taille de portion soit précisée, ce qui a nécessité de rechercher des tailles de portions pertinentes. Pour l'identification de ces portions comme pour la traduction de certaines recommandations en contraintes chiffrées, nous avons suivi certains des choix effectués dans une étude précédente²²⁰.

²¹⁹ Avis relatif aux objectifs de santé publique quantifiés pour la politique nutritionnelle de santé publique (PNNS) 2018-2022, 9 février 2018 ; Santé Publique France 2023, Manger Bouger <https://www.mangerbouger.fr/>

²²⁰ Maillot, M., & Darmon, N. (2020). Modélisation de l'impact du respect des nouvelles recommandations alimentaires françaises sur les apports nutritionnels des adultes. *Cahiers de*

Les contraintes «, alimentaires » sont listées dans le tableau 4.3 : la plupart sont appliquées à tous les modèles. Cependant, comme nous nous sommes plus particulièrement attachés à définir la place des produits animaux dans les diètes optimisées, les contraintes sur les produits laitiers et sur la viande diffèrent selon les modèles.

*Tableau 4.3 : Contraintes alimentaires et rappel des recommandations PNNS 4**

* Tous les poids sont des poids « tels que consommés » (poids cuits pour les légumineuses, par exemple)

Composante PNNS	Recommandation PNNS	Contrainte
Produits laitiers ¹	2 portions/j pour les adultes 2 à 3 portions/j pour les personnes de plus de 75 ans 3 portions/j pour les adolescents	Fromage ≤ 30 g Lait + produits laitiers frais + desserts lactés ≤ 125 g ou ≤ 250 g, selon les modèles
Fruits & légumes	Au moins 5 par jour (portion = 80 à 100 g)	≥ 400 g/j
Légumineuses	Au moins 2 fois par semaine (soit 57 g/j, si portion=200 g)	≥ 57 g/j
Jus de fruits	Pas plus d'1 verre par jour	≤ 125 g/j
Fruits séchés	Consommation occasionnelle	≤ 15 g/j
Fruits à coque	Une petite poignée par jour	≥ 15 g/j
Produits céréaliers complets	Privilégier les produits céréaliers complets, au moins un produit céréalier complet par jour	Produits céréaliers complets ≥ 50 % du total (produits céréaliers raffinés + produits céréaliers complets)
Œufs	Pas de recommandation PNNS	≤ 30 g/j
Poisson gras	1 poisson gras par semaine	≤ 15 g/j
Poisson maigre	1 poisson maigre par semaine	≤ 15 g/j
Total viandes (hors charcuterie) ²		= observé/2
Volaille ²	Privilégier la volaille	= 50 % du total (volaille+porc+ruminant)
Viande hors volaille (porc+ruminant) ²	500 g par semaine maximum (soit 71 g/j maximum)	= 50 % du total (volaille+porc+ruminant) avec porc et ruminants dans les mêmes proportions que dans la diète observée
Abats, lapin, gibier ²		= observé/2
Charcuteries ²	150 g par semaine maximum (soit 21 g/j maximum) Privilégier le jambon blanc	Total charcuteries ≤ observé/2 Jambon blanc = 50 % de 50 % de la quantité totale observée de charcuteries
Produits sucrés	Limiter la consommation	La limitation est assurée par une contrainte sur les sucres libres et par le respect de l'ensemble de toutes les autres contraintes nutritionnelles

NB : pour les contraintes avec un signe égal, le solveur admet une tolérance de + ou - 1¹¹.

¹ Pour les *produits laitiers*, selon les modèles, la contrainte est donc :

- soit total produits laitiers ≤ 2 portions (dont 1 portion de fromage max) ;
- soit total produits laitiers ≤ 3 portions (dont 1 portion de fromage max).

² Pour les *viandes et charcuteries*, selon les modèles, on considère :

- soit que l'observé correspond aux quantités observées des items viandes et charcuteries

- soit que l'observé correspond aux quantités observées des items viandes et charcuterie PLUS les quantités observées de viandes et charcuterie présentes dans les plats mixtes

- *Concernant les viandes*

Le PNNS ne donne pas de recommandations de consommation très précises pour les viandes, si ce n'est un maximum à ne pas dépasser pour la viande hors volaille (500 g par semaine) et pour la charcuterie (<150 g) et le conseil de privilégier la volaille au sein des viandes et le jambon blanc au sein des charcuteries.

Plusieurs tests préliminaires n'imposant que des contraintes maximales sur les groupes, sous-groupes ou items relatifs à la viande ont conduit à des diètes excluant totalement certaines viandes au profit d'autres viandes²²¹. En vue de favoriser l'équilibre et la diversité entre les viandes issues de différentes espèces animales, nous avons donc pris le parti d'imposer des contraintes d'égalité sur la viande plutôt que des contraintes maximales. En cohérence avec l'ensemble des modèles, scénarios et recommandations en matière d'alimentation durable, qui s'accordent sur la nécessité de réduire la consommation de viande de 50 % ou plus d'ici 2050 (voir partie 2 du présent rapport), les contraintes introduites visent une division par deux des quantités observées de viande. Ces quantités observées sont indiquées dans le tableau 4.4 ci-après.

Tableau 4.4 : Quantités moyennes (g/jour) des items viande et charcuterie consommées par les adultes de l'enquête INCA3, aussi dénommée diète observée, sans comptabiliser les ingrédients viande et charcuterie présents dans les plats mixtes

		Quantités dans la diète observée (g/j)	
Charcuterie	Charcuterie	Autres charcuteries	19,70
		Jambon blanc	7,65
Viande	Viande hors volaille	Viande de porc	11,65
		Viande de ruminant	34,01
		Abats	2,64
		Lapin	1,32
		Gibier	0,41
	Volaille	Volaille	25,82
		<i>Total charcuterie</i>	27,35
		<i>Total viandes hors charcuterie</i>	75,85
		<i>TOTAL viandes et charcuterie</i>	103,20

Les seuils maximums recommandés par le PNNS pour la viande hors volaille (500 g/sem) et pour la charcuterie (150 g/sem) n'ont pas lieu d'être introduits en contraintes car ils sont moins

²²¹ Plusieurs modèles préalables dans lesquels les groupes, sous-groupes et items viande n'étaient limités que par des contraintes directement liées au PNNS (viande hors volaille < 500 g/sem ; charcuterie < 150 g/sem ; jambon blanc > autres charcuteries ; volailles > viandes hors volaille) conduisaient comme attendu à une réduction de la quantité totale de viande mais en supprimant totalement les viandes de ruminants et/ou de porc (selon les modèles testés) au profit de la volaille dont les quantités augmentaient même dans certains modèles, ainsi que les quantités de lapin et de gibier.

contraignants que la division par deux des consommations de viande que nous souhaitons atteindre.

Nous conservons cependant les deux recommandations suivantes du PNNS :

- privilégier la volaille plutôt que la viande hors-volaille,
 - privilégier le jambon blanc plutôt que les autres charcuteries,
- en les interprétant sous la forme de contraintes imposant d'introduire :
- au moins la moitié des charcuteries sous la forme de jambon blanc
 - au moins la moitié du total (porc+ruminant+volaille) sous la forme de volaille.

Des contraintes sont également introduites pour imposer de diviser par deux la quantité totale observée de (porc+ruminant+volaille), en réservant une moitié de cette quantité pour la volaille (soit 25 % de l'observé), et l'autre moitié pour la viande hors volaille (en conservant les proportions respectives observées de porc et de ruminant, soit $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ respectivement d'après le tableau 4.4).

Pour la charcuterie, une contrainte imposant de diviser au moins par deux la quantité totale observée de charcuterie est introduite, en réservant une moitié de cette quantité (50 % de 50 %, soit 25 % de l'observé) pour le jambon blanc, ce qui revient par ailleurs à imposer un maximum égal à la quantité de jambon blanc pour l'item autres charcuteries.

Les quantités des items gibiers, abats et lapins sont chacune divisée par deux.

Compte tenu des contraintes sur la viande décrites ci-dessus (et dans le tableau 4.3), compte tenu que la quantité totale de viande et charcuterie provenant des items viande dans la diète observée est de 103,2 g (tableau 4.4), et compte tenu que la diète observée contient 251 g de plats mixtes qui eux-mêmes contiennent 20,8 g de viandes et charcuterie, il est attendu des diètes optimisées :

- qu'elles contiennent à peu près 50 g de viande et charcuterie (103,2 divisé par 2) quand les modèles ne tiennent pas compte des ingrédients viandes et charcuterie contenus dans les plats mixtes ;
- qu'elles contiennent à peu près 60 g de viande et charcuterie ($[103,2+20,8]/2$) quand les modèles tiennent compte des ingrédients viandes et charcuterie contenus dans les plats mixtes (en considérant que les proportions des différents types de viande et charcuterie sont les mêmes dans les plats mixtes que dans le reste de la diète observée).

Ces deux types de modèles seront repérés par les dénominations v50g et v60g, respectivement.

Tableau 4.5 : Quantités attendues des items viandes et charcuterie dans la diète observée et dans les diètes optimisées avec les modèles v50g et v60g, c'est-à-dire sans comptabiliser les ingrédients viandes et charcuterie contenus dans les plats mixtes (v50g) ou en les comptabilisant (v60g).

			Quantités dans la diète observée ¹ (g/j)	Quantités dans les diètes obtenues avec modèles v50g (g/j)	Quantités dans les diètes obtenues avec modèles v60g (g/j)
Charcuterie	Charcuterie	Autres charcuteries	19,70	≤ 6,85	≤ 8,23
		Jambon blanc	7,65	6,85	8,23
Viande	Viande hors volaille	Viande de porc	11,65	4,47	5,37
		Viande de ruminant	34,01	13,40	16,10
		Abats	2,64	1,32	1,59
		Lapin	1,32	0,66	0,79
		Gibier	0,41	0,20	0,20
	Volaille	Volaille	25,82	17,875	21,48
TOTAL	TOTAL	TOTAL	103,2	51,6	62,0

¹ : sans compter les quantités de viande et de charcuterie présentes dans les plats mixtes, qui sont estimées à 20,8 g par jour.

- *Concernant les œufs*

Alors que le PNNS n'émet aucune recommandation de consommation concernant les œufs, un seuil maximum de consommation d'œufs a été introduit de 30 g/j (soit 3 à 4 œufs par semaine) intermédiaire entre le maximum recommandé par le rapport EAT-Lancet (13 g/j pour la diète de référence, avec une fourchette de 0 à 25 g/j) et le maximum recommandé par le guide alimentaire espagnol (au maximum 4 œufs de taille moyenne par semaine, soit 35 g/j maximum)²²².

Il est à noter que la consommation totale d'œufs en France, incluant les œufs coquille et les ovoproduits incorporés dans des produits industriels (pâtes aux œufs, pâtisseries, viennoiseries, quiches, sauces, etc.) a été estimée à 20 à 30 g/j par habitant en 2016²²³ et à 35 g/j en 2022 par FranceAgriMer²²⁴, soit 3 à 4 œufs par semaine. Concernant les œufs consommés tels quels (hors utilisation comme ingrédient culinaire), selon l'étude INCA3, leur consommation est de 11 g/j, ce qui représente un peu plus d'1 œuf par semaine et par personne²²⁵.

²²² Guide alimentaire de l'Espagne. <https://www.fao.org/nutrition/education-nutritionnelle/food-dietary-guidelines/regions/spain/fr/>

²²³ Nau, F., Floury, J., Werf, H. V. D., & Minous, A. L. (2016) Les œufs et les ovoproduits dans l'alimentation des Français. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51 (3), 147-156.

²²⁴ FranceAgriMer. La consommation de produits carnés et d'œufs en 2022.

https://www.franceagrimer.fr/content/download/71902/document/STA-VIA-Consommation_des_produits_carn%C3%A9s_et_oeufs_en_2022.pdf

²²⁵ Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (INCA3). Avis de l'Anses-Rapport d'expertise collective. Juin 2017. Maisons-Alfort.

- *Concernant les produits laitiers*

Le PNNS recommande de consommer 2 portions de produits laitiers par jour pour les adultes. Cependant, sachant qu'il est plus facile de respecter la recommandation d'apport en calcium avec 3 portions de produits laitiers par jour qu'avec 2 portions²²⁶ et que, pour certaines catégories de populations, le PNNS recommande plus de 2 portions par jour (2 à 3 portions/jour pour les personnes âgées de plus de 75 ans et 3 portions/jour pour les enfants et les adolescents), nous avons décidé de tester deux possibilités : soit autoriser jusqu'à 2 portions/j ; soit autoriser jusqu'à 3 portions/j.

De plus, plutôt que d'imposer des contraintes d'égalité, ce qui revient à imposer aux modèles l'introduction de 2 (ou 3) portions par jour, nous avons imposé : au maximum 1 portion de fromage et au maximum 1 (ou 2) portion(s) d'un autre produit laitier, ce qui revient à laisser aux modèles la possibilité de mettre moins que 2 (ou 3) portions de produits laitiers²²⁷.

Contrairement à la préconisation du PNNS, il a été décidé d'inclure les desserts lactés dans le groupe des produits laitiers et pas dans le groupe des produits sucrés. La raison de ce choix est purement technique : en effet, dans des essais préliminaires où les desserts lactés étaient inclus dans les produits sucrés, ces derniers étaient augmentés du fait de l'augmentation des desserts lactés, et ce malgré la présence d'une contrainte limitant les quantités de sucres libres à 10 % max de l'énergie totale (voir paragraphe contraintes nutritionnelles). En fait, dans les modèles autorisant 2 portions/jour de produits laitiers maximum, pour atteindre les recommandations d'apports en certains nutriments présents en abondance dans le lait et les produits laitiers (iode, B2, zinc et calcium), le modèle s'engouffrait dans le recours à des desserts lactés quand ces derniers étaient classés dans le groupe des produits sucrés, ce qui n'était pas acceptable car cela revenait à autoriser plus de 2 portions/jour de produits laitiers et dérivés. C'est pour éviter cet effet non désiré, que nous avons regroupé les desserts lactés avec les yaourts et les autres produits laitiers dans le groupe des produits laitiers : ainsi, pour respecter la contrainte de 2 portions maximum, le modèle privilégiait les produits laitiers non sucrés au sein du total (produits laitiers sucrés et non sucrés) et n'avait plus la possibilité d'aller chercher des produits laitiers sucrés dans le groupe des produits sucrés, contournant ainsi la contrainte de 2 portions/j maximum de produits laitiers.

Il est à noter que la diète observée contient 31 g de l'item fromage et 201 g de l'ensemble des items lait et produits laitiers. De plus, les plats mixtes, présents dans la diète observée (mais supprimés des diètes optimisées) contiennent également des produits laitiers utilisés comme

²²⁶ La simulation du respect de l'ensemble des recommandations de consommation alimentaire du PNNS 4 pour les adultes (basée sur une approche d'optimisation individuelle des diètes des adultes ayant participé à INCA2) a montré que le niveau d'inadéquation des apports en calcium (51 % d'inadéquation dans l'observé) serait dégradé (58 % d'inadéquation) avec 2 produits laitiers par jour mais nettement amélioré (seulement 16 % d'inadéquation) avec 3 produits laitiers par jour (Maillot M., Darmon N. (2020) Modélisation de l'impact du respect des nouvelles recommandations alimentaires françaises sur les apports nutritionnels des adultes. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 55(1), 18-29).

²²⁷ Avec cette façon de formuler les contraintes sur les produits laitiers, les modèles sont même « autorisés » à n'introduire aucun produit laitier, et ils le feraient certainement si cela était compatible avec toutes les autres contraintes et si cela permettait d'aboutir à une solution encore meilleure.

ingrédients²²⁸. En comptabilisant ces ingrédients laitiers, on arrive à 40 g de fromage par jour et 210 g de lait et produits laitiers dans la diète observée, ce qui correspond exactement à 3 portions par jour (1,33 portion de 30 g de fromage plus 1,68 portion de 125 g d'autres produits laitiers), si bien que les modèles autorisant jusqu'à 3 produits laitiers par jour reviennent à autoriser une stabilité de la consommation de produits laitiers « au sens large ».

Les modèles autorisant jusqu'à 2 produits laitiers/j seront repérés par la dénomination 2PL, et ceux autorisant jusqu'à 3 produits laitiers/j seront repérés par la dénomination 3PL.

3.3.2. c) Contraintes nutritionnelles

Les contraintes (et cibles) nutritionnelles introduites dans les modèles avaient pour vocation de garantir (ou, pour les cibles, de respecter au mieux) chacune des recommandations d'apports en nutriments pour les adultes, en nous basant prioritairement sur les valeurs nutritionnelles de référence (VNR) issues des rapports de l'Anses^{229,230,231,232,233,234}. Quand la valeur d'apport recommandé était différente selon le sexe, nous avons retenu le niveau le plus exigeant des deux. Nous n'avons pas pris en compte les recommandations pour les autres âges, pour les situations physiologiques particulières (par exemple femme enceinte) ou pour les personnes âgées.

Les VNR comprennent plusieurs types de références : le BNM (Besoin Nutritionnel Moyen), l'AS (Apport Satisfaisant), la RNP (Référence Nutritionnelle pour la Population, définie comme le niveau d'apport permettant de couvrir les besoins estimés de 97,5 % de la population concernée), l'IR (Intervalle de Référence) et la LSS (Limite Supérieure de Sécurité).

La première des contraintes nutritionnelles est celle qui porte sur le contenu énergétique de la diète optimisée. Nous l'avons fixé égal à +/- 1 % de l'apport énergétique total (AET) moyen (hors alcool) observé afin d'obtenir une diète optimisée isocalorique avec la diète observée²³⁵.

²²⁸ La quantité de produits laitiers utilisés comme ingrédients dans les 250 g de plats mixtes, est estimée à 18 g à partir des recettes, se répartissant pour moitié en fromage et pour moitié en lait.

²²⁹ Anses (2016). Actualisation des repères du PNNS : étude des relations entre consommation de groupes d'aliments et risque de maladies chroniques non transmissibles. ANSES, 186 p.

²³⁰ Anses (2021). Les lipides. <https://www.anses.fr/fr/content/les-lipides>

²³¹ Anses (2020). Eau de boisson : bonnes pratiques de consommation.

<https://www.anses.fr/fr/content/eau-de-boisson-bonnes-pratiques-de-consommation>

²³² Anses (2016). Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles. 196 p.

²³³ Anses (2021). Les références nutritionnelles en vitamines et minéraux.

<https://www.anses.fr/fr/content/les-r%C3%A9f%C3%A9rences-nutritionnelles-en-vitamines-et-min%C3%A9raux>

²³⁴ Anses (2018). Les sucres dans l'alimentation.

<https://www.anses.fr/fr/content/sucres-dans-l%20alimentation>

²³⁵ L'apport énergétique moyen observé est calculé en comptabilisant toutes les consommations alimentaires (hors alcool) chez les adultes de l'échantillon INCA3, y compris les consommations d'aliments non autorisés comme variables pour l'optimisation (comme les plats mixtes, etc...) : il s'élève à 2008 kcal.

Les autres contraintes et cibles nutritionnelles²³⁶ utilisées dans la présente étude sont listées dans les tableaux 4.6, 4.7 et 4.8.

Pour les macronutriments (protéines, lipides, glucides), nous avons imposé le respect de l'IR, exprimé en % de l'AET. La teneur en protéines totales et le rapport protéines animales/protéines végétales n'ont pas fait l'objet de contraintes mais ont été calculés a posteriori dans les diètes optimisées.

Pour la plupart des micronutriments, nous avons introduit :

- une contrainte qui imposait d'atteindre au moins le BNM ou bien, pour les nutriments comme les fibres qui ne disposent pas d'un BNM, au moins l'AS ;
- une cible visant à atteindre si possible le niveau de la RNP ;
- pour les nutriments possédant une LSS, celle-ci a été imposée en contrainte maximale.

Pour certains nutriments dont les recommandations d'apports sont connues pour être particulièrement difficiles à respecter (et/ou qui se sont avérées difficiles à respecter dans des tests préliminaires réalisés dans le cadre de la présente étude), des adaptations ont été apportées, en transformant la contrainte en cible et/ou en se référant, si besoin, à des recommandations d'apport moins exigeantes que celles de l'Anses. Toutes ces adaptations sont décrites précisément ci-dessous.

Tableau 4.6 : Contraintes et cibles appliquées sur les macronutriments et les acides gras

Nutriments	Contrainte imposée	Cible souhaitée
Fibres	$\geq 25 \text{ g/j}$	$\geq 30 \text{ g/j (AS)}$
Protéines	$[10 - 20] \% \text{ AET}$	
Glucides	$[40 - 55] \% \text{ AET}$	
Lipides	$[35 - 40] \% \text{ AET}$	
Acides gras saturés (AGS) totaux	$\leq 12 \% \text{ AET}$	
AGS athérogènes (laurique + myristique + palmitique)	$\leq 8 \% \text{ AET}$	
EPA+DHA	$\geq 250 \text{ mg/j}$	$\geq 500 \text{ mg/j (AS)}$
AG linoléique	$\geq 4 \% \text{ AET}$	
AG α -linolénique	$\geq 1 \% \text{ AET}$	
Sucres libres	$\leq 10 \% \text{ AET (recommandation OMS)}$	

En gras : contraintes assouplies par rapport à la recommandation de l'Anses.

²³⁶ Les contraintes sont imposées et doivent nécessairement être respectées dans les diètes optimisées, alors que les cibles peuvent ne pas être respectées mais le modèle est conçu pour qu'elles soient respectées « au mieux ». En effet, comme indiqué dans la section fonction « objectif », les cibles font partie intégrante de la fonction d'optimisation et ne font pas l'objet de contraintes « dures exprimées sous la forme d'égalités ou d'inégalités mathématiques.

Pour les fibres comme pour les acides gras oméga-3 à longues chaînes (EPA+DHA), l'exigence a été assouplie par rapport à la recommandation de l'Anses. En effet, les niveaux recommandés par l'Anses (30 g pour les fibres et 500 mg pour les acides gras oméga-3 à longues chaînes) sont particulièrement difficiles à atteindre²³⁷, et nous les avons donc introduits en cibles et pas en contraintes. Ce sont des niveaux moins élevés (25 g pour les fibres et 250 mg pour les acides gras oméga-3 à longues chaînes) que nous avons imposés sous la forme de contraintes. Ainsi, c'est un niveau compris entre 25 et 30 g pour les fibres et entre 250 et 500 mg pour les acides gras oméga-3 à longues chaînes que nous avons visé dans les diètes optimisées. Pour les fibres, le niveau de 25 g a déjà été considéré comme acceptable par l'Anses dans les travaux de modélisation conduits en vue de la révision des repères du PNNS, l'agence justifiant son choix par le fait que la recommandation de 30 g/j « repose sur des données épidémiologiques montrant un effet bénéfique à partir de 25 g/j de fibres »²³⁸. Pour les acides gras oméga-3 à longues chaînes, la fourchette entre 250 mg/j et 500 mg/j que nous avons retenue correspond à la recommandation de l'EFSA²³⁹.

Tableau 4.7 : Contraintes et cibles appliquées sur les minéraux

Nutriment	Contrainte imposée	Cible souhaitée
Calcium		$\geq 750 \text{ mg/j (BNM)}$
Cuivre	$\geq 1,9 \mu\text{g/j (AS)}$ $< 5 \mu\text{g/j (LSS)}$	
Fer	$\geq 7 \text{ mg/j (BNM femmes)}$	$\geq 11 \text{ mg/j (RNP femmes avec pertes normales en fer)}$
Iode		$\geq 150 \mu\text{g/j (AS)}$
Potassium	$\geq 3500 \text{ mg/j (AS)}$	
Magnésium	$\geq 380 \text{ mg/j (AS)}$	
Manganèse	$\geq 2,8 \text{ mg/j (AS)}$	
Sodium	$\geq 1500 \text{ mg/j (AS)}$	$\leq 2300 \text{ mg/j (LSS)}$
Phosphore	$\geq 550 \text{ mg/j (AS)}$	
Sélénium	$\geq 70 \mu\text{g/j (AS)}$ $< 300 \mu\text{g/j (LSS)}$	
Zinc	$\geq 9,3 \text{ mg/j (BNM pour un apport de phytates de } 600 \text{ mg/j chez les hommes)}$	$\geq 11,7 \text{ mg/j (RNP pour un apport de phytates de } 600 \text{ mg/j chez les hommes)}$

En gras : contraintes assouplies par rapport à la recommandation de l'Anses.

²³⁷ Ainsi, dans une étude dans laquelle le respect des recommandations de consommation alimentaires du PNNS 4 était simulé pour chaque adulte de l'enquête INCA2, la quantité moyenne de fibres dans les diètes optimisées n'atteignait même pas 25 g au lieu des 30 g recommandés, et la quantité moyenne d'acides gras oméga-3 à longues chaînes n'atteignait que 300 mg au lieu des 500 mg recommandés (Maillot M., Darmon N. (2020). Modélisation de l'impact du respect des nouvelles recommandations alimentaires françaises sur les apports nutritionnels des adultes. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 55 (1), 18-29)

²³⁸ Anses (2016). Actualisation des repères du PNNS : Révision des repères de consommations alimentaires.

²³⁹ EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). (2012). Scientific opinion on the tolerable upper intake level of eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA). *EFSA Journal*, 10(7), 2815.

Pour les sucres, la recommandation de l'Anses est de limiter à 100 g/j l'apport de sucres totaux par jour hors lactose et galactose, mais nous ne disposons pas de cette information dans la table de composition. C'est donc la recommandation de l'OMS de ne pas dépasser 10 % de l'apport énergétique en sucres libres (c'est-à-dire sucres ajoutés, sucre du miel, sirops et boissons liquides) que nous avons introduite en contrainte dure.

- La recommandation d'apport en iodé a été introduite en cible et non en contrainte. En effet, lorsqu'elle était imposée en contrainte, elle était très difficile à respecter et induisait des changements alimentaires assez peu réalistes avec, notamment, des quantités d'œufs très importantes (quasiment 1 œuf par jour).

- Pour le sodium, la LSS (2300 mg/j) a été introduite en cible et non pas en contrainte, car elle est connue pour être particulièrement difficile à respecter.

- Pour le calcium, non seulement la RNP (950 mg) mais aussi le BNM (750 mg) étaient difficilement atteignables dans des tests préliminaires autorisant 2 produits laitiers maximum, ce qui confirmait les résultats d'une précédente étude qui avait montré qu'il est beaucoup plus facile de respecter la recommandation d'apport en calcium avec 3 portions de produits laitiers par jour qu'avec 2 portions²⁴⁰. Nous avons donc décidé d'appliquer le BNM en cible et non pas en contrainte. Ce niveau de 750 mg de calcium correspond aussi à l'apport recommandé proposé par l'OMS et la FAO pour des populations dont les apports en protéines animales ne dépassent pas 40 g/j²⁴¹. En effet, les pertes urinaires de calcium sont d'autant plus importantes que la consommation de protéines animales est élevée, à cause d'une complexation du calcium par ces protéines. Nous pouvons raisonnablement faire l'hypothèse que les régimes optimisés ne contiendront pas plus de 40 g de protéines d'origine animale par jour, puisque ce seront des régimes végétalisés du fait du respect des contraintes sur les consommations alimentaires, en particulier la division par deux des quantités de viande. De précédents travaux de modélisation pour générer des diètes plus saines et plus durables pour la population française, sans autoriser le recours à des produits enrichis, ont conduit à une réduction de la part des protéines totales et à un rapport d'environ 50/50 entre protéines animales et végétales, que la biodisponibilité du fer et du zinc soit prise en compte ou pas^{242,243}. Dans la présente étude, la teneur totale en protéines et le pourcentage des protéines d'origine animale dans les protéines totales seront vérifiés a posteriori dans les diètes modélisées.

- Pour le zinc, nous avons appliqué en contrainte et en cible respectivement le BNM (9,3 mg/j) et la RNP (11,7 mg/j), qui sont les niveaux recommandés par l'Anses pour un apport en phytates de 600 mg/j chez les hommes (correspondant à une alimentation diversifiée). Dans la présente étude, la teneur totale en phytates sera vérifiée a posteriori dans la diète observée

²⁴⁰ Maillot M., Darmon N. (2020). Modélisation de l'impact du respect des nouvelles recommandations alimentaires françaises sur les apports nutritionnels des adultes. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 55(1), 18-29.

²⁴¹ OMS et FAO 2004. Human Vitamin and Mineral Requirements. <https://www.fao.org/3/y2809e/y2809e.pdf>. Voir tableau 33 page 169.

²⁴² Barre, T., Perignon, M., Gazan, R., Vieux, F., Micard, V., Amiot, M. J., & Darmon, N. (2018). Integrating nutrient bioavailability and co-production links when identifying sustainable diets: how low should we reduce meat consumption? *PLoS One*, 13 (2), e0191767.

²⁴³ Vieux, F., Rémond, D., Peyraud, J. L., & Darmon, N. (2022). Approximately half of total protein intake by adults must be animal-based to meet nonprotein, nutrient-based recommendations, with variations due to age and sex. *The Journal of Nutrition*, 152 (11), 2514-2525.

et dans les diètes modélisées. Nous nous sommes basés sur la publication de Schlemmer et al. pour ces estimations²⁴⁴, en comptabilisant les phytates provenant des items suivants : autres fruits à coques (1500 mg/100 g), noix (1500 mg/100 g), produits céréaliers complets cuits (300 mg/100 g), pain complet (350 mg/100 g), légumineuses (450 mg/100 g), pâtes riz semoule raffinés (140 mg/100 g), pain blanc (170 mg/100 g).

Tableau 4.8 : Contraintes et cibles appliquées sur les vitamines

Nutriment	Contrainte imposée	Cible souhaitée
Vitamine B1	$\geq 0,072 \text{ mg/MJ (BNM)}$	$\geq 0,1 \text{ mg/MJ (RNP)}$
Vitamine B2	$\geq 1,3 \text{ mg/j (BNM)}$	$\geq 1,6 \text{ mg/j (RNP)}$
Vitamine B3	$\geq 1,3 \text{ mg/MJ (BNM)}$	$\geq 1,6 \text{ mg/MJ (RNP)}$
Vitamine B6	$\geq 1,5 \text{ (BNM)}$ $< 25 \text{ mg/j (LSS)}$	$\geq 1,7 \text{ mg/j (RNP)}$
Vitamine B9	$\geq 250 \text{ } \mu\text{g/j (BNM)}$ $< 1000 \text{ } \mu\text{g/j (LSS)}$	$\geq 330 \text{ } \mu\text{g/j (RNP)}$
Vitamine B12	$\geq 2,4 \text{ } \mu\text{g/j (ANC Anses 2001)}$	$\geq 4 \text{ } \mu\text{g/j (RNP Anses 2016)}$
Vitamine C	$\geq 90 \text{ mg/j (BNM)}$	$\geq 110 \text{ mg/j (RNP)}$
Vitamine D		$\geq 3,1 \text{ } \mu\text{g/j (moyenne dans l'observé)}$
Vitamine E	$\geq 10 \text{ mg/j (AS)}$	
Vitamine A	$\geq 580 \text{ } \mu\text{g rétinol-eq/j}$ $< 3000 \text{ } \mu\text{g rétinol-eq/j}$	$\geq 750 \text{ } \mu\text{g rétinol-eq/j}$

En gras : contraintes assouplies par rapport à la recommandation de l'Anses.

Les apports recommandés en vitamine D (AS=15 µg) sont connus pour être impossibles à couvrir par le biais de la seule alimentation, surtout quand la principale source d'apports, les poissons gras, est limitée à 1 portion par semaine. Etant donné la capacité de synthèse endogène de l'organisme, il est fréquent d'assouplir considérablement cette contrainte²⁴⁵, voire de ne pas du tout l'introduire dans les modèles d'optimisation nutritionnelle. Dans la présente étude, nous avons opté pour introduire en cible le niveau d'apport observé dans la population.

Pour la vitamine B12, des premiers essais d'optimisation ont montré que l'AS actuel de 4 µg/j était très difficile à atteindre et induisait des changements alimentaires difficilement acceptables (notamment une très forte augmentation de la quantité d'œufs). Nous avons alors assoupli l'exigence, en imposant en contrainte la valeur recommandée dans les précédentes recommandations (2,4 µg/j en 2001) et en cible la valeur recommandée dans les recommandations actuelles (4 µg/j en 2016). En fixant la recommandation d'apport (RNP) à 4 µg/j, la France a suivi un avis de l'EFSA de 2015, mais plusieurs pays continuent d'avoir des

²⁴⁴ Schlemmer, U., Frölich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53 (S2), S330-S375.

²⁴⁵ Notamment, un apport de 5 µg/j de vitamine D a été considéré comme suffisant par l'Anses dans ses travaux de modélisation visant à actualiser les repères du PNNS (ANSES, Actualisation des repères du PNNS : Révision des repères de consommations alimentaires, 2016).

niveaux d'apports recommandés en vitamine B12 égaux ou inférieurs à 2,4 µg/j : c'est le cas aux Etats-Unis (2,4 µg/j)²⁴⁶, au Japon (2 µg/j)²⁴⁷ et au Royaume-Uni (1,5 µg/j)²⁴⁸.

3.3.2. d) Contraintes environnementales

La présente étude prend en compte 8 métriques environnementales, sélectionnées car elles sont considérées comme les plus importantes en termes d'urgence environnementale et parce que les données d'ACV les concernant sont suffisamment robustes méthodologiquement.

Le choix a été fait de prioriser la réduction de l'impact carbone sur celle des 7 autres métriques environnementales car c'était l'objectif principal de l'étude. Cependant, pour éviter que la réduction de l'impact carbone (et le respect des autres contraintes alimentaires et nutritionnelles) induise des effets indésirables sur les autres métriques environnementales, il a aussi été imposé que les 7 autres impacts ne puissent pas être dégradés par rapport à leur niveau dans la diète observée. En effet, il n'est pas rare qu'une amélioration sur une métrique (par exemple l'impact carbone) n'indue une dégradation sur une autre (par exemple l'impact eau).

Pour l'impact carbone, plusieurs contraintes (et cibles) ont été testées dans différents modèles :

- *Dans certains modèles*, aucune contrainte n'était imposée sur l'impact carbone et aucune cible n'était introduite, ceci afin de vérifier si l'impact carbone diminuerait « spontanément » (i.e. sous l'effet des autres contraintes) et quelle serait l'ampleur de cette variation ;

- *Dans d'autres modèles* nous avons introduit une contrainte qui imposait une réduction d'au moins 20 % par rapport à l'impact carbone de la diète observée, avec pour cible souhaitée une réduction de 47 %²⁴⁹. En effet, compte tenu du fait i) que les efforts de réduction des impacts environnementaux ne peuvent être entièrement portés par les consommations alimentaires (ils doivent aussi résulter de l'amélioration des modes de production (incluant toute la chaîne alimentaire) et de la réduction des pertes et gaspillages²⁵⁰, ii) qu'une alimentation durable doit être culturellement acceptable et iii) que des travaux précédents ont montré qu'il était possible d'atteindre l'adéquation nutritionnelle avec un impact carbone réduit de 20 à 30 %, sans que les habitudes alimentaires soient totalement bouleversées²⁵¹, il nous a semblé raisonnable d'imposer seulement 20 % de réduction de l'impact carbone à la diète optimisée par rapport à la diète observée, en cherchant à le réduire plus dans la mesure du

²⁴⁶ <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminB12-Consumer/?amp=1>

²⁴⁷ [https://wholefoodcatalog.info/requirement/japan/vitamin_b12\(cyanocobalamin\)/](https://wholefoodcatalog.info/requirement/japan/vitamin_b12(cyanocobalamin)/)

²⁴⁸ <https://www.nhs.uk/conditions/vitamins-and-minerals/vitamin-b/>

²⁴⁹ L'impact carbone de la diète observée étant de 5,25 kg eq.CO2/j, cela revient à imposer que l'impact carbone de la diète observée reste inférieur à 4,2 kg eq.CO2/j, en tentant d'atteindre une cible de 2,78 kg eq.CO2/j.

²⁵⁰ Garnett, T. (2011). Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? . *Food Policy*, 36 , S23-S32.

²⁵¹ Perignon, M., Vieux, F., Soler, L. G., Masset, G., & Darmon, N. (2017). Improving diet sustainability

through evolution of food choices: review of epidemiological studies on the environmental impact of diets. *Nutrition Reviews*, 75 (1), 2-17.

possible, avec une cible à - 47 %. La réduction de 47 % correspond à la valeur retenue par le scénario TYFA-GES, lui-même fondé sur l'objectif fixé par la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) de la France de réduire les émissions de gaz à effet de serre de son agriculture de 46 % d'ici 2050.

- *Dans d'autres modèles encore*, partant de la réduction d'IC obtenue avec le modèle imposant -20 % en contrainte dure et -47 % en cible, nous avons conçu une série de modèles (sans cible sur l'IC) dans lesquels l'IC était progressivement réduit par des contraintes progressivement renforcées par pas de 5 % jusqu'à ce qu'il soit impossible d'aboutir à une diète optimisée (infaisabilité du modèle).

Le tableau 4.9 ci-après indique les contraintes et cibles appliquées sur les 8 métriques retenues.

Tableau 4.9 : Contraintes et cibles appliquées sur les 8 métriques environnementales

Métrique	Contrainte imposée	Cible souhaitée
Impact carbone	<p><i>Selon les modèles :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de contraintes - réduction d'au moins 20 % par rapport à l'impact de la diète observée - réduction par pas de 5 % jusqu'à infaisabilité du modèle 	<p><i>Selon les modèles :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - pas de cible - cible à -47 % par rapport à l'impact de la diète observée
Utilisation de l'eau	<i>Ne pas augmenter par rapport à l'impact de la diète observée</i>	
Eutrophisation des eaux douces	<i>Ne pas augmenter par rapport à l'impact de la diète observée</i>	
Eutrophisation des eaux marines	<i>Ne pas augmenter par rapport à l'impact de la diète observée</i>	
Eutrophisation terrestre	<i>Ne pas augmenter par rapport à l'impact de la diète observée</i>	
Acidification	<i>Ne pas augmenter par rapport à l'impact de la diète observée</i>	
Utilisation des sols	<i>Ne pas augmenter par rapport à l'impact de la diète observée</i>	
Utilisation d'énergie	<i>Ne pas augmenter par rapport à l'impact de la diète observée</i>	

3.3.3. Fonction « objectif »

Dans la présente étude, nous avons utilisé une fonction « objectif » qui consiste à minimiser l'écart, en termes de contenu en aliments, entre la diète observée et la diète optimisée. Nous avons opté pour ce choix car il permet de limiter le risque d'aboutir à des diètes modélisées totalement irréalistes, un risque connu pour être très important quand on minimise directement une seule variable, comme le coût ou l'impact carbone par exemple.

La minimisation des écarts peut s'appliquer à des diètes individuelles (on répète le processus d'optimisation pour chaque individu d'une population) ou à une diète populationnelle (on applique le processus à une diète moyenne observée dans une population). Dans ce dernier cas, il est donc nécessaire de calculer préalablement à l'optimisation cette diète populationnelle moyenne. Dans la présente étude, l'objectif étant d'aboutir à des recommandations pour l'ensemble de la population adulte, c'est une optimisation de la diète moyenne qui a été réalisée.

Il y a plusieurs façons mathématiques d'exprimer la minimisation des écarts à la diète observée. Elles ont chacune des avantages et des inconvénients que nous ne détaillerons pas dans ce rapport mais qui sont discutés notamment par Gazan et al²⁵². Dans la présente étude, c'est la somme des écarts entre les quantités observées et optimisées (ces dernières étant exprimées en pourcentage des quantités observées) qui a été minimisée.

Il est important de comprendre que même si les écarts sont minimisés, ils peuvent être très grands. Minimiser l'écart entre diète optimisée et diète observée ne signifie donc pas que la diète optimisée ressemble à la diète observée. Cela signifie simplement que la diète optimisée est celle qui s'écarte le moins possible de la diète observée, compte tenu des variables disponibles et des contraintes imposées. Ainsi, dans les faits, cet écart peut être grand (voire très grand) car il n'est lui-même soumis à aucune contrainte lui imposant de rester en deçà d'un certain seuil.

Nous avons également ajouté un second terme à la fonction « objectif ». Ce terme a permis d'introduire un certain nombre de cibles nutritionnelles (variables de « goal ») et environnementales au modèle. En effet, notre connaissance experte du sujet, ainsi que des essais préliminaires, nous ont amenés à constater que certaines contraintes que nous aurions voulu imposer en première instance, pouvaient s'avérer excessivement difficiles, voire impossibles, à respecter. Lorsqu'une contrainte ne peut pas être respectée, il y a impossibilité mathématique, et le modèle ne peut pas proposer de diète optimisée. Lorsqu'une contrainte est très difficile à respecter, c'est elle qui va guider le modèle prioritairement, conduisant à une solution irréaliste. C'est pourquoi nous avons introduit plusieurs cibles dans la fonction « objectif ». Par exemple, la recommandation d'apport en iodé (150 µg/j) étant particulièrement difficile à respecter²⁵³, elle a été introduite en cible (à approcher du mieux possible) et non pas en contrainte minimale à atteindre absolument. Pour certaines métriques, une cible vient s'ajouter à une contrainte. C'est le cas, par exemple, pour l'impact carbone pour lequel, dans certains modèles, nous avons, d'une part, imposé une contrainte de réduction d'au moins 20 % par rapport à l'impact carbone de la diète observée, et, d'autre part, introduit dans la fonction « objectif » une cible de réduction de 47 % de l'impact de la diète observée. Ces modèles (repérés par la dénomination IC -20 cibl-47), ont ainsi conduit à

²⁵² Gazan, R., Brouzes, C. M., Vieux, F., Maillot, M., Lluch, A., & Darmon, N. (2018). Mathematical optimization to explore tomorrow's sustainable diets: a narrative review. *Advances in Nutrition*, 9(5), 602-616.

²⁵³ Dans des modèles préalables, où nous avions imposé (avec une contrainte dure) que l'impact carbone soit réduit de -47 %, plusieurs contraintes étaient très problématiques. La contrainte sur l'iodé en particulier était particulièrement difficile à respecter compte tenu notamment du fait que les principales sources d'iodé, à savoir le poisson et les produits laitiers étaient limités par des contraintes maximales liées au respect des recommandations du PNNS (2 portions chacun).

des diètes optimisées dont l'impact carbone était réduit d'au moins 20 % mais en tentant de s'approcher le plus possible de la cible de - 47 %.

Bien que les cibles ainsi introduites dans la fonction « objectif » ne soient pas des contraintes, il arrive d'utiliser les termes de « contraintes assouplies » pour ces cibles et de « contraintes dures » pour les contraintes strictement imposées. C'est pourquoi, le choix des valeurs pour les cibles introduites dans les modèles a été décrit dans la section « contraintes », ci-dessus.

La fonction « objectif » X s'écrit comme suit :

Minimiser $X = D + (\lambda \times \sum C)$:

Avec : $D =$ Somme des déviations aux quantités d'items dans la diète observée

$\lambda =$ Pondération²⁵⁴

$C =$ Somme des déviations aux cibles nutritionnelles ou environnementales

NB : plus la valeur de D est élevée, plus la diète modélisée s'éloigne de la diète observée.

3.3.4. Les différents modèles testés

Au total 17 modèles ont été conçus et testés. Toutes les caractéristiques décrites dans les paragraphes précédents sont communes aux 17 modèles : diète observée initiale, catégorisation des aliments, variables décisionnelles, contraintes nutritionnelles, contraintes de réalisme, contraintes de consommation alimentaire (sauf pour les produits laitiers et la viande), contraintes environnementales (sauf pour l'impact carbone), et fonction « objectif ». Ces différents modèles ont néanmoins des spécificités qui leur sont propres. Elles sont listées dans le tableau 4.10 page suivante²⁵⁵.

²⁵⁴ Un facteur de pondération à 0 signifie que seul D est minimisé (modèle sans les cibles). Plus le facteur de pondération est élevé, plus la solution proposée s'approchera des valeurs cibles (mais aux dépends de D, la déviation aux consommations observées, qui augmentera). Une étude de sensibilité préalable nous a montré que le facteur de pondération avait relativement peu d'influence sur les résultats (facteurs testés : 0, 10, 15, 50, 100, 250, 500), ce qui témoigne d'un modèle robuste et stable. Nous avons opté pour une valeur de 10 pour le facteur de pondération.

²⁵⁵ Une réduction de 55 % de l'impact carbone n'était pas atteignable avec les modèles v60g, que le nombre maximal autorisé de portions de produits laitiers soit 2 (2PLmax) ou 3 (3PLmax).

Tableau 4.10 : Résumé des spécificités propres à chacun des 17 modèles testés

N° du modèle	Contrainte Viande	Contrainte Produits laitiers	Contrainte Impact Carbone	Cible Impact Carbone	Nom du modèle
1	= observé/2, sans compter la viande des plats mixtes	2 portions max dont 1 fromage max	Aucune contrainte	Aucune cible	v50g, 2PLmax, IC libre
2	= observé/2, sans compter la viande des plats mixtes	2 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 20 % (vs observé)	Réduction souhaitée de 47 % (vs observé)	v50g, 2PLmax, IC -20 cibl-47
3	= observé/2, sans compter la viande des plats mixtes	3 portions max dont 1 fromage max	Aucune contrainte	Aucune cible	v50g, 3PLmax, IC libre
4	= observé/2, sans compter la viande des plats mixtes	3 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 20 % (vs observé)	Réduction souhaitée de 47 % (vs observé)	v50g, 3PLmax, IC -20 cibl-47
5	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	2 portions max dont 1 fromage max	Aucune contrainte	Aucune cible	v60g, 2PLmax, IC libre
6	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	2 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 20 % (vs observé)	Réduction souhaitée de 47 % (vs observé)	v60g, 2PLmax, IC -20 cibl-47
7	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	3 portions max dont 1 fromage max	Aucune contrainte	Aucune cible	v60g, 3PL max, IC libre
8	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	3 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 20 % (vs observé)	Réduction souhaitée de 47 % (vs observé)	v60g, 3PLmax, IC -20 cibl-47
9	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	3 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 30 % (vs observé)	Aucune cible	v60g, 3PLmax, IC -30
10	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	3 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 35 % (vs observé)	Aucune cible	v60g, 3PLmax, IC -35
11	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	3 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 40 % (vs observé)	Aucune cible	v60g, 3PLmax, IC -40
12	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	3 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 45 % (vs observé)	Aucune cible	v60g, 3PLmax, IC -45
13	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	3 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 50 % (vs observé)	Aucune cible	v60g, 3PLmax, IC -50*
14	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	2 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 35 % (vs observé)	Aucune cible	v60g, 2PLmax, IC -35
15	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	2 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 40 % (vs observé)	Aucune cible	v60g, 2PLmax, IC -40
16	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	2 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 45 % (vs observé)	Aucune cible	v60g, 2PLmax, IC -45
17	= observé/2, en comptant la viande des plats mixtes	2 portions max dont 1 fromage max	Réduction d'au moins 50 % (vs observé)	Aucune cible	v60g, 2PLmax, IC -50*

4. Résultats

4.1. Réduction d'impact carbone et des autres indicateurs environnementaux, et contenu en groupes d'aliments, des diètes optimisées avec les 17 modèles

Comme le montre le tableau 4.11, tous les modèles conduisaient à une réduction de l'impact carbone des diètes, mais dans les modèles où il ne faisait l'objet d'aucune contrainte ni de cible, la réduction n'atteignait pas 30 %.

Tableau 4.11 : Réductions de l'impact carbone (vs la diète observée) obtenues avec les 17 modèles

N° modèle	Nom du modèle	Réduction IC (% vs observé)
1	v50g, 2PL max, IC libre	-28,7
2	v50g, 2PLmax, IC -20 cibl-47	-34,9
3	v50g, 3PLmax, IC libre	-27,3
4	v50g, 3PLmax, IC -20 cibl-47	-36,2
5	v60g, 2PLmax, IC libre	-25,9
6	v60g, 2PLmax, IC -20 cibl-47	-31,8
7	v60g, 3PLmax, IC libre	-24,6
8	v60g, 3PLmax, IC -20 cibl-47	-31,6
9	v60g, 3PLmax, IC -30	-30,0
10	v60g, 3PLmax, IC -35	-35,0
11	v60g, 3PLmax, IC -40	-40,0
12	v60g, 3PLmax, IC -45	-45,0
14	v60g, 3PLmax, IC -50	-50,0
15	v60g, 2PLmax, IC -35	-35,0
16	v60g, 2PLmax, IC -40	-40,0
17	v60g, 2PLmax, IC -45	-45,0
18	v60g, 2PLmax, IC -50	-50,0

Tableau 4.12 : Réductions (vs la diète observée) des impacts environnementaux pour les 8 métriques obtenues avec les 17 modèles

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	v50g, 2PL, IC libre	v50g, 2PL, IC -20 cibl-47	v50g, 3PL, IC libre	v50g, 3PL, IC -20 cibl-47	v60g, 2PL, IC libre	v60g, 2PL, IC -20 cibl-47	v60g, 3PL, IC libre	v60g, 3PL, IC -20 cibl-47	v60g, 3PL, IC -30	v60g, 3PL, IC -35	v60g, 3PL, IC -40	v60g, 3PL, IC -45	v60g, 3PL, IC -50	v60g, 2PL, IC -35	v60g, 2PL, IC -40	v60g, 2PL, IC -45	v60g, 2PL, IC -50
Impact Carbone	-28,7	-34,9	-27,3	-36,2	-25,9	-31,8	-24,6	-31,6	-30	-35	-40	-45	-50	-35	-40	-45	-50
Acidification	-36	-38,4	-34,8	-45,2	-32,8	-35,3	-31,3	-39,7	-37,4	-40,6	-45,5	-51,5	-55,1	-39,4	-45,8	-48,8	-55,1
Eutrophisation eaux douces	-37	-38,1	-35,6	-45,6	-33,4	-34,9	-31,8	-40,0	-37,8	-40,1	-45,1	-49,5	-53,0	-38,9	-45,1	-48,4	-53,0
Eutrophisation marine	-14	-21,1	-13,5	-25,9	-12,1	-19,5	-12,0	-21,8	-19,3	-26,5	-31,1	-35,4	-38,8	-24,4	-30,3	-34,0	-38,8
Eutrophisation terres	-22	-25,5	-22,6	-35,5	-20,9	-24,0	-20,8	-31,1	-28,4	-31,9	-36,4	-42,0	-46,4	-29,2	-35,7	-39,1	-46,4
Utilisation sol	-24	-28,7	-23,6	-45,6	-22,7	-27,2	-21,5	-39,1	-34,4	-38,4	-45,0	-48,1	-52,9	-35,2	-44,8	-48,8	-52,9
Utilisation eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,7	-4,1	-26,4	0	0	-4,0	-26,4	
Utilisation énergie	-17	-23,8	-13,0	-21,0	-13,0	-21,7	-11,4	-17,6	-16,0	-25,2	-28,2	-34,3	-37,2	-25,3	-29,2	-33,5	-37,2

Comme le montrent le tableau 4.12 et la figure 4.1 (ci-dessous), au-delà de la réduction en impact carbone, tous les autres impacts environnementaux (à part l'impact eau qui n'est pas représenté dans la figure car il est resté stable dans les 8 modèles présentés) sont réduits à des degrés divers selon les modèles et les métriques considérées. Pour une même métrique, l'ampleur de la réduction est peu influencée par le nombre maximal autorisé de portions de produits laitiers (3PLmax ou 2PLmax). Les réductions sont souvent même plus importantes en autorisant 3 portions maximum de produits laitiers plutôt que 2 maximum. Ainsi, parmi les 8 modèles présentés dans la figure, c'est un modèle avec 50 g de viande et 3PL (modèle 5. v50g, 3PLmax, IC-20 cibl-47) qui enregistre les baisses les plus importantes pour toutes les métriques environnementales. De même, au sein des modèles avec 60 g de viande, c'est le modèle 8 (v60g, 3PLmax, IC -20 cibl-47) qui enregistre les baisses environnementales les plus importantes (sauf pour l'utilisation d'énergie dont la réduction est de -18 % dans le modèle 8 vs -22 % dans le modèle 6, avec 2PL max).

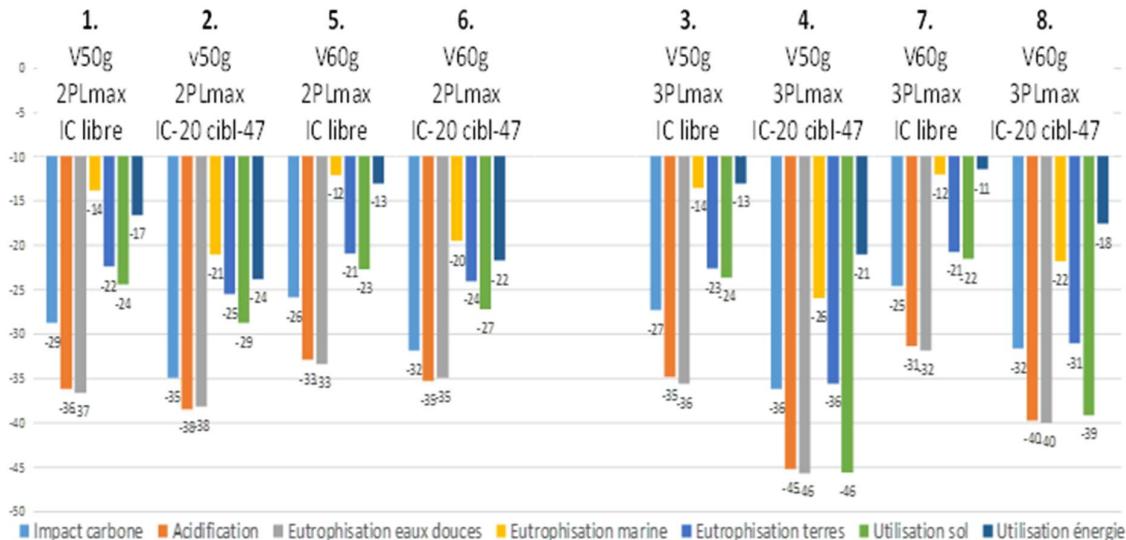


Figure 4.1 : Réduction des différents impacts environnementaux pour les modèles 1 à 8, c'est-à-dire avec 52 g ou 62 g* de viande, avec impact carbone libre ou bien impact carbone contraint à une réduction d'au moins -20 % avec cible de -47 %, et autorisant 2 produits laitiers maximum (2PL max, à gauche), ou 3 produits laitiers maximum (3PL max, à droite)*

* : les modèles sont nommés V50g et V60g mais contiennent 52 g et 62 g de viande respectivement

Comme le montre la figure 4.2 (page suivante), tous les groupes d'aliments sont présents dans les diètes optimisées avec les différents modèles (à l'exception, par décision au moment de la construction, des plats mixtes).

La quantité (solide) totale est sensiblement la même que celle de la diète observée, sauf dans les modèles limitant les produits laitiers à 2 portions/j. La quantité « libérée » par la suppression des plats mixtes (250 g environ) est réallouée principalement aux produits végétaux (augmentation des fruits et légumes, des produits céréaliers et pommes de terre et

des légumineuses). Par ailleurs, le groupe des produits gras, sucrés salés a diminué dans toutes les diètes optimisées ainsi que celui des viandes, poissons et œufs (VOP).

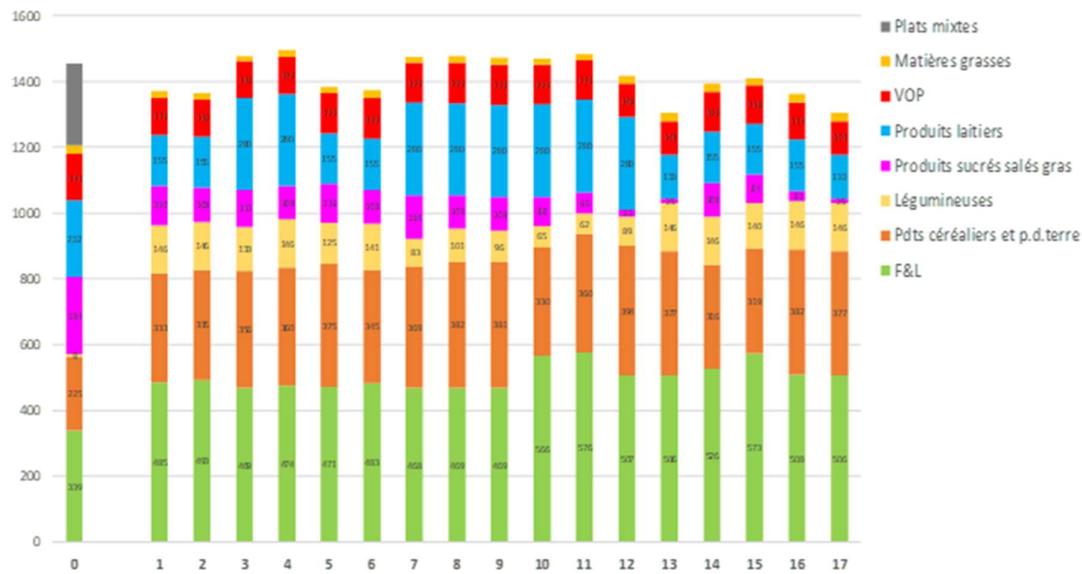


Figure 4.2 : Composition (g/j) en groupes d'aliments (hors eau et boissons chaudes) de la diète observée (0) et des diètes optimisées (avec les modèles n°1 à n°17)

4.2. Sélection de deux diètes optimisées parmi les 17 générées

Le tableau 4.13 (page suivante) présente certaines caractéristiques des diètes optimisées en vue d'en sélectionner une qui présenterait un bon compromis entre acceptabilité, qualité nutritionnelle et réduction de l'impact environnemental. Ont été d'emblée supprimées de ce tableau les diètes dont la réduction d'impact carbone ne dépassait pas 30 % (i.e., n° 1, 3, 5, 7 et 9) d'après le tableau 4.11 ci-dessus.

Tableau 4.13 : Caractéristiques principales de la diète observée et des diètes optimisées dont la diminution de l'IC dépasse 30 % (modèles 2, 4, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17).

	0	2	4	6	8	10	11	12	13	14	15	16	17
Obs	v50g, 2PL, 3PL, IC -	v50g, 3PL, IC -	v60g, 3PL, IC -	v60g, 2PL, IC -	v60g, 2PL, IC -	v60g, 2PL, IC -							
Réduction Impact carbone (%)	nd	-34,9	-36,2	-31,8	-31,6	-35	-40	-45	-50	-35	-40	-45	-50
Valeur fonction objectif	nd	1,98	1,79	1,92	1,74	1,63	1,76	2,02	2,76	1,81	1,93	2,15	2,76
Fruits à coque (g)	2,4	29,8	23,4	21,6	20,8	29,3	40,7	44,6	44,6	23,4	32,8	42,6	44,6
Pâts céréaliers raffinés (g)	161,0	76,8	92,9	78,5	91,2	64,4	69,1	90,8	86,6	70,3	63,4	81,6	86,6
Pâts céréaliers complets (g)	17,8	138,1	101,4	136,3	112,1	138,1	138,1	138,1	138,1	138,1	127,3	138,1	138,1
Pommes de terre (g)	45,8	120,1	166,2	130,1	178,6	127,2	153,1	165,0	152,6	107,9	128,1	162,8	152,6
Légumineuses (g)	7,7	146,1	146,1	140,9	101,0	65,4	61,6	88,5	146,1	146,1	140,3	146,1	146,1
Produits laitiers (g)	232,2	155,0	280,0	155,0	280,0	280,0	280,0	280,0	133,0	155,0	155,0	155,0	133,0
Produits de la pêche (g)	26,7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	18,7	17,6	30,0	30,0	30,0	17,6
Œufs (g)	11,2	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Total phytates (mg)	354	1660	1468	1511	1259	1273	1433	1644	1897	1555	1626	1860	1897
Réduction coût vs obs. (%)	nd	-11,8	-11,5	-10,4	-9,6	-9,7	-11,6	-18,5	-17,6	-10,3	-11,1	-17,1	-17,6
Protéines totales	82,8	80,2	81,0	80,9	80,9	80,1	80,0	79,2	80,3	81,0	80,3	80,6	80,3
Prot animales (% prot. tot)	66,8	45,9	50,7	48,6	53,9	54,1	51,6	48,1	39,6	48,6	47,8	44,4	39,6
Sucres libres (% AET)	10,3	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	3,8	2,1	2,1	5,0	4,8	2,1	2,1
Fibres (g)	19,6	36,3	34,9	35,6	33,0	32,7	33,3	33,5	37,6	36,1	36,4	36,5	37,6
EPA DHA (mg)	286	359	361	363	358	354	305	287	360	358	355	287	
Calcium (mg)	920	845	1022	831	999	949	944	920	789	838	851	805	789
Fer (mg)	10	13,0	12,6	12,9	12,2	11,9	11,7	11,6	13,4	12,9	12,8	12,4	13,4
Iode (µg)	146	116	136	116	136	131	131	120	91	113	116	112	91
Na (mg)	3175	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2593	2309	2300	2300	2593	
Zn (mg)	9,4	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
B1 (mg)	1,2	1,28	1,30	1,29	1,30	1,28	1,27	1,27	1,24	1,3	1,3	1,3	1,2
B2 (mg)	1,8	1,60	1,60	1,60	1,65	1,67	1,59	1,54	1,30	1,5	1,4	1,3	1,3
B3 (mg)	20,1	18,5	15,2	18,4	16,4	16,7	16,7	17,5	17,1	16,3	17,1	17,5	
B6 (mg)	1,7	1,9	2,0	1,9	2,0	1,9	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	2,0	2,0
B9 (mg)	302	502	501	494	466	437	439	433	485	494	491	469	485
B12 (µg)	5,4	4,1	4,5	4,2	4,6	4,7	4,5	4,1	3,5	4,2	4,1	4,0	3,5
Vit C (mg)	89,6	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Vit D (µg)	3,1	3,1	3,2	3,1	3,2	3,2	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Vit A (µg rétinol-eq)	918	965	994	1004	1004	993	938	773	897	1010	956	781	897

Pour rappel, les contraintes et cibles pour les nutriments listés dans le tableau 4.13 sont les suivantes :

EPA DHA (mg)	contrainte 250; cible 500
Calcium (mg)	contrainte 610; cible 750
Fer (mg)	contrainte 7; cible 11
Iode (µg)	pas de contrainte; cible 150
Na (mg)	contrainte 1500 min; cible 2300 max
Zn (mg)	contrainte 9,3; cible 11,7
B1 (mg)	contrainte 0,072 mg/MJ cible 0,1 mg/MJ
B2 (mg)	contrainte 1,3; cible 1,6
B3 (mg)	contrainte 1,3 mg/MJ; cible 1,7 mg/MJ
B6 (mg)	contrainte 1,5; cible 1,7
B9 (mg)	contrainte 250; cible 330
B12 (µg)	contrainte 2,4; cible 4
Vit C (mg)	contrainte 90; cible 110
Vit D (µg)	pas de contrainte; cible 3,1
Vit A (µg rétinol-eq)	contrainte 580; cible 750

La diète n°10 (modèle v60g, 3PLmax, IC -35) permet d'atteindre le même niveau de réduction d'impact carbone que la diète n°2 (modèle v50g, 2PLmax, IC -20 cibl-47), mais avec une acceptabilité meilleure, qui se concrétise par une valeur plus faible de fonction « objectif » (indicateur d'écart à la diète observée), une quantité beaucoup moins importante de légumineuses (65 g/j correspondant à peu près aux 2 portions hebdomadaires recommandées par le PNNS, si on considère que 1 portion = 200 g, contre 146 g/j dans la diète n°2). Les

diètes n°4 et 6 ne sont pas plus performantes que la n°2, et elles partagent avec elle et avec toutes les autres diètes le désavantage de contenir de fortes teneurs en phytates (liée à l'augmentation importante des produits céréaliers complets, des légumineuses et des fruits à coque).

En fait, toutes les diètes qui contiennent 50 g de viande et/ou 2PL max (n°2, n°4, n°6 et n°14 à 17) contiennent aussi une quantité de légumineuses égale au maximum autorisé par le modèle (146 g/j, correspondant à la consommation des 5 % des plus grands consommateurs de légumineuses dans l'enquête INCA3). La diète n°10 est celle qui contient le moins de phytates, tout comme la diète n°8, mais cette dernière contient des quantités particulièrement élevées de pommes de terre, et une valeur de fonction « objectif » plus élevée que celle de la diète n°10.

Les diètes n°13 et n°17 sont en fait une seule et même diète, mettant en évidence l'extrême difficulté de respecter toutes les contraintes imposées avec une réduction de l'impact carbone de 50 %, puisqu'une seule et même solution a été identifiée. Outre cette très forte réduction de l'impact carbone, cette diète extrême est intéressante car elle permet aussi une réduction de l'utilisation d'eau, ce que ne permettent pas les autres diètes (qui arrivent tout juste à ne pas dégrader cette métrique environnementale), et qu'elle est très peu coûteuse, avec une réduction de presque 20 % par rapport au coût estimé pour la diète observée, alors que le coût n'est réduit que d'environ 10 % avec les diètes précédentes. Les diètes n°12 et n°16 partagent aussi ces avantages, mais toutes ces diètes extrêmes à -45 % ou -50 % de réduction de l'IC (n°12, n°16 et n°13/n°17) ont le désavantage d'être très éloignées de la diète observée (fortes valeurs de fonction « objectif »), avec des quantités importantes de phytates. De plus, elles contiennent moins de 2 portions de produits de la pêche par semaine (sauf la n°16), ainsi que (pour la diète n°13/n°17) moins de 2 produits laitiers par jour (133 g dont 30 g de fromage), ce qui est associé à plusieurs problèmes sur le plan nutritionnel : comparativement aux autres diètes optimisées, elles présentent la teneur la plus faible en EPA+DHA (mais néanmoins proche de l'observé), la teneur la plus faible en calcium (mais néanmoins supérieure à la cible qui était le BNM), la teneur la plus faible en iodé (et cette valeur est très faible) et en B2, la teneur la plus forte en fibres et en phytates, ainsi qu'en sodium (quoique inférieure à la teneur en sodium dans la diète observée).

Il est à noter que pour tous les autres modèles, les quantités maximales imposées de produits laitiers (2PL ou 3PL selon les modèles) et de poisson (30 g/j) sont toujours atteintes. Les œufs, quant à eux, sont également introduits au maximum autorisé (30 g/j), y compris dans les diètes extrêmes n°13/n°17.

Les diètes obtenues avec les modèles n°10 et n°14 ont été sélectionnées et seront présentées plus en détail ci-après. La diète n°10 a été sélectionnée car c'est celle qui présente le meilleur compromis entre acceptabilité, qualité nutritionnelle et réduction de l'impact environnemental, mais elle contient 3 produits laitiers²⁵⁶, ce qui n'est pas en accord avec les scénarios prospectifs de systèmes et régimes alimentaires durables, qui préconisent une réduction de la consommation de produits laitiers (voir partie 2). C'est pourquoi la diète n°14, qui ne contient que 2 produits laitiers, a également été sélectionnée. Les modèles n°10 et n°14 sont par ailleurs similaires. Ils imposent notamment 60 g de viande (62 g exactement) et une réduction

²⁵⁶ Produits laitiers « au sens large », c'est à dire incluant, comme déjà spécifié plus haut, les desserts lactés et les produits laitiers utilisés comme ingrédients dans les plats mixtes.

de 35 % de l'impact carbone. Ils ne diffèrent que par le nombre maximal imposé, et atteint, de portions de produits laitiers : 2 pour le modèle n°10 et 3 pour le modèle n°14.

Le tableau 4.13 permet d'emblée de constater que la diète n°14 est plus éloignée de la diète observée que la diète n°10 : elle contient beaucoup plus de légumineuses, et plus de fibres mais aussi de phytates, et moins de calcium et d'iode. Sa teneur en protéines animales (48,6 % de protéines animales dans les protéines totales) est plus faible que celle de la diète n°10 (54,1 % de protéines animales) qui présente la plus grande similitude avec la diète observée sur cette caractéristique (68,6 % de protéines animales), comme pour toutes les autres caractéristiques.

4.3. Composition en aliments de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées, n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35)

Bien que les écarts à la diète observée soient minimisés, d'importants changements de composition en aliments ont été nécessaires pour respecter toutes les contraintes imposées en approchant au mieux les cibles. Le détail, item par item, des compositions en aliments de la diète observée et des diètes modélisées n°10 et n°14 peut être consulté dans la section 4.7. « Résultats complémentaires » (voir tableau 4.19). Nous présentons ci-après les résultats au niveau des groupes et sous-groupes d'aliments, et plus spécifiquement des items relatifs à la viande.

En termes de groupes d'aliments, par rapport à la diète observée, l'optimisation a induit (figure 4.3 page suivante) une augmentation des fruits et légumes, des produits céréaliers complets, des pommes de terre, des légumineuses (particulièrement importante avec le modèle n°14), et des œufs (max imposé atteint), et une diminution des produits céréaliers raffinés, de la viande (quantités imposées), des charcuteries (quantités imposées), et des produits sucrés/salés/gras (diminution de plus d'un facteur 2).

Pour les produits laitiers, le maximum autorisé a été atteint avec chacun des deux modèles (comme pour tous les autres modèles sauf ceux imposant une réduction de 50 % de l'impact carbone). L'atteinte de 2 PL avec le modèle n°14 correspond à une diminution par rapport à l'observé. L'atteinte de 3 PL avec le modèle n°10 correspond à une augmentation quand on ne considère pas les produits laitiers utilisés comme ingrédients dans les plats mixtes, mais à une stabilité quand on les comptabilise.

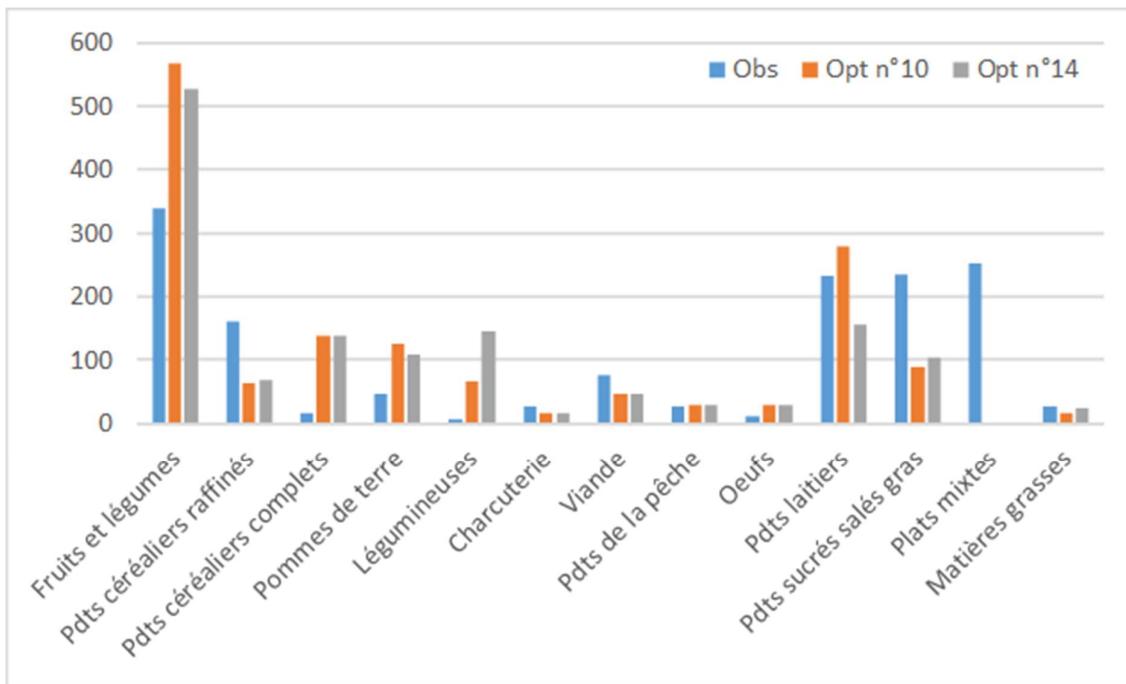


Figure 4.3 : Contenu en groupes d'aliments (g/j) de la diète observée et des 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35)

NB : L'eau et les boissons chaudes ne sont pas représentées

Le tableau 4.14 (page suivante) indique la composition, non seulement en groupes d'aliments comme dans la figure 4.3, mais aussi en sous-groupes d'aliments, de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées.

Tableau 4.14 : Contenu (g/j) en groupes et sous-groupes d'aliments et contraintes alimentaires min et max imposées (hors contraintes de réalisme) sur les groupes et les sous-groupes de la diète observée et des 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC - 35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35)

Groupes	Min	Max	Obs	Opt n°10	Opt n°14	Sous-groupe	Min	Max	Obs	Opt n°10	Opt n°14
Fruits et légumes	400	338,5	566,3	526,0		Fruits				181,3	146,9
						Fruits à coques		15	2,4	29,3 ²	23,4 ³
						Jus de fruits		125	62,3	0	0
						Légumes		130,0	355,7	355,7	
Pdts céréaliers raffinés			161,0	64,4	70,3	Pdts céréaliers raffinés			161,0	64,4	70,3
Pdts céréaliers complets	> 50 % total pdts céréaliers		17,8	138,1	138,1	Pdts céréaliers complets			17,8	138,1	138,1
Pommes de terre			45,8	127,2	107,9	Pommes de terre			45,8	127,2	107,9
Légumineuses	57		7,7	65,4	146,1	Légumineuses			7,7	65,4	146,1
Charcuterie	voir tableau 4.5.		27,4	16,5	16,5	Charcuterie	voir tableau 4.5.		27,4	16,5 ³	16,5 ⁹
Viande	voir tableau 4.5.		75,9	45,5	45,5	Viande hors volaille	voir tableau 4.5.		50,0	24,1 ⁴	24,1 ¹⁰
						Volaille			25,8	21,5	21,5
Pdts de la pêche		30	26,7	30	30	Poisson gras		15	8,1	15	15
						Poisson maigre, crustacés		15	18,6	15	
Oeufs		30	11,2	30	30	Œufs		30	11,2	30	30
Pdts laitiers (total)		155 ou 280 ⁵	232,2	280	155	Fromage		30	30,8	30	30
						Lait et pdts laitiers frais		125	201,5	250 ⁶	125 ¹¹
Pdts sucrés salés gras			234,3	88,5	102,8	Pdts sucrés			212,9	81,9	
						Pdts salés			21,4	6,6	20,9
Plats mixtes		0	252,1	0	0	Plats mixtes			252,1	0	0
Matières grasses (MG)			26,1	17,6	24,7	MG favorable PNNS			3,6	3,6	5,1
						Autres MG			10,8	2,3	7,9
						Sauces			11,7	11,7	11,7
Eau et boissons			1350	1509	1541	Boissons chaudes			448	110	198
						Eau			902	1399	1343
Alternatives végétales		0	4,2	0	0	Alternatives viande			0,4	0	0
						Alternatives pdts laitiers			3,8	0	0

¹ dont 93,4 g de fruits riches en vitamine C

² dont 18,8 g de noix

³ dont 8,23 g de jambon blanc

⁴ dont porc = 5,37 g/j ; ruminants = 16,1 g/j ; abats = 1,59 g/j ; lapin = 0,79 g/j ; gibier = 0,2 g/j.

⁵ 280 g max dont 30 g max de fromage pour le modèle n°10 ; 155 g max dont 30 g max de fromage pour modèle n°14

⁶ 250 g dont 158,2 g de lait et 74,5 g de produits laitiers frais ; tous les items des produits laitiers (enrichis ou non) sont restés stables, sauf le lait, qui a augmenté (de 109,7 g à 158,2 g)

⁷ dont 103,0 g de fruits riches en vitamine C

⁸ dont 17,3 g de noix

⁹ dont 8,23 g de jambon blanc

¹⁰ dont porc = 5,37 g/j ; ruminants = 16,1 g/j ; abats = 1,59 g/j ; lapin = 0,79 g/j ; gibier = 0,2 g/j.

¹¹ 125 g dont 33,2 g de lait et 74,5 g de produits laitiers frais ; tous les items des produits laitiers (enrichis ou non) sont restés stables, sauf le lait, qui a baissé (de 109,7 g à 33,2 g)

Notons tout d'abord que les deux diètes optimisées sélectionnées contiennent les mêmes quantités de viande, œufs et poisson :

- comme attendu par les contraintes imposées par les modèles n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35), la quantité totale de viande est divisée par 2, passant de 103 g/j (+ 20 g/j dans les plats cuisinés) à 62 g/j.

- les produits de la pêche atteignent le maximum autorisé par les contraintes alimentaires (2 portions par semaine dont 1 de poisson gras).

- les œufs passent de 11 g/j dans l'observé à 30 g/j dans chacune des deux diètes optimisées, ce qui correspond au maximum autorisé par les modèles. Cette augmentation des œufs en tant qu'aliment est associée à leur réduction en tant qu'ingrédient induite par la suppression des plats mixtes (retirés de la liste des variables du modèle) et par la forte diminution des produits gras, sucrés et salés (de 234 g/j à 88 g/j), qui peuvent eux aussi contenir des œufs. La quantité finale d'œufs dans le modèle correspond in fine à la consommation actuelle d'œufs en France (estimée en 2016 entre 20 et 30 g/j par Nau et al²⁵⁷ et en 2022 à 35 g/j par FranceAgriMer²⁵⁸).

Notons que ces quantités correspondent environ à 1 fois de la viande, du poisson ou des œufs, chaque jour.

Concernant les produits végétaux, dans les deux diètes optimisées :

- les produits céréaliers complets atteignent quasiment la limite maximale de réalisme (138,1 g dans l'optimisé vs. un P95 égal à 148 g), et au sein de ce sous-groupe, l'item pain complet atteint le maximum autorisé par la contrainte de réalisme (correspondant à la quantité consommée par les 5 % les plus forts consommateurs de produits céréaliers complets), soit 136,5 g/j, comme indiqué dans le tableau 4.19 qui détaille la composition des diètes observées et optimisées item par item.

- en parallèle de cette augmentation des produits céréaliers complets, les produits céréaliers raffinés diminuent beaucoup (de 161 g/j dans l'observé à 64 g/j et 70 g/j dans les diètes optimisées n°10 et n°14 respectivement) ; in fine, la quantité totale de produits céréaliers diminue un peu (mais reste stable quand on comptabilise les produits céréaliers des plats mixtes dans la consommation observée, voir tableau 4.18.), et la part des produits céréaliers complets dans le total des produits céréaliers devient largement majoritaire (68 % et 66 % dans les diètes optimisées n°10 et n°14, respectivement) alors qu'elle n'était que de 10 % dans l'observé.

²⁵⁷ Nau F., Floury J., van der Werf H., et Le Minous A.-E. 2016. Les œufs et les ovoproducts dans l'alimentation des Français. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51 (3), 147-156.

²⁵⁸ FranceAgriMer. La consommation de produits carnés et d'œufs en 2022.

https://www.franceagrimer.fr/content/download/71902/document/STA-VIA-Consommation_des_produits_carn%C3%A9s_et_oeufs_en_2022.pdf

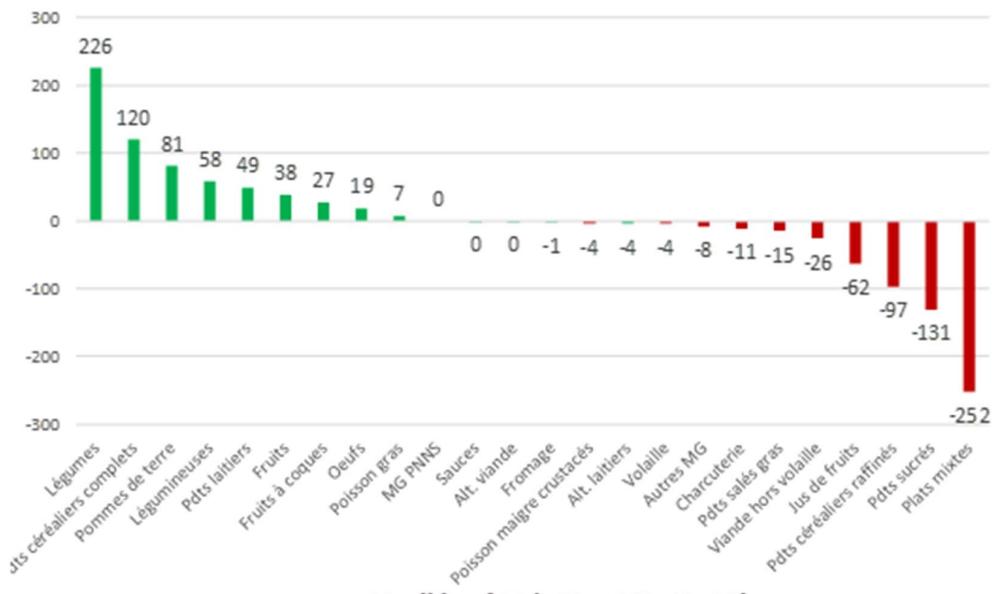
- la quantité de fruits et légumes est augmentée dans la diète optimisée pour atteindre 566 g/j dans la diète n°10 et 526 g/j dans la diète n°14, avec, dans les deux diètes optimisées, une forte augmentation des légumes (qui atteignent la limite maximale de réalisme de 355,7 g/j) et une suppression des jus de fruits.
- les fruits à coque voient leur quantité considérablement augmentée dans les deux diètes, passant d'une quantité négligeable (2,4 g/j) dans l'observé à quasiment 30 g (dont plus de la moitié de noix) dans l'optimisé pour la diète n°10 (c'est-à-dire près de 2 fois le minimum imposé par la contrainte alimentaire liée au respect du PNNS, soit 15 g minimum) et à 23 g dans la diète n°14.
- en accord avec le PNNS, et même s'ils n'ont pas fait l'objet d'une contrainte directe, les produits sucrés salés gras ont beaucoup diminué (diminution de plus d'un facteur 2, voir tableau 4.19.), du fait de leur qualité nutritionnelle médiocre, incompatible avec l'atteinte de l'adéquation nutritionnelle lorsqu'ils sont présents en trop grande quantité. Ils persistent quand même à raison de 88 g/j et 103 g/j dans les diètes n°10 et n°14 respectivement (vs 234 g/j dans la diète observée), ce qui est en accord avec les recommandations du PNNS de limiter la consommation de ce groupe d'aliments mais aussi avec l'idée que rien n'est interdit et que la disparition de catégories entières d'aliments n'est ni réaliste ni souhaitable d'un point de vue acceptabilité.

Outre la quantité de produits laitiers, qui diffère par construction entre les deux diètes optimisées, et qui atteint dans chacune le maximum autorisé par le modèle (3 PL dont 1 fromage pour la diète n°10 et 2 PL dont 1 fromage pour la diète n°14), la principale différence entre les changements alimentaires induits par les deux modèles porte sur les légumineuses. En effet, les légumineuses sont considérablement augmentées dans les deux diètes, mais cette augmentation est bien plus importante avec le modèle n°14 qu'avec le modèle n°10 : elles passent de 8 g/j dans la diète observée à 65 g/j dans la diète n°10 (correspondant à un peu plus que le minimum imposé par la contrainte alimentaire liée au respect du PNNS en considérant que 1 portion = 200 g , soit >57 g/j) et jusqu'à 147 g/j dans la diète n°14 (correspondant à la contrainte de réalité, c'est-à-dire à la quantité consommée par les 5 % les plus forts consommateurs de légumineuses dans la population).

Les autres différences sont les suivantes :

- les pommes de terre augmentent beaucoup dans les deux diètes, passant de 45 g/j dans l'observé à 127 g/j dans la diète n°10 et à 108 g/j dans la diète n°14, sans toutefois atteindre la quantité maximale de réalité imposée par les modèles (soit 214 g/j, correspondant à la consommation des 5 % les plus forts consommateurs de l'item).
- les fruits sont augmentés dans la diète n°10 mais quasiment pas dans la diète n°14, contribuant à expliquer qu'il y ait un peu moins de fruits et légumes dans la diète n°14 que dans la diète n°10.

Modèle n°10 (v60g, 3PL, IC -35)



Modèle n°14 (v60g, 2PL, IC -35)

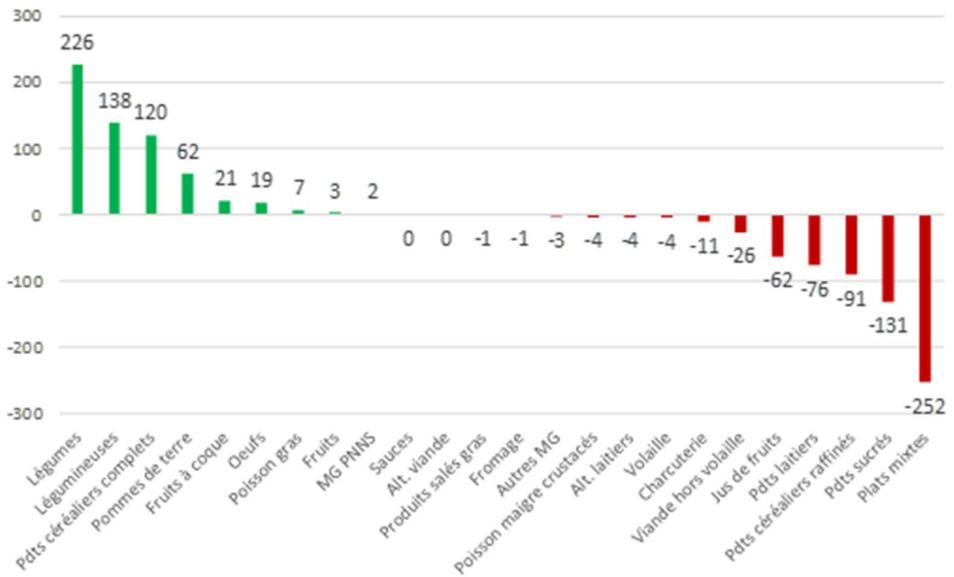


Figure 4.4 : Variations (en g/j), par rapport à la diète observée et pour les différents sous-groupes d'aliments, induites par l'optimisation dans les 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC -35, panel du haut) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35, panel du bas)

Ces variations sont classées par ordre décroissant depuis ceux, à gauche, ayant subi l'augmentation la plus importante jusqu'à ceux, à droite, ayant subi la diminution la plus importante. L'eau et les boissons chaudes ne sont pas représentées.

Comme le montre la Figure 4.4, avec les deux modèles, ce sont les légumes, suivis (dans un ordre différent selon les modèles) des produits céréaliers complets, des pommes de terre et des légumineuses qui ont vu l'augmentation pondérale la plus importante alors que les plats mixtes (par décision au moment de la construction des modèles) suivis des produits sucrés et

des produits céréaliers raffinés ont subi la diminution la plus importante, quel que soit le modèle. Le sous-groupe « fromage » est très légèrement diminué (pour atteindre les 30 g max autorisés) dans les deux diètes, et le sous-groupe « lait et produits laitiers frais » (incorrectement appelé produits laitiers dans la figure 4.4) est soit diminué (modèle n°14), soit augmenté (modèle n°10), l'augmentation observée avec le modèle n°10 correspondant en fait à une stabilité de l'ensemble des produits laitiers lorsqu'on comptabilise ceux utilisés comme ingrédients dans les plats mixtes.

4.4. Caractéristiques nutritionnelles de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées n°10 et n°14

Tableau 4.15 : Contenu énergétique et indicateurs de l'équilibre animal végétal dans la diète observée et dans les 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35)

	Observée	Opt. n°10	Opt. n°14
Energie (kcal/j)	2008	1989	1989
Energie aliments solides ¹ (kcal/j)	1910	1905	1965
Quantité totale (g/j)	2811	2978	2933
Quantité aliments solides ¹ (g/j)	1237	1310	1359
Densité énergétique (calculée sur solides ¹) (kcal/100 g)	154	145	145
Protéines totales (g/j)	82,8	80,1	81,0
Quantités de pdts animaux ² (g/j, % aliments solides)	629 (50,8 %)	450 (34,3 %)	338 (24,8 %)
Energie apportée par les pdts animaux ² (kcal/j, % kcal totales)	911 (45,3 %)	631 (31,7 %)	608 (30,6 %)
Protéines issues de pdts animaux ² (g/j, % protéines totales)	55,4 (66,8 %)	43,3 (54,1 %)	39,4 (48,6 %)

¹ Toutes les boissons sont exclues du calcul, à l'exception du lait, comme recommandé pour le calcul de la densité énergétique solide²⁵⁹

² En considérant une part de 50/50 de protéines issues de produits animaux/végétaux dans les produits gras/sucrés/salés, et les plats mixtes

Comme attendu, l'optimisation s'est accompagnée d'une végétalisation de la diète. Comme l'indique le tableau 4.15, dans les deux diètes modélisées, la quantité totale de protéines est restée quasiment stable. Dans la diète n°10, la quantité totale de produits animaux a été réduite du tiers (passant de 51 % à 34 % de la quantité totale d'aliments solides), et la part des protéines animales dans les protéines totales est passée de 67 % dans l'observé à 54 % dans la diète optimisée. En ce qui concerne la diète n°14, la végétalisation est plus prononcée, puisqu'elle ne contient que 2 portions de produits laitiers, et la part des protéines animales dans les protéines totales représente 49 %.

La densité énergétique (calculée sur les aliments solides) a diminué. Ce résultat était attendu i) puisque la qualité nutritionnelle a augmenté (du fait du respect des recommandations

²⁵⁹ Ledikwe, J. H., Blanck, H. M., Khan, L. K., Serdula, M. K., Seymour, J. D., Tohill, B. C., & Rolls, B. J. (2005). Dietary energy density determined by eight calculation methods in a nationally representative United States population. *The Journal of Nutrition*, 135 (2), 273-278.

nutritionnelles et alimentaires) et ii) puisqu'il existe une relation inverse bien documentée entre la qualité nutritionnelle des diètes existantes et leur densité énergétique²⁶⁰.

Les compositions nutritionnelles détaillées de la diète observée et de la diète optimisée peuvent être consultées dans les résultats complémentaires (tableaux 4.20, 4.21 et 4.22). Par construction, toutes les contraintes « dures » sont respectées, et les cibles sont approchées du mieux possible.

L'optimisation permet ainsi d'atteindre le respect d'un certain nombre de recommandations importantes pour la santé publique et qui sont peu ou pas respectées dans la population, notamment celles sur les acides gras saturés totaux (diminués de 14,5 % à 11,5 % et 12,0 % dans les diètes n°10 et n°12 respectivement) comme pour les acides gras saturés athérogènes (diminués de 9,0 % à 7,2 % et 7,5 % dans les diètes n°10 et n°12, respectivement) et le sodium drastiquement réduit à 2300 mg (légèrement plus dans la diète n°14) comme recommandé (vs 3175 mg dans l'observé), ainsi que sur les fibres dont la teneur est fortement augmentée (32,7 g et 36,1 g dans les diètes optimisées n°10 et n°14 respectivement vs 19,6 g dans l'observé) dépassant ainsi la cible de 30 g. Alors que ce n'était pas le cas dans la diète observée, le potassium, le magnésium et la vitamine E atteignent les niveaux recommandés, ainsi que les folates (ou vitamine B9) et la vitamine C qui atteignent le niveau le plus exigeant de la recommandation (RNP introduit en cible), et le dépassent même en ce qui concerne les folates.

Même pour des nutriments considérés comme difficiles à obtenir avec une alimentation plus végétale, les apports ne seraient pas diminués (vitamine D, zinc), seraient améliorés (EPA-DHA augmenté de 25 % avec les 2 modèles, fer augmenté de 20 % et 30 % avec les modèles n°10 et n°14 respectivement) par rapport à l'observé, ou seraient diminués tout en respectant la recommandation (vitamine B12 : apport actuel de 5,4 µg faiblement diminué à 4,7 µg pour la diète n°10 et 4,2 µg pour la diète n°14, dépassant donc la cible de 4 µg/j). L'optimisation est moins performante pour l'iode, passant de 146 µg dans l'observé à 131 µg pour la diète n°10 et même 112 µg pour la diète n°14, alors que la cible était de 150 µg.

4.5. Caractéristiques environnementales et coût de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées

Comme imposé, l'optimisation s'est accompagnée d'une réduction de 35 % des émissions de gaz à effet de serre (Tableau 4.16). L'optimisation a également été accompagné d'améliorations sur les autres impact environnementaux (i.e. diminutions comprises entre -25 % et -41 %) bien qu'ils aient été uniquement contraints à ne pas se dégrader. La seule métrique qui ne se soit pas améliorée est celle de l'épuisement des ressources en eau, mais elle ne s'est pas non plus dégradée grâce à la contrainte imposant sa non-augmentation. Les pourcentages d'amélioration des métriques environnementales sont sensiblement les mêmes avec les deux modèles, avec cependant des réductions généralement un peu plus importantes pour la diète n°10 par rapport à la diète n°14.

²⁶⁰ Ledikwe, J. H., Blanck, H. M., Khan, L. K., Serdula, M. K., Seymour, J. D., Tohill, B. C., & Rolls, B. J. (2006). Low-energy-density diets are associated with high diet quality in adults in the United States. Journal of the American Dietetic Association, 106 (8), 1172-1180.

Tableau 4.16 : Pourcentages de réduction des impacts environnementaux et du coût des diètes optimisées sélectionnées, n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35), par rapport à la diète observée

	Observé	Var. n°10 (%)	Var. n°14 (%)
Impact carbone¹ (kg CO₂ eq/j)	5,25	-35 %	-35 %
Acidification² (mol H⁺ eq/j)	0,072	-40,6 %	-39,4 %
Eutrophisation des eaux douces² (E⁻⁰³ kg P eq/j)	0,292	-40,1 %	-38,9 %
Eutrophisation marine² (E⁻⁰³ kg N eq/j)	0,735	-26,5 %	-24,4 %
Eutrophisation des terres² (/j)	23,89	-31,9 %	-29,2 %
Utilisation du sol² (mol N eq/j)	70,76	-38,4 %	-35,2 %
Epuisement des ressources en eau² (m³/j)	7,57	0 %	0 %
Utilisation d'énergie (MJ/j)	51,48	-25,2 %	-25,3 %
Coût (€/j)³	7,42	-9,7 %	-10,3 %

¹ : contraint à diminuer de 35 % vs la diète observée, par construction

² : contraint à ne pas se dégrader (augmenter) vs la diète observée

³ : non contraint

Bien qu'il n'ait fait l'objet d'aucune contrainte spécifique, le coût (estimé, pour rappel, à partir des prix moyens extraits du panel d'achats Kantar 2015) a diminué d'environ 10 % (9,7 % pour la diète n°10 et 10,3 % pour la diète n°14). Cette baisse s'est accompagnée d'une redistribution des parts budgétaires des groupes d'aliments, comme le montre le tableau 4.17.

Tableau 4.17 : Contribution (en %) des différents groupes d'aliments au coût total de la diète observée et des 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35)

en % du coût total	Obs	Opt n°10	Opt n°14
Fruits et légumes	13,5	34,2	32,3
Pdts céréaliers, p.d. terre	8,3	13,7	13,1
Légumineuses	0,2	1,8	4,1
Charcuterie	4,1	2,9	2,9
Viande	17,9	11,7	11,7
Pdts de la pêche	8,2	10,6	10,7
Œufs	0,5	1,6	1,6
Pdts laitiers	9,3	11,1	8,9
Pdts sucrés salés gras	12,8	10,6	11,7
Plats mixtes	19,4	0	0
Matières grasses	1,7	1,2	1,8
Eaux et boissons	3,8	0,7	1,2
Alternatives végétales	0,2	0	0

En plus de cette diminution globale, les parts budgétaires des différents groupes d'aliments ont été modifiées, dans des proportions sensiblement similaires entre les modèles n°10 et n°14. Ainsi, la part budgétaire des fruits et légumes a presque été multipliée par 3 (passant de 13,5 % dans l'observé à 33 % dans les diètes optimisées) et celle de l'ensemble céréales, pommes de terre et légumineuses a été multipliée par plus de 1,5 (8,5 % à 13,5 %) au

détriment principalement de la viande et de la charcuterie (22,0 % à 14,5 %) et des plats mixtes (19,4 % à 0 %).

4.6. Information synthétique sur la composition en aliments de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées

Le tableau 4.18 (page suivante) reprend de façon synthétique les informations importantes concernant la composition en aliments de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées.

Pour pouvoir mieux comparer les diètes optimisées (qui ne comprennent pas de plats mixtes) à la diète observée qui en contient une quantité importante, nous avons réaffecté à chaque catégorie d'aliments les ingrédients des plats mixtes initialement comptabilisés dans l'item plat mixte de la diète observée.

Ainsi, la colonne 1 représente la diète observée telle que décrite dans les résultats ci-dessus, c'est-à-dire en indiquant la quantité consommée de plats mixtes, la colonne 2 indique les quantités d'ingrédients des différentes catégories d'aliments issus des plats mixtes, la colonne 3 intitulée « Observé incluant les ingrédients présents dans les plats mixtes » est la somme des quantités des colonnes 1 et 2, et c'est cette colonne 3 qui doit être comparée aux diètes optimisées (colonnes 4 et 5) pour plus de cohérence.

Tableau 4.18 : Composition en aliments de la diète observée et des 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35)

* Les boissons (eau et boissons chaudes) et les matières grasses (incluant les sauces) ne sont pas représentées

g/j	Observé (INCA3-2015)	ingrédients présents dans les plats mixtes	Observé	Diète N°10	Diète N°14
			incluant les ingrédients présents dans les plats mixtes		
Fruits et légumes (hors fruits à coques)	336,0	56,5	392,5	537,0	502,6
Fruits à coques	2,42	0,03	2,45	29,3 ¹	23,4 ²
Pdts céréaliers raffinés	161,0	32,5	193,5	64,3	70,1
Produits céréaliers complets	17,8	1,4	19,2	138,1	138,1
Pommes de terre	45,8	27,6	73,4	127,2	107,9
Légumineuses	7,7	0,7	8,4	65,4	146,1
Lait + produits laitiers frais³	201,5	9,2	210,7	250,0	125,0
Fromage	30,8	9,1	39,9	30,0	30,0
Œufs	11,2	4,2	15,4 (20-35) ⁴	30,0	30,0
Viande hors volaille⁵	50,0	9,8	59,8	24,1	24,1
Volaille	25,8	3,6	29,4	21,5	21,5
Jambon blanc	7,65	3,7	11,35	8,25	8,25
Autres charcuteries	19,7	3,7	23,4	8,25	8,25
Poisson gras	8,1	0,9	8,9	15,0	15,0
Poisson maigre	18,6	5,4	24,0	15,0	15,0
Produits sucrés salés gras	234,3	0,4	234,7	88,5	102,8
Plats mixtes	252	nd	0	0	0
Substituts végétaux	4,2	0,1	4,3	0	0
Somme toutes viandes	103,1	53,4	124,0	62,1	62,1
Nombre total portions produits laitiers ⁶	2,63	0,37	3,0	3,0	2,0

¹ : dont 19 g de noix ; ² : dont 17 g de noix ; ³ : incluant les desserts lactés ; ⁴ : quand on comptabilise les œufs des plats mixtes on arrive à 15,4 g d'œufs par jour, mais il faudrait aussi comptabiliser les œufs présents dans les produits gras salés sucrés (biscuits salés ou sucrés, gâteaux...), qui sont beaucoup diminués par la modélisation. Lorsque tous ces usages sont pris en compte, la consommation d'œufs est estimée entre 20 et 35 g/j en France²⁶¹.

⁵ : viande hors volaille incluant viande de ruminant, porc, gibier, lapin et abats.

⁶ : avec 1 portion de lait ou produit laitier frais = 125 g et 1 portion de fromage = 30 g

²⁶¹ Nau F., Flourey J., van der Werf H., et Le Minous A.-E. 2016. Les œufs et les ovoproduits dans l'alimentation des Français. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51 (3), p. 147-156.
France Agrimer, 2023, [La consommation de produits carnés et d'œufs en 2022](#).

4.7. Résultats complémentaires : compositions alimentaires et nutritionnelles détaillées de la diète observée et des deux diètes optimisées sélectionnées

Tableau 4.19 : Contenu (g/j) en groupes, sous-groupes et items alimentaires de la diète observée et des 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35)

Groupe	Obs	Opt n°10	Opt n°14	Sous-groupe	Obs	Opt n°10	Opt n°14	Item	Obs	Opt n°10	Opt n°14
Fruits et légumes	339	566,3	526	Fruits	144	181,3	146,9	Fruits riches en vitamine C	55,9	93,4	103
								Fruits séchés	0,5	0,5	0,5
								Autres fruits	87,3	87,3	43,4
				Fruits à coques	2,4	29,3	23,4	Autres fruits à coques	2	10,5	6
								Noix	0,4	18,8	17,3
				Jus de fruits	62,3	0	0	Jus de fruits	62,3	0	0
				Légumes	130	355,7	355,7	Légumes	130	355,7	355,7
								Céréales petit déj non sucrées, raffinées, enrichies	0,14	0,14	0,14
Pdts céréaliers raffinés	161	64,4	70,3	Pdts céréaliers raffinés	161	64,4	70,3	Pain blanc	97,6	0	0
Pdts céréaliers complets	17,8	138,1	138,1	Pdts céréaliers complets				Pdts céréaliers complets (pâtes, riz, semoule)	63,3	64,3	70,1
Pommes de terre	45,8	127,2	107,9	Pommes de terre				Pain complet	16,2	136,5	136,5
Légumineuses	7,7	65,4	146,1	Légumineuses	7,7	65,4	146,1	Pommes de terre	45,8	127,2	107,9
Charcuterie	27,4	16,5	16,5	Charcuterie	27,4	16,5	16,5	Autres charcuteries	19,7	8,2	8,2
								Jambon blanc	7,7	8,2	8,2

Viande	75,9	45,5	45,5	Viande hors volaille	50	24,1	24,1	Viande de porc	11,7	5,4	5,4
								Viande de ruminant	34	16,1	16,1
								Abats	2,6	1,6	1,6
								Lapin	1,3	0,8	0,8
								Gibier	0,4	0,2	0,2
				Volaille	25,8	21,5	21,5	Volaille	25,8	21,5	21,5
Pdts de la pêche	26,7	30	30	Poisson gras	8,1	15	15	Poisson gras	8,1	15	15
				Poisson maigre, crustacés	18,6	15	15	Crustacés	3,7	3,7	3,7
								Poisson maigre	14,9	11,3	11,3
Œufs	11,2	30	30	Œufs	11,2	30	30	Œufs	11,2	30	30
Produits laitiers	232	280	155	Fromage	30,8	30	30	Fromage	30,8	30	30
				Lait et produits laitiers frais	202	250	125	Lait	110	158,2	33,2
								Produits laitiers frais	74,5	74,5	74,5
								Lait enrichi	4,5	4,5	4,5
								Produits laitiers frais enrichis	1,5	1,5	1,5
								Desserts lactés	11,2	11,2	11,2
Produits sucrés salés gras	234	88,5	102,8	Produits sucrés	213	81,9	81,9	Sucre, miel, confiture	19,4	0	0
								Chewing-gum, aspartam	0,3	0,3	0,3
								Barres céréalières et muesli	0,2	0,2	0,2
								Biscuits	4,2	4,2	4,2
								Desserts glacés	5	5	5
								Gâteaux	58,3	58,3	58,3
								Produits sucrés	1,9	1,9	1,9
								Produits sucrés au chocolat	6,4	6,4	6,4
								Boissons sucrées	112	0	0

								Barres céréalières et muesli enrichis	1,8	1,8	1,8
								Biscuits enrichis	0,9	0,9	0,9
								Céréales petit déjeuner sucrées enrichies	2,5	2,5	2,5
								Produits sucrés au chocolat enrichis	0,01	0,01	0
								Boissons sucrées enrichies	0,5	0,5	0,5
				Produits salés	21,4	6,6	20,9	Produits apéritifs	3,5	3,5	3,5
								Autres sauces et condiments	17,4	2,8	17,4
								Sel	0,5	0,3	0
Plats mixtes	252	0	0	Plats mixtes	252	0	0	Plats mixtes	252	0	0
Matières grasses (MG)	26,1	17,6	24,7	MG favorables PNNS	3,6	3,6	5,1	Huile de lin	0	0,001	0,001
								Huile de noix	0,03	0,026	0,026
								Huile de colza	0,15	0,153	0,153
								Margarine riche en oméga-3 enrichie	0,86	0,86	2,38
								Huile d'olive	2,32	2,32	2,32
								Huile mélangée type isio4	0,25	0,25	0,26
				Autres MG	10,8	2,3	7,9	Autres MG : Graisses animales	8,5	0	5,59
								Autres MG : Graisses végétales	1,24	1,24	1,24
								Autres MG : Graisses végétales enrichies	0,5	0,5	0,52
								Huile de tournesol	0,5	0,5	0,52
				Sauces	11,7	11,7	11,7	Sauces animales	3,7	3,7	3,73
								Sauces végétales	7,9	7,9	7,93
Eau et boissons	1350	1508,6	1540,6	Boissons chaudes	448	110	197,8	Boissons chaudes	448	109,9	197,8

				Eau	902	1398,6	1342,8	Eau du robinet	474	1398,6	1342,8
								Eau en bouteille	428	0	0
Alternatives végétales	4,2	0	0	Alternatives viande	0,4	0	0	Alternatives viande	0,4	0	0
				Alternatives produits laitiers	3,8	0	0	Alternatives produits laitiers et lait	2	0	0
								Alternatives produits laitiers et yaourt, enrichies	1,8	0	0

Tableau 4.20 : Composition en énergie, fibres et macronutriments de la diète observée et des 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35), au regard des contraintes imposées et des cibles souhaitées

Nutriment	Contrainte imposée	Cible souhaitée	Observé	Optimisé n°10	Optimisé n°14
Energie	+ ou- 1 % observé		2009	1989	1989
Fibres	≥ 25 g/j	≥ 30 g/j (AS)	19,6	32,7	36,1
Protéines	[12 – 20] % AET		16,5	16,1	16,3
Glucides	[40 – 55] % AET		46,9	44,9	44,2
Lipides	[35 – 40] % AET		34,2	35,0	35,0
Acides gras saturés (AGS) totaux	≤ 12 % AET		14,5	11,5	12,0
AGS athérogènes (laurique + myristique + palmitique)	≤ 8 % AET		9,0	7,2	7,5
EPA+DHA	≥ 250 mg/j	≥ 500 mg/j (AS)	286	357	360
AG linoléique	≥ 4 % AET		3,1	6,1	5,8
AG α-linolénique	≥ 1 % AET		0,4	1,0	1,0
Sucres libres	≤ 10 % AET (reco OMS)		10,3	5,0	5,0

Tableau 4.21 : Contraintes sur les minéraux, et teneurs dans la diète observée et des 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35), au regard des contraintes imposées et des cibles souhaitées

Nutriment	Contrainte imposée	Cible souhaitée	Observé	Optimisé n°10	Optimisé n°14
Calcium	≥ 610 mg/j	≥ 750 mg/j (BNM)	920	949	838
Cuivre	≥ 1,9 µg/j (AS) <5 µg/j (LSS)		1,7	2,0	2,1
Fer	≥ 7 mg/j (BNM femmes)	≥ 11 mg/j (RNP femmes avec pertes normales en fer)	10,0	11,9	12,9
Iode		≥ 150 µg/j (AS)	146	131	113
Potassium	≥ 3500 mg/j (AS)		3021	3604	3526
Magnésium	≥ 380 mg/j (AS)		333	380	391
Manganèse	≥ 2,8 mg/j (AS)		3,0	4,0	4,3
Sodium	≥ 1500 mg/j (AS)	≤ 2300 mg/j (LSS)	3175	2300	2309
Phosphore	≥ 550 mg/j (AS)		1223	1378	1338
Sélénium	≥ 70 µg/j (AS) < 300 µg/j (LSS)		123	97	94
Zinc	≥ 9,3 mg/j (BNM pour un apport de phytates de 600 mg/j chez les hommes)	≥ 11,7 mg/j (RNP pour un apport de phytates de 600 mg/j chez les hommes)	9,4	9,3	9,3

Tableau 4.22 : Contraintes sur les vitamines, et teneurs dans la diète observée et des 2 diètes optimisées sélectionnées n°10 (v60g, 3PL, IC -35) et n°14 (v60g, 2PL, IC -35), au regard des contraintes imposées et des cibles souhaitées

Nutriment	Contrainte imposée	Cible souhaitée	Observé	Optimisé n°10	Optimisé n°14
Vit B1	$\geq 0,072 \text{ mg/MJ (BNM)}$	$\geq 0,1 \text{ mg/MJ (RNP)}$	1,2	1,3	1,3
Vit B2	$\geq 1,3 \text{ mg/j (BNM)}$	$\geq 1,6 \text{ mg/j (RNP)}$	1,8	1,7	1,5
Vit B3	$\geq 1,3 \text{ mg/MJ (BNM)}$	$\geq 1,6 \text{ mg/MJ (RNP)}$	20,1	16,7	17,1
Vit B5			5,5	6,0	5,7
Vit B6	$\geq 1,5 \text{ (BNM)}$ $< 25 \text{ mg/j (LSS)}$	$\geq 1,7 \text{ mg/j (RNP)}$	1,7	1,9	1,9
Vit B9	$\geq 250 \text{ } \mu\text{g/j (BNM)}$ $< 1000 \text{ } \mu\text{g/j (LSS)}$	$\geq 330 \text{ } \mu\text{g/j (RNP)}$	302	437	494
Vit B12	$\geq 2,4 \text{ } \mu\text{g/j (ANC Anses 2001)}$	$\geq 4 \text{ } \mu\text{g/j (RNP Anses 2016)}$	5,4	4,7	4,2
Vit C	$\geq 90 \text{ mg/j (BNM)}$	$\geq 110 \text{ mg/j (RNP)}$	89,6	110	110
Vit D		$\geq 3,1 \text{ } \mu\text{g/j (moyenne observée)}$	3,1	3,1	3,1
Vit E	$\geq 10 \text{ mg/j (AS)}$		9,8	10,7	11,1
Vit A	$\geq 580 \text{ } \mu\text{g rétinol-eq/j}$ $< 3000 \text{ } \mu\text{g rétinol-eq/j}$	$\geq 750 \text{ } \mu\text{g rétinol-eq/j}$	918	993	1010

Tableau 4.23 : Caractéristiques de la diète observée et des 17 diètes optimisées

Obs.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
réduction IC (%)	nd	-28,7	-34,9	-27,3	-36,2	-25,9	-31,8	-24,6	-31,6	-30	-35	-40	-45	-50	-35	-40	-45	-50
Total F&L (g)	339	485	493	469	474	471	483	468	469	469	566	576	507	506	526	573	508	506
Total pdts céréaliens et PdT (g)	225	333	335	356	360	375	345	369	382	381	330	360	394	377	316	319	382	377
Légumineuses (g)	8	146	146	133	146	125	141	83	101	96	65	62	89	146	146	140	146	146
Total produits laitiers (g)	232	155	155	280	280	155	155	280	280	280	280	280	280	133	155	155	155	133
Total Viande Euf Poisson (g)	141	112	112	112	112	122	122	122	122	122	122	114	102	101	122	118	114	101
Produits sucrés alés gras (g)	234	120	103	111	103	116	103	135	103	103	88	65	21	15	103	84	31	15
Matières grass es (MG) (g)	26	20	21	18	21	20	24	18	20	20	18	18	23	27	25	21	26	27
Fruits (g)	144	107	108	92	94	96	105	92	92	92	181	174	205	106	147	184	205	106
Fruits à coque (g)	2,4	21,6	29,8	20,8	23,4	20,2	21,6	20,9	20,8	20,7	29,3	40,7	44,6	44,6	23,4	32,8	42,6	44,6
Jus de fruits (g)	62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,06	0,00	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00
Légumes (g)	130	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	258	356	356	356	261	356
Produits céréaliers raffinés (g)	161	72	77	77	93	74	78	76	91	88	64	69	91	87	70	63	82	87
Produits céréaliers complets (g)	18	138	138	101	101	122	136	114	112	115	138	138	138	138	138	127	138	138
Pommes de terre (g)	46	122	120	178	166	179	130	179	179	179	127	153	165	153	108	128	163	153
Légumineuses (g)	8	146	146	133	146	125	141	83	101	96	65	62	89	146	146	140	146	146
Fromage (g)	31	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Produits laitiers frais (g)	201	125	125	250	250	125	125	250	250	250	250	250	250	103	125	125	125	108
Charcuterie (g)	27,4	13,7	13,7	13,7	13,7	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	8,2	8,2	16,5	12,7	8,2	8,2
Viande (somme volaille+vhv) (g)	75,9	37,9	37,9	37,9	37,9	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5	45,5
Autre charcuterie (g)	19,7	6,8	6,8	6,8	6,8	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	0,0	0,0	8,2	4,4	0,0	0,0
Jambon blanc (g)	7,7	6,9	6,9	6,9	6,9	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2
Viande de porc (g)	11,7	4,5	4,5	4,5	4,5	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4
Viande de ruminant (g)	34,0	13,4	13,4	13,4	13,4	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
Abats (g)	2,6	1,3	1,3	1,3	1,3	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Lapin (g)	1,3	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Gibier (g)	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Volaille (g)	25,8	17,9	17,9	17,9	17,9	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5
Produits de la pêche (g)	26,7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	18,7	17,6	30,0	30,0	30,0	17,6
Oeufs (g)	11,2	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Total Phytates (mg)	354	1532	1660	1345	1468	1365	1511	1166	1259	1242	1273	1433	1644	1887	1555	1626	1860	1897
Protéines totales (g)	82,8	79,8	80,2	80,2	81,0	80,0	80,9	80,0	80,9	80,8	80,1	80,0	79,2	80,3	81,0	80,3	80,6	80,3
Protéines animales (g)	55,4	37,4	36,8	41,3	41,1	39,7	39,4	43,7	43,6	43,6	43,3	41,3	38,1	31,8	39,4	38,4	35,8	31,8
Protéines végétales (g)	27,5	42,4	43,4	38,9	39,9	40,2	41,6	36,3	37,3	37,2	36,7	38,7	41,1	48,5	41,6	41,9	44,8	49,5
% prot anti/prot tot	66,8	46,8	45,9	51,5	50,7	49,7	48,6	54,7	53,9	53,9	54,1	54,6	48,1	39,6	48,6	47,8	44,4	39,6
Valeur fonction objectif (kg)	nd	1,81	1,98	1,61	1,79	1,72	1,92	1,53	1,74	1,57	1,63	1,76	2,02	2,76	1,81	1,93	2,15	2,76
Réduction acidification (%)	nd	-36,1	-38,4	-34,8	-45,2	-32,8	-35,3	-31,3	-39,7	-37,4	-40,6	-45,5	-51,5	-55,1	-39,4	-45,8	-48,8	-55,1
Réduction eutrophisation eaux douces (nd)	-36,6	-38,1	-35,6	-45,6	-33,4	-34,9	-31,8	-40,0	-37,8	-40,1	-45,1	-49,5	-53,0	-38,9	-45,1	-48,4	-53,0	-38,9
Réduction eutrophisation marine (%)	nd	-13,8	-21,1	-13,5	-25,9	-12,1	-19,5	-12,0	-21,8	-19,3	-26,5	-31,1	-35,4	-38,8	-24,4	-30,3	-34,0	-38,8
Réduction eutrophisation terre (%)	nd	-22,4	-25,5	-22,6	-35,5	-20,9	-24,0	-20,8	-31,1	-28,4	-31,9	-36,4	-42,0	-46,4	-29,2	-35,7	-39,1	-46,4
Reduction utilisation sol (%)	nd	-24,4	-28,7	-23,6	-45,6	-22,7	-27,2	-21,5	-39,1	-34,4	-35,0	-45,0	-48,1	-52,9	-35,2	-44,8	-48,8	-52,9
Reduction utilisation eau (%)	nd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	-4,1	-26,4	0,0	0,0	-26,4
Reduction utilisation énergie (%)	nd	-16,6	-23,8	-13,0	-21,0	-13,0	-21,7	-11,4	-17,6	-16,0	-25,2	-28,2	-34,3	-37,2	-25,3	-29,2	-33,5	-37,2
Réduction coût (%)	nd	-8,6	-11,8	-9,1	-11,5	-7,2	-10,4	-7,4	-9,6	-9,1	-9,7	-11,6	-18,5	-17,6	-10,3	-11,1	-17,1	-17,6
aet (kcal)	2009	2029	1989	1989	2029	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	2029
fibres (g)	19,6	36,5	36,3	34,4	34,9	35,2	35,6	32,2	33,0	32,9	32,7	33,3	33,5	37,6	36,1	36,4	36,5	37,6
proteines_pctNRJ	16,5	15,7	16,1	16,1	16,3	15,8	16,3	16,1	16,3	16,2	16,1	16,1	15,9	15,8	16,3	16,1	16,2	15,8
glucides_pctNRJ	46,9	44,9	44,4	44,7	44,5	44,7	44,4	44,8	44,7	44,8	44,9	44,9	45,0	44,8	44,3	44,4	44,4	44,8
lipides_pctNRJ	34,2	35,0	35,0	35,0	35,0	35,3	35,0	35,2	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
ag_pctNRJ	14,5	12,0	11,3	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	11,5	10,7	10,2	9,7	12,0	11,1	10,3
ag_lau_myr_pctNRJ	9,0	7,3	7,0	7,4	7,5	7,3	7,5	7,4	7,5	7,5	7,2	6,8	6,5	6,3	7,5	7,0	6,6	6,3
ag_EPA_DHA (mg)	286	361	359	360	361	363	361	363	363	363	358	354	312	287	360	358	355	287
ag_18_2_lino_pctNRJ	3,1	5,8	6,1	5,9	5,9	5,8	5,9	5,8	5,9	5,9	5,6	5,6	6,8	6,6	5,8	6,3	6,6	6,6
ag_18_3_a_lino_pctNRJ	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
sucres_libres_pctNRJ	10,3	6,5	5,0	5,8	5,0	6,1	5,0	6,0	5,0	5,0	5,0	3,8	2,1	2,1	5,0	4,8	2,1	2,1
calcium (mg)	920	910	845	1008	1022	885	831	992	999	996	949	944	920	789	838	851	805	789
cuivre (mg)	1,70	2,18	2,21	2,02	2,01	2,11	2,13	1,97	1,95	1,95	2,05	2,11	2,16	2,42	2,13	2,21	2,25	2,42
fer (mg)	10,0	13,2	13,0	12,6	12,6	12,9	12,9	12,1	12,2	12,2	11,9	11,7	11,6	13,4	12,9	12,8	12,4	13,4
iode (ug)	146	118	116	142	136	122	116	139	136	131	131	131	120	91	113	116	112	91
potassium (mg)	3021	3757	3668	4054	3674	3933	3675	3983	3729	3796	3604	3628	3524	3500	3526	3500	3500	3500
magnesium (mg)	333	442	425	436	380	433	410	425	380	392	380	380	380	391	391	380	387	391
manganèse (mg)	3,0	4,7	4,6	4,2	3,9	4,4	4,4	4,1	3,9	4,0	4,0	4,0	4,2	4,6	4,3	4,1	4,3	4,6
sodium (mg)	3175	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
phosphore (mg)	1223	1354	1348	1406	1406	1347	1339	1384	1388	1387	1378	1393	1381	1348	1338	1346	1352	1348
selénium (µg)	123	113	97	118	111	114	97	118	113	114	97	94	87	78	94	91	88	78
zinc (mg)	9,40	9																

5. Discussion

5.1. Rappel des résultats des modélisations

L'exercice de modélisation exposé dans cette partie a montré qu'il est possible de réduire de 50 % la consommation de viande tout en satisfaisant les recommandations actuelles de consommation alimentaire (PNNS 4) et l'ensemble des recommandations d'apports en nutriments pour l'adulte (ou adéquation nutritionnelle), et sans avoir recours à des produits enrichis ou à des supplémentations. Cette division par deux de la consommation de viande conduirait à une réduction de l'impact carbone de l'alimentation (et de la plupart des autres impacts environnementaux) comprise entre -20 % et -50 % selon le type de changements alimentaires associés à la réduction de la viande, avec un écart aux consommations observées, et à certaines cibles nutritionnelles, d'autant plus important que la réduction de l'impact carbone est importante. Un scénario à -35 % pourrait représenter un bon compromis entre acceptabilité culturelle et réduction des impacts environnementaux, sans avoir à transiger sur l'adéquation nutritionnelle des diètes. Les implications en termes d'évolution des consommations alimentaires sont en accord avec de nombreux rapports et études, à commencer par les recommandations de la FAO et de l'OMS dans leur rapport²⁶² intitulé « Alimentation saine et durable : principes directeurs » qui précise que « Les régimes alimentaires sains et durables comprennent des céréales complètes, des légumineuses, des fruits à coque et une abondance et une variété de fruits et de légumes, et peuvent inclure des quantités modérées d'œufs, de produits laitiers, de volaille et de poisson, et de petites quantités de viande rouge ».

Si ces changements étaient adoptés, cela permettrait non seulement de réduire fortement les impacts environnementaux de notre alimentation, mais aussi d'améliorer considérablement sa qualité nutritionnelle, en facilitant le respect des recommandations d'apports en nutriments pour une bonne prévention des maladies non transmissibles liées à l'alimentation (surpoids et obésité, hypertension, diabète de type 2, maladies cardiovasculaires, certains cancers...). Cela permettrait également de réduire le coût de l'alimentation pour les ménages (cette réduction serait de l'ordre de 10 % à prix de l'alimentation constant).

Cette section vise à aborder certains points de discussion et à lister les forces et les limites des modélisations réalisées.

5.2. Forces et limites de la méthode et des données

La justification de la méthode utilisée et ses principales forces, par rapport aux autres méthodes utilisées pour l'étude de l'alimentation durable, ont déjà été exposées dans la section précédente (paragraphe « choix de la méthode et des données »). Il ressort que cette méthode d'optimisation sous-contraintes est la seule à pouvoir tenir compte simultanément de nombreuses exigences sur un grand nombre de métriques relatives à différentes dimensions de l'alimentation durable. Cependant, comme toutes les méthodes, elle n'est pas exempte de limites, la nature théorique de l'exercice de modélisation étant l'une d'entre elles.

²⁶² FAO/OMS. (2019). [Alimentation saine et durable : principes directeurs](#).

L'enjeu majeur est donc de concevoir des modèles pertinents, basés sur des données fiables et robustes, ainsi que nous le discutons ci-après.

Puisque les diètes modélisées sont théoriques, il est nécessaire de traduire en équations la dimension socio-culturelle et gustative des diètes modélisées, dimension souvent qualifiée d'acceptabilité ou de réalisme. La façon de prendre en compte cette dimension est variable d'une étude à l'autre mais le plus souvent des quantités maximales (et/ou même minimales) sont imposées aux aliments et catégories d'aliments, et la fonction « objectif » est construite de façon à orienter vers des diètes modélisées qui s'éloignent le moins possible de patterns alimentaires existants. C'est ce que nous avons fait dans la présente étude, en minimisant notamment les écarts à la diète moyenne observée, et en appliquant des maximums aux groupes, sous-groupes et items alimentaires basés sur la distribution des consommations réelles. Nous avons veillé cependant à ne pas être trop stricts dans la définition des contraintes de réalisme, de façon à autoriser les modèles à introduire des quantités importantes si nécessaire de groupes et sous-groupes d'aliments potentiellement intéressants en termes de nutrition et/ou d'environnement, même pour ceux qui ont un faible nombre de consommateurs à l'heure actuelle²⁶³.

Comme toutes les autres méthodes mises en œuvre pour l'étude de l'alimentation durable, l'optimisation sous contraintes est sensible à la qualité des données. Les données nutritionnelles (base Ciquid) et environnementales (base Agribalyse) disponibles concernent des produits alimentaires génériques, et non spécifiques. Ceci se comprend aisément quand on sait que la liste de ces produits alimentaires est issue d'enquêtes individuelles de consommation alimentaire dans lesquelles les participants indiquent le nom et la quantité des aliments qu'ils ont consommés (consommation de la veille généralement), avec assez peu de précisions sur d'autres caractéristiques propres à ces aliments. En effet, il est conseillé d'éviter de trop solliciter les participants d'une enquête, au risque de biaiser l'échantillon avec une surreprésentation d'individus très concernés par leur alimentation. De plus, même un participant qui serait d'accord pour donner beaucoup de précisions sur son alimentation, ne saurait pas forcément quels étaient, par exemple, la variété, la provenance, le mode de production des aliments qu'il a consommés la veille. Et même en imaginant que les déclarations des participants soient très précises concernant les caractéristiques des aliments consommés, pour que cela soit utile à l'analyse, il faudrait être en mesure de les coupler avec des informations tout aussi détaillées sur la totalité des aliments consommés par chaque participant, ce qui est concrètement impossible. Un certain degré de généricté est donc inévitable dans la constitution des bases de données d'aliments utilisées dans l'étude de l'alimentation durable²⁶⁴.

²⁶³ Pour rappel, pour chaque item alimentaire mais aussi pour les groupes et sous-groupes peu ou sous-consommés comme les légumineuses, les produits céréaliers complets et les fruits à coque, ainsi que pour les fruits, les légumes et les matières grasses riches en acide alpha linolénique (ALA, acides gras oméga-3 végétal), c'est le P95 calculé parmi les consommateurs, c'est-à-dire la quantité consommée par les 5 % les plus grands consommateurs) de ces items, groupes et sous-groupes d'aliments dans la population au moment de l'étude, qui a été introduite comme contrainte maximale. Pour les groupes et sous-groupes plus largement consommés, le P95 a été calculé dans l'ensemble de la population, y compris les potentiels non consommateurs.

²⁶⁴ Gazan, R., Barré, T., Perignon, M., Maillot, M., Darmon, N., & Vieux, F. (2018). A methodology to compile food metrics related to diet sustainability into a single food database: application to the French case. *Food Chemistry*, 238, 125-133.

En réalité, le fait de travailler avec des bases de données génériques est plutôt un avantage dans le cas de l'optimisation sous contrainte car cette méthode est si puissante que si quelques aliments spécifiques aux caractéristiques très particulières²⁶⁵ étaient disponibles en tant que variables décisionnelles, les modèles s'engouffreraient dans le recours à ces aliments « magiques », ce qui aboutirait à des diètes irréalistes car elles pourraient contenir des quantités anormalement élevées d'aliments peu disponibles, peu consommés et/ou peu appréciés et potentiellement chers. Ceci est d'autant plus vrai si, dans un même modèle, les contraintes sont très sévères (notamment si le niveau d'exigences nutritionnelles et/ou environnementales est très élevé) et qu'il y a une grande permissivité concernant le type et les quantités d'aliments autorisés. Pour toutes ces raisons, il est fortement conseillé de limiter le nombre de variables dans les modèles d'optimisation, en donnant accès à une liste relativement restreinte d'items alimentaires génériques plutôt qu'en travaillant à partir d'une liste exhaustive d'aliments spécifiques (par exemple 1 seul item fruits riches en vitamine C, plutôt que plusieurs variables détaillant pamplemousse, orange, citron, mandarine, kiwi, fruits rouges...). C'est ce que nous avons fait dans la présente étude en regroupant les produits alimentaires sous la forme d'items, les caractéristiques de chaque item reflétant celles des produits le composant et les proportions dans lesquelles sont consommés ces différents produits dans la population. Il faut être conscient cependant qu'il y a toujours une part d'arbitraire dans la pratique des catégorisations d'aliments, et donc ici dans la constitution des items. Par exemple, au sein des fruits, nous avons distingué les fruits riches en vitamine C des autres fruits, et au sein des fruits oléagineux nous avons distingué les noix des autres fruits oléagineux, mais nous aurions aussi pu distinguer, au sein des légumes, les légumes orange riches en bêta-carotène, les légumes feuille riches en folates et les autres légumes. Une autre limite à l'utilisation d'items alimentaires comme variables des modèles est que cela suppose une consommation intra-item stable, la composition nutritionnelle de chaque item étant dépendante de la part de consommation actuelle des différents aliments constituant l'item. Cependant, au final, il nous semble que les avantages liés à ce choix (d'utiliser un nombre limité d'items) l'emportent sur les limites. Ceci est d'autant plus vrai qu'un des attendus de l'étude était de contribuer à la définition de conseils de consommation alimentaire, or avoir peu d'items dans les diètes optimisées permet d'éviter de traduire ces patterns optimisés en conseils très détaillés spécifiant le recours à tel ou tel aliment particulier. Bien sûr, la recommandation de consommer une diversité d'aliments (surtout au sein des items riches en nutriments essentiels) reste d'actualité dans ce contexte.

Concernant les données environnementales, nous avons utilisé la base Agribalyse car c'est la base de référence française, développée et régulièrement mise à jour par l'Ademe et INRAE. Elle est librement accessible et fournit les valeurs de plusieurs métriques environnementales pour une liste d'aliments qu'il est possible de rapprocher relativement aisément de ceux déclarés comme consommés dans l'enquête INCA3 et dont les compositions nutritionnelles sont fournies dans la base CIQUAL (en accès libre également, sur le site de l'Anses). La base Agribalyse présente un certain nombre de limites, liées notamment à l'utilisation, pour l'évaluation des impacts environnementaux, de la méthode de l'Analyse du Cycle de Vie qui se concentre sur les externalités négatives mais pas sur les bénéfices éventuels liés à certaines productions comme la capacité de stockage du carbone

²⁶⁵ On pense, par exemple, à des produits de très forte densité nutritionnelle, comme la levure de bière, le foie de morue, ou des produits enrichis...

par les prairies de pâturages²⁶⁶, ou l'amélioration de la biodiversité associée aux modes productions agroécologiques, sous label Bio notamment. De plus, comme pour les informations nutritionnelles fournies par la table CIQUAL, les données fournies par la base Agribalyse sont génériques ou moyennées. Ainsi, les différents niveaux d'impact environnemental associés à différents modes de production, transformation ou distribution des produits ne sont pas distingués de manière exhaustive. Il en va de même de la base de prix que nous avons constituée à partir des données de l'enquête d'achats du panel Kantar. Par conséquent, les différences nutritionnelles, d'impact environnemental ou de prix entre, par exemple, un même morceau de viande acheté sous label Bio, ou Bleu-Blanc-Coeur ou issu d'un élevage de bovins à l'herbe ou aux granulés, ne sont pas distinguées. C'est néanmoins une limite commune à la plupart des études sur l'alimentation durable, qui font généralement l'hypothèse que les consommateurs ont à leur disposition une offre de type générique.

Une autre limite concernant les données concerne leur ancienneté. En effet, les données de consommation alimentaire et les prix moyens des aliments datent de 2014-1015, période à laquelle a été réalisée INCA3, qui est la dernière enquête disponible sur les consommations alimentaires en métropole. Depuis cette période, les types d'aliments, les quantités moyennes consommées ainsi que la distribution de ces consommations, et les prix moyens payés pour ces aliments ont certainement changé mais, en absence de données récentes disponibles, il est impossible d'anticiper quels seraient ces changements. On peut supposer néanmoins que cela impacterait peu les résultats. En effet, si la diète moyenne observée en 2014-2015 est utilisée comme point de départ des modélisations, l'optimisation (bien qu'elle consiste à minimiser la somme des écarts aux quantité observées), autorise en réalité de grands écarts (puisque l'autorise des augmentations jusqu'à atteindre les quantités consommées par les 5 % les plus grands consommateurs de chaque item) et, de fait, les diètes optimisées s'écartent toutes très largement de la diète observée. De plus, les différences entre INCA1 et INCA2, puis entre INCA2 et INCA3 n'ont jamais été de très grande ampleur, et on peut supposer qu'il en serait de même entre INCA3 et la prochaine enquête. On peut supposer que le pourcentage de personnes ayant adopté une alimentation plus végétale aura augmenté, mais certaines études suggèrent que la proportion de personnes végétariennes reste encore largement minoritaire²⁶⁷ en France, tandis que la consommation de viande semble relativement stable depuis une dizaine d'années, malgré une évolution à la hausse pour la volaille et à la baisse pour la viande rouge²⁶⁸.

L'ancienneté des données concernant les prix pourrait être problématique si une contrainte de coût avait été introduite dans la modélisation (pour éviter par exemple que les diètes modélisées ne soient plus chères que la diète observée) mais ce n'est pas le choix qui a été fait ici puisque nous n'avons regardé les coûts des diètes qu'en sortie des modèles. L'inflation

²⁶⁶ Il convient toutefois de préciser que l'objectif de la France de réduire les émissions de gaz à effet de serre de son secteur agricole de 46 % d'ici 2050 est indépendant des objectifs de séquestration du carbone. Autrement dit, le stockage du carbone dans le sol n'est pas de nature à compenser et donc à atténuer les émissions de l'agriculture et de l'élevage. Il importe toutefois que le niveau de consommation de viande de ruminants soit suffisant pour permettre l'entretien, par les élevages de ruminants, des prairies permanentes afin d'atteindre les objectifs de stockage du carbone par les terres agricoles.

²⁶⁷ Nouveaux comportements alimentaires : propositions d'actions pour une alimentation compatible avec des systèmes alimentaires durables - Avis n°90 du CNA adopté le 7 juillet 2022.

²⁶⁸ I4CE, 2023, Réduction de la consommation de viande : des politiques publiques bien loin des objectifs de durabilité

sur les prix alimentaires a été de plus de 20 % au cours des 2 dernières années avec des pourcentages d'augmentation différents selon les produits, les fruits et légumes frais ayant notamment subi une augmentation très importante, et les légumineuses une augmentation bien moindre (source Indice des prix Insee).

Etant donné que la viande a été diminuée de moitié dans les diètes modélisées et que la viande est un produit cher qui représente de surcroît le premier poste budgétaire (de l'ordre de 20 à 25 % du budget alimentaire) dans l'alimentation des foyers vivant en France²⁶⁹, il est probable que les baisses de coût entre les diètes modélisées et la diète observée auraient été maintenues avec des prix actualisés, mais peut-être avec une ampleur différente (plus faible ou plus forte). Il convient aussi de préciser que le prix des aliments n'est pas une donnée naturelle mais dépend en grande partie de la réglementation et des politiques agricoles, économiques et fiscales conduites au niveau national et européen. D'éventuelles difficultés en matière d'accessibilité financière de la diète proposée par l'étude pourraient ainsi être surmontées par des politiques publiques permettant de limiter le prix des aliments constitutifs d'une diète saine et durable, ou d'augmenter les capacités financières des ménages pour leurs achats alimentaires par exemple.

5.3. Discussion autour des spécifications des modèles et des résultats obtenus

Dans une modélisation, le résultat obtenu dépend des données mais aussi des spécifications du modèle (les choix faits lors de la définition du modèle). Il est donc important d'en évaluer la pertinence.

5.3.1. Modélisation populationnelle

Le choix a été fait d'appliquer une optimisation de type populationnelle, c'est-à-dire qu'une seule diète est modélisée pour toute une population, correspondant au respect des recommandations d'apports en nutriments pour un adulte en bonne santé. Ainsi, la diète modélisée ne distingue pas entre hommes et femmes et peut concerner l'un ou l'autre puisque, pour chaque nutriment, le choix a été fait d'appliquer le niveau le plus élevé entre les recommandations définies pour les hommes et les femmes, respectivement. En revanche, le modèle ne prend pas en compte les besoins des enfants et adolescents, des femmes enceintes et allaitantes, des personnes âgées ou malades, et ne prend pas en compte les contraintes des régimes d'exclusion, comme les régimes pesco-végétarien ou végétarien.

Il aurait été aussi possible de mettre en œuvre une approche d'optimisation individuelle²⁷⁰, c'est-à-dire que la diète de chaque individu d'une population est modélisée en prenant en compte ses habitudes alimentaires et les recommandations nutritionnelles propres à son âge et à son sexe. Ce type de modélisation est très utile dans le cadre de la recherche, car il permet d'analyser la variabilité inter-individuelle des changements à opérer pour respecter un ensemble de contraintes. Elle pourrait être utilisée dans des développements ultérieurs de la

²⁶⁹ Insee. (2016) Données de l'enquête Budget de Famille.

²⁷⁰ Maillot, M., Vieux, F., Amiot, M. J., & Darmon, N. (2010). Individual diet modeling translates nutrient recommendations into realistic and individual-specific food choices. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91 (2), 421-430.

présente étude pour préciser quels seraient les changements alimentaires à appliquer au niveau individuel pour répondre à l'objectif populationnel de réduction de la viande par deux, tout en garantissant l'atteinte de l'adéquation nutritionnelle pour chaque individu de l'échantillon et une réduction globale de 35 % de l'impact carbone (sans aggravation des autres impacts) pour l'ensemble de la population.

5.3.2. Suppression des plats mixtes

Le choix a été fait de supprimer les plats mixtes de la liste des variables décisionnelles, en raison de leur diversité et de leur composition incertaine (ils peuvent avoir été achetés dans le commerce ou préparés à domicile avec une très grande diversité de recettes possibles). Cette décision est en phase avec le fait que les conseils de consommation alimentaire portent toujours sur des aliments mono-ingrédient et pas sur des plats composés de plusieurs ingrédients.

La diète optimisée étant isocalorique avec la diète observée, la suppression des plats mixtes des variables décisionnelles implique que la quantité de calories apportée par les plats mixtes dans la diète observée est totalement redistribuée sur d'autres items alimentaires dans la diète modélisée. Cette marge de manœuvre (qui représente 295 kcal, soit 14,7 % des calories totales de la diète observée) est mise à profit par le modèle pour augmenter les quantités d'autres aliments. En réalité, même si les plats mixtes avaient été conservés en variables décisionnelles (sans imposition de contrainte particulière si ce n'est le maximum de réalisme) tout comme nous avons conservé d'ailleurs les produits sucrés, ils auraient été probablement fortement réduits (ainsi que nous l'avons observé à plusieurs reprises précédemment, par exemple dans l'étude de Maillot et al, 2011²⁷¹). L'explication à cela est que c'est plus compliqué pour les modèles d'aller chercher des nutriments comme la vitamine B12, l'iode, le fer, ou les fibres ou n'importe quel nutriment à augmenter pour atteindre l'adéquation nutritionnelle, dans un plat mixte dans lequel ont été ajoutés du sel et/ou du sucre et/ou des graisses riches en acides gras saturés, que dans un aliment mono-ingrédient (œuf, viande, lait, poisson, fruit, légume, légumineuse...) qui contiendra moins, voire pas du tout, de ces nutriments à limiter.

Une limite induite par la suppression des plats mixtes est que les ingrédients contenus dans ces plats n'ont pas été comptabilisés dans le maximum de réalisme imposé aux items, sous-groupes et groupes alimentaires. Notamment, le P95 (95e percentile) du sous-groupe légume était égal à 355 g et ne pouvait donc pas être dépassé dans les diètes modélisées. Or, si les plats mixtes avaient été décomposés en ingrédients réaffectés chacun dans leur catégorie d'appartenance, les P95 auraient été plus élevés, et, notamment concernant les légumes, les diètes modélisées auraient pu en intégrer des quantités un peu supérieures. En effet, la limite imposée sur les légumes (mais pas celle sur les fruits) est atteinte dans toutes les diètes modélisées, ce qui signifie qu'il y aurait eu un avantage pour les modèles à mettre plus de légumes. Malgré ces limites, notons que les diètes modélisées contiennent toutes plus de 450 g de fruits et légumes (hors fruits à coques, hors jus et soupes), et plus de 500 g pour les deux diètes sélectionnées (537 g pour la n°10 et 503 g pour la n°14), ce qui est en phase avec les

²⁷¹ Maillot, M., Issa, C., Vieux, F., Lairon, D., & Darmon, N. (2011). The shortest way to reach nutritional goals is to adopt Mediterranean food choices: evidence from computer-generated personalized diets. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94 (4), 1127-1137.

recommandations officielles de consommer au moins 5 portions de 80 à 100 g de fruits et légumes par jour.

5.3.3. Qualité nutritionnelle des diètes modélisées

Pour rappel : les compositions nutritionnelles de la diète observée et des deux diètes modélisées sélectionnées sont indiquées dans les tableaux 4.20, 4.21 et 4.22, et le tableau 4.23 fournit de façon quasi exhaustive la composition des 17 diètes en aliments et en nutriments.

Les diètes modélisées ont, par construction, une qualité nutritionnelle nettement améliorée par rapport à la diète observée puisqu'elles respectent un large ensemble de recommandations d'apports en nutriments. Comme indiqué dans le tableau 4.23, dans toutes les diètes modélisées, les acides gras saturés (totaux et athérogènes) et le sodium sont fortement réduits, les fibres dépassent la cible de 30 g/j, et des micronutriments déficitaires dans la diète observée (potassium, magnésium, vitamines E, B9 et C) atteignent les niveaux recommandés. L'intérêt de faire appel à l'optimisation sous contraintes est que l'amélioration en un ou plusieurs nutriments ne risque pas de s'accompagner d'une détérioration en un ou plusieurs autres nutriments puisque toutes les contraintes doivent être simultanément respectées.

Pour les protéines, leur contribution énergétique a été contrainte entre un minimum de 10 % et un maximum de 20 % de l'apport énergétique total. Il est intéressant de noter néanmoins que la valeur basse de 10 %, qui pourrait s'avérer insuffisante pour certaines personnes²⁷², n'a jamais été atteinte. Les diètes modélisées contiennent toutes autour de 80 g de protéines et 16 % de calories d'origine protéique, des niveaux comparables à ceux de la diète observée qui contient 83 g de protéines et 16,5 % de calories d'origine protéique. Ceci n'est pas étonnant car les aliments sources de protéines étant également sources de nombreux autres nutriments, ils sont nécessaires en quantité relativement importante pour atteindre l'adéquation nutritionnelle en l'absence de recours à des aliments enrichis ou à des supplémentations. Au-delà de la quantité totale de protéines, le pourcentage de protéines animales dans les protéines totales, égal à 67 % dans la diète observée a diminué dans toutes les diètes modélisées²⁷³, pour s'établir entre 45 % et 55 % selon les modèles, des pourcentages déjà identifiés comme favorables à l'atteinte de l'adéquation nutritionnelle chez l'adulte en l'absence de recours à des aliments enrichis ou à des supplémentations^{274,275}. Bien que végétalisées par rapport à la diète observée, il n'y a pas de risque d'inadéquation

²⁷² En effet, pour un apport énergétique de 2000 kcal/j, imposer un seuil minimal de 10 % de protéines (qui apportent 4 kcal/g) correspond à imposer un minimum de 50 g de protéines dans la diète optimisée, ce qui couvre d'emblée les besoins de tous les adultes pesant 60 kg et moins car le besoin protéique est estimé à 0,83 g/kg pour les adultes, mais pas les besoins de ceux pesant plus de 60 kg.

²⁷³ Rappelons que si les quantités de viande (52 g ou 62 g) étaient imposées dans tous les modèles, ce n'était pas le cas pour les autres produits animaux qui pouvaient théoriquement être totalement supprimés

²⁷⁴ Vieux, F., Rémond, D., Peyraud, J. L., & Darmon, N. (2022). Approximately half of total protein intake by adults must be animal-based to meet nonprotein, nutrient-based recommendations, with variations due to age and sex. *The Journal of Nutrition*, 152 (11), 2514-2525.

²⁷⁵ Seule la diète extrême (n°13/n°17) en contenait moins (40 %), mais elle n'était pas totalement adéquate sur le plan nutritionnel (teneurs les plus faibles en EPA+DHA, calcium, iodé et vitamine B2, et très fortes teneurs en phytates).

d'apports en protéines ou en acides aminés avec ces diètes modélisées car elles apportent des niveaux de protéines supérieurs aux besoins, sont diversifiées, et notamment contiennent différentes sources végétales de protéines (céréales et légumineuses)²⁷⁶.

Conscients des difficultés potentielles à respecter les recommandations d'apports en certains nutriments, nous avons assoupli certaines contraintes et/ou les avons introduites en cibles²⁷⁷.

Ainsi, pour le calcium, au lieu d'imposer la valeur recommandée française (RNP = 950 mg), cette valeur a été introduite seulement en cible, et c'est un niveau minimal de 750 mg de calcium (correspondant à l'apport recommandé par l'OMS et la FAO pour des populations dont les apports en protéines animales ne dépassent pas 40 g/j²⁷⁸ que nous avons imposé en contrainte. Au final, non seulement la contrainte de 750 mg de calcium a été dépassée quel que soit le modèle appliqué, mais même la cible de 950 mg a été dépassée dans toutes les diètes modélisées autorisant jusqu'à 3 produits laitiers (sauf la diète n°13 avec réduction de l'impact carbone de 50 %). Nous avons aussi pu vérifier a posteriori que la quantité de protéines animales était effectivement proche de 40 g²⁷⁹ dans les diètes optimisées, la diète observée en contenant 55 g.

Nous avons aussi assoupli l'exigence pour la vitamine B12, en imposant en contrainte la valeur recommandée dans les précédentes recommandations (2,4 µg/j en 2001) et en ciblant la valeur actuellement recommandée (4 µg/j). Au final, non seulement la contrainte de 2,4 µg mais même la cible de 4 µg ont été dépassées avec tous les modèles, sauf dans la diète extrême (n°13/n°17) qui contient quand même 3,5 µg de vitamine B12.

Même pour des nutriments emblématiques d'une alimentation plus animale, les apports ne seraient pas diminués par rapport à l'observé (vitamine D et zinc) ou seraient même augmentés (EPA-DHA et fer). Ce n'est cependant pas le cas pour l'iode. Comme nous savions que l'apport recommandé en iode (RNP = 150 µg) serait difficile à atteindre avec 2 produits laitiers par jour²⁸⁰, nous avons introduit cette valeur en cible et pas en contrainte. Or, tous les modèles ont entraîné une réduction des teneurs en iode, mais les teneurs étaient plus faibles dans les diètes autorisant jusqu'à 2 produits laitiers (entre 110 et 120 µg/j) que dans celles qui en autorisaient 3 (plus de 130 µg/j). Notamment, le niveau passait de 146 µg dans l'observé à 131 µg pour la diète n°10 (qui contient 3 produits laitiers) et 112 µg pour la diète n°14 (qui contient 2 produits laitiers), suggérant qu'il faudrait envisager des supplémentations ou des enrichissements en iode, au moins pour les personnes consommant peu ou pas de produits laitiers. Il est à noter que le l'item sel utilisé dans la modélisation était du sel iodé mais que cela ne suffisait pas à atteindre le niveau d'apport recommandé en iode, notamment car la consommation de sel était soumise à une contrainte maximale liée à l'apport maximal

²⁷⁶ Mariotti, F., & Gardner, C. D. (2020). Adéquation de l'apport en protéines et acides aminés dans les régimes végétariens. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 55 (2), 66-81.

²⁷⁷ Pour rappel, les contraintes doivent être obligatoirement atteintes, et les cibles doivent être atteintes du mieux possible, c'est-à-dire qu'elles peuvent ne pas être atteintes.

²⁷⁸ WHO and FAO (2004). Human Vitamin and Mineral Requirements.

<https://www.fao.org/3/y2809e/y2809e.pdf> ; voir tableau 33 page 169

²⁷⁹ Entre 37 g/j (pour le modèle n°2, avec 52 g de viande, 2 produits laitiers, et IC diminué de -35 %) et 44 g/j (pour le modèle n°7, avec 62 g de viande, 3 produits laitiers, et IC diminué de -25 %).

²⁸⁰ illot, M., & Darmon, N. (2020). Modélisation de l'impact du respect des nouvelles recommandations alimentaires françaises sur les apports nutritionnels des adultes. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 55 (1), 18-29.

recommandé en sodium. Il faudrait donc enrichir en iodé des aliments autres que le sel pour prévenir d'éventuels déficits d'apports.

Une limite commune aux modèles utilisés est que nous n'avons pas pris en compte la biodisponibilité des nutriments comme cela a pu être fait dans certaines études qui ont introduit des contraintes permettant de moduler les apports en nutriments comme le fer et le zinc en fonction de leur origine²⁸¹ et de la présence de facteurs facilitant ou au contraire limitant leur biodisponibilité (par exemple²⁸²). Les phytates sont un de ces facteurs limitants. Ce sont des composés présents notamment dans les céréales complètes, les légumineuses, les fruits à coque et le thé, et considérés comme des « anti-nutriments » (ou facteurs anti-nutritionnels) car ils limitent l'absorption intestinale, et donc la biodisponibilité et l'utilisation par l'organisme, de minéraux comme le fer, le calcium, le magnésium ou le zinc. Or, dans notre étude, la teneur en phytates a seulement été estimée en sortie des modèles mais n'a pas été prise en compte en amont pour l'établissement du niveau d'apport attendu en fer ou en zinc. Des études suggèrent aussi que la biodisponibilité de certains nutriments liposolubles (vitamine D, acides gras essentiels) peut être réduite en présence de quantités élevées de fibres, phytates, tannins et autres facteurs antinutritionnels présents dans les végétaux^{283,284}.

Le niveau de zinc dans les diètes optimisées (9,3 µg) est proche de celui de la diète observée (9,4 µg), mais il correspond tout juste à la contrainte imposée²⁸⁵, c'est-à-dire le BNM (besoin nutritionnel moyen) estimé pour un apport de phytates de 600 mg/j chez les hommes (le RNP étant égal à 11,7 µg), des apports supérieurs en phytates requérant des niveaux de zinc plus élevés. Mais les niveaux de phytates atteints dans les diètes optimisées dépassent largement 600 mg/j. En effet, alors que la diète observée n'en contient que 354 mg, ils dépassent 1000 mg dans toutes les diètes modélisées, et sont d'autant plus élevés que les diètes contiennent moins de viande et/ou moins de produits laitiers. La diète n°10 est, parmi les diètes modélisées, celle qui contient le moins de phytates, soit 1273 mg/jour (vs 1555 mg dans la diète n°14). Un tel niveau est comparable à celui des apports en phytates de personnes végétariennes²⁸⁶, mais il pourrait contribuer à l'établissement de déficits en fer et/ou zinc chez certaines personnes, notamment celles dont les besoins sont élevés et/ou les apports alimentaires totaux sont faibles (femmes en âge de procréer, femmes enceintes, personnes âgées, malades et/ou dénutries...).

Notons qu'une étude de modélisation, également basée sur les données INCA3 mais ayant pris en compte la biodisponibilité du fer et du zinc, a mis en évidence la grande difficulté (voir

²⁸¹ Notamment distinction entre fer héminique présent dans la chair animale, ou non-héminique, moins facilement absorbable, présent dans les produits végétaux

²⁸² Barre, T., Perignon, M., Gazan, R., Vieux, F., Micard, V., Amiot, M. J., & Darmon, N. (2018). Integrating nutrient bioavailability and co-production links when identifying sustainable diets: how low should we reduce meat consumption? *PLoS One*, 13(2), e0191767.

²⁸³ Margier, M., Antoine, T., Siriaco, A., Nowicki, M., Halimi, C., Maillot, M., ... & Reboul, E. (2019). The presence of pulses within a meal can alter fat-soluble vitamin bioavailability. *Molecular Nutrition & Food Research*, 63 (11), 1801323.

²⁸⁴ Antoine, T., Icard-Vernière, C., Scorrano, G., Salhi, A., Halimi, C., Georgé, S., ... & Reboul, E. (2021). Evaluation of vitamin D bioaccessibility and mineral solubility from test meals containing meat and/or cereals and/or pulses using in vitro digestion. *Food Chemistry*, 347, 128621.

²⁸⁵ La RNP de 11,7 µg, introduite en cible, n'étant jamais approchée

²⁸⁶ Schlemmer, U., Frølich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53(S2), S330-S375.

impossibilité) de couvrir les besoins estimés en ces nutriments tout en réduisant la consommation de viande rouge (riche en fer héminique facilement absorbable, et en zinc) et en augmentant celle de produits céréaliers complets (riches en phytates qui entravent l'absorption du fer et du zinc), bien que ces changements alimentaires soient reconnus pour être associés à un meilleur état de santé²⁸⁷. Dans un contexte de (bonne) végétalisation souhaitée de l'alimentation, et sachant par ailleurs que l'absorption du fer est très puissamment régulée, avec notamment une augmentation de l'absorption du fer non héminique chez les personnes à risque de carence en fer²⁸⁸, ces résultats plaident pour que les besoins en fer et en zinc et les niveaux d'apports recommandés en ces nutriments fassent l'objet d'une ré-évaluation approfondie.

Notons aussi que les effets négatifs des phytates sur l'assimilation de certains nutriments peuvent être réduits si les portions des aliments qui en contiennent sont réduites (par exemple, il pourrait être moins problématique de consommer 60 g de légumineuses chaque jour plutôt que 2 grandes portions de 200 g chacune chaque semaine). Notons également que la prise de vitamine C²⁸⁹ au cours du repas permet de diminuer les effets négatifs de la présence de phytates sur l'absorption du fer²⁹⁰, et que la consommation d'aliments riches en fibres fermentescibles et autres prébiotiques pourrait permettre une solubilité accrue du zinc et du fer²⁹¹.

Différents procédés, notamment le trempage, la germination et la fermentation, sont réputés entraîner une diminution des teneurs en phytates dans les aliments^{292,293,294}. Avec la végétalisation souhaitée de l'alimentation, via l'augmentation de la consommation de produits céréaliers complets, de légumineuses et de fruits à coque, ces solutions technologiques de réduction des teneurs en phytates et autres facteurs anti-nutritionnels devront être explorées. Il faudra toutefois prêter attention à maîtriser la perte concomitante (en particulier lors du trempage et de la cuisson) d'autres composés hydrosolubles d'intérêt, les folates en particulier (c'est-à-dire la vitamine B9) dont les légumineuses sont des sources végétales privilégiées²⁹⁵.

²⁸⁷ Dussiot, A., Fouillet, H., Wang, J., Salomé, M., Huneau, J. F., Kesse-Guyot, E., & Mariotti, F. (2022). 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*, 115 (3), 958-969.

²⁸⁸ Hallberg, L., Hultén, L., & Gramatkovski, E. (1997). Iron absorption from the whole diet in men: how effective is the regulation of iron absorption? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 66(2), 347-356.

²⁸⁹ Rappelons que les aliments les plus riches en vitamine C sont les agrumes, mais aussi les baies, les kiwis et d'autres fruits exotiques comme l'ananas ou la papaye, mais aussi les choux (consommés crus ou fermentés)

²⁹⁰ Hallberg, L., Brune, M., & Rossander, L. (1989). Iron absorption in man: ascorbic acid and dose-dependent inhibition by phytate. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 49(1), 140-144.

²⁹¹ Petroski, W., & Minich, D. M. (2020). Is there such a thing as "anti-nutrients"? A narrative review of perceived problematic plant compounds. *Nutrients*, 12 (10), 2929.

²⁹² Lestienne, I., Icard-Vernière, C., Mouquet, C., Picq, C., & Trèche, S. (2005). Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry*, 89 (3), 421-425.

²⁹³ Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2, 1-14.

²⁹⁴ Schlemmer, U., Frølich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53 (S2), S330-S375..

²⁹⁵ Antoine, T., Georgé, S., Leca, A., Desmarchelier, C., Halimi, C., Gervais, S., ... & Reboul, E. (2022). Reduction of pulse "antinutritional" content by optimizing pulse canning process is insufficient to

La suppression totale des phytates de l'alimentation n'est cependant pas souhaitable car ils possèdent aussi des propriétés intéressantes pour la santé : ils captent les métaux lourds, et pourraient contribuer à maîtriser les taux de glycémie et de lipides circulant, à limiter la formation de calculs rénaux, et ils présentent des effets antioxydants et potentiellement et anti-cancer^{296,297,298}.

La densité énergétique²⁹⁹ des diètes modélisées a diminué, ce qui était attendu car il existe une relation inverse bien documentée entre la qualité nutritionnelle de l'alimentation et sa densité énergétique³⁰⁰, du fait de la très faible densité énergétique des fruits et légumes (présents en quantité importante dans une alimentation équilibrée) et de la forte densité énergétique des produits gras salés sucrés (présents en faible quantité dans une alimentation équilibrée). Cependant, dans notre étude, la baisse de la densité énergétique était relativement modeste (de 154 kcal/100 g pour la diète observée à 145 kcal/100 g pour les diètes n°10 et n°14). Ceci s'explique par le fait que nos modélisations, au-delà de l'augmentation des fruits et légumes et de la baisse des produits gras sucrés, ont également entraîné une augmentation des légumineuses et des fruits à coque, qui sont des aliments de densité énergétique relativement élevée (surtout les fruits à coque). Ce résultat intéressera sans doute les nutritionnistes car il démontre qu'il est possible d'améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation sans en réduire drastiquement la densité énergétique. Or, les conseils diététiques habituels, et notamment la baisse de la consommation de produits gras sucrés salés et l'augmentation de la consommation de fruits et légumes, conduisent généralement à une réduction de la densité énergétique, ce qui oblige (dans des conditions isoénergétiques) à fortement augmenter la quantité d'aliments ingérés, augmentation dont l'acceptabilité est discutable. Ainsi, la diminution modérée de la densité énergétique de la diète optimisée pourrait être un argument en faveur de son acceptabilité, ceci sans nier que cette acceptabilité est par ailleurs mise à mal par les fortes augmentations de légumineuses, de produits céréaliers complets et de fruits à coques par rapport à l'alimentation habituellement consommée en France. On peut aussi faire remarquer que cette baisse modérée de la densité énergétique est aussi parfaitement logique au regard de la forte association positive entre l'impact carbone de l'alimentation et les quantités (ainsi que les calories) ingérées³⁰¹ (en d'autres termes : en moyenne, plus on mange, en quantité et en calories, et plus on impacte). Ainsi, il sera plus facile d'améliorer la durabilité de l'alimentation

improve fat-soluble vitamin bioavailability. *Food Chemistry*, 370, 131021.

²⁹⁶ Lecerf JM (2016). Le génie des légumineuses. *Pratiques en Nutrition : santé et alimentation*, 12, 36-39.

²⁹⁷ Schlemmer, U., Frølich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53 (S2), S330-S375.

²⁹⁸ Pires, S. M., Reis, R. S., Cardoso, S. M., Pezzani, R., Paredes-Osses, E., Seilkhan, A., ... & Sharifi-Rad, J. (2023). Phytates as a natural source for health promotion: A critical evaluation of clinical trials. *Frontiers in Chemistry*, 11, 1174109.

²⁹⁹ La densité énergétique a été calculée sur les aliments solides, comme recommandé dans la littérature (voir section méthodes)

³⁰⁰ Ledikwe, J. H., Blanck, H. M., Khan, L. K., Serdula, M. K., Seymour, J. D., Tohill, B. C., & Rolls, B. J. (2006). Low-energy-density diets are associated with high diet quality in adults in the United States. *Journal of the American Dietetic Association*, 106 (8), 1172-1180..

³⁰¹ Vieux, F., Darmon, N., Touazi, D., & Soler, L. G. (2012). Greenhouse gas emissions of self-selected

individual diets in France: changing the diet structure or consuming less? *Ecological economics*, 75 , 91-101.

si pour cela il n'est pas nécessaire d'augmenter de façon trop importante les quantités ingérées pour garder une alimentation nutritionnellement adéquate.

5.3.4. Traduction du PNNS en contraintes chiffrées

En dehors des contraintes sur les produits laitiers et sur la viande, qui différaient selon les modèles, toutes les contraintes alimentaires étaient les mêmes dans tous les modèles. Elles étaient basées sur les recommandations de consommation du PNNS 4³⁰², mais sans chercher forcément à imposer son respect strict, ne serait-ce que parce que certaines recommandations de consommation sont qualitatives et ont nécessité une interprétation préalable pour être introduites en contraintes chiffrées dans les modèles. Ainsi, la recommandation de privilégier les produits céréaliers complets a été interprétée comme une contrainte d'avoir plus de 50 % de produits céréaliers complets au sein de tous les produits céréaliers. Pour la recommandation de limiter les produits sucrés/gras/salés, nous ne l'avons pas traduite en contrainte imposant une quantité maximale de produits sucrés car aucune indication d'un niveau qui serait acceptable n'est donnée par le PNNS. Cependant, le respect de l'ensemble de toutes les autres contraintes s'est traduit par la réduction drastique des produits sucrés/gras/salés, d'au moins un facteur 2, ainsi que de la teneur en sucres qui est passée de 10,3 % des apports énergétiques en moyenne dans l'observé à 5 % dans la plupart des diètes modélisées, y compris les n°10 et n°14, et même à 2 % seulement dans les diètes extrêmes fortement réduites en impact carbone (voir tableau 4.23). Pour les fruits séchés, la recommandation de consommation occasionnelle a été traduite par une contrainte imposant de ne pas dépasser 15 g/j, contrainte qui a d'ailleurs été inactive car la quantité de ces aliments, extrêmement faible dans l'observé (0,5 g/j) est restée constante dans les diètes optimisées.

Alors que les contraintes sur les produits végétaux étaient toujours minimales (sauf pour les jus de fruits et les fruits séchés), nous n'avons introduit que des contraintes maximales pour les produits animaux, ce qui n'était pas forcément strictement en phase avec les recommandations du PNNS. Ainsi, alors que le PNNS n'évoque jamais les œufs dans ses recommandations, nous avons introduit un niveau maximal de 30 g/j pour ces aliments. Concernant les produits de la pêche, alors que le PNNS en recommande 2 portions par semaine dont poisson 1 gras (équivalent à 15 g de poisson gras plus 15 g de poisson non-gras chaque jour), nous avons introduit une contrainte imposant de ne pas dépasser l'équivalent de 1 poisson gras par semaine et de 1 poisson non gras par semaine (soit au maximum 15 g/j de chaque). Ainsi, les diètes modélisées auraient pu contenir moins de 15 g/j de poisson gras et/ou moins de 15 g/j de poisson non gras (c'est-à-dire moins que la quantité recommandée par le PNNS). Mais ceci n'a pas été le cas, chaque diète modélisée atteignant systématiquement les maximums autorisés (voir tableau 4.23)³⁰³, démontrant ainsi que la consommation de 2 poissons par semaine dont 1 gras est nécessaire au respect de

³⁰² Avis relatif aux objectifs de santé publique quantifiés pour la politique nutritionnelle de santé publique (PNNS) 2018-2022 9 février 2018 ; Santé Publique France 2023 ; Manger Bouger.
<https://www.mangerbouger.fr/>

³⁰³ Sauf pour les diètes extrêmes n°12 et n°13/n°17 qui ne contenaient que 17 g/j de poisson au total mais n'étaient pas parfaitement adéquates sur le plan nutritionnel.

l'ensemble des contraintes imposées aux modèles (avec un écart minimisé aux consommations existantes et en l'absence d'aliments enrichis ou de supplémentations).

De même, alors que le PNNS recommande exactement 2 portions de produits laitiers par jour (ou 3 pour certaines populations), dans nos modèles, les contraintes s'exprimaient soit comme « total produits laitiers < 2 portions (dont 1 portion de fromage max³⁰⁴) », soit comme « total produits laitiers < 3 portions (dont 1 portion de fromage max) », ce qui signifie que les modèles étaient autorisés à introduire moins de produits laitiers que ces contraintes maximales, voire même à les supprimer. Mais ceci n'a pas été le cas : le niveau maximal (2 ou 3 portions selon les modèles) a été atteint dans toutes les diètes modélisées, ce qui montre que ces quantités de produits laitiers représentaient un intérêt pour respecter l'ensemble des autres contraintes imposées (avec un écart minimisé aux consommations existantes et en l'absence d'aliments enrichis ou de supplémentations).

Concernant le choix d'avoir généré une série de modèles autorisant jusqu'à 3 portions de produits laitiers par jour alors que le PNNS n'en recommande que 2 pour les adultes, il a été motivé par le fait que le PNNS d'une part ne comptabilise pas les desserts lactés dans cette recommandation (bien qu'ils contiennent 70 % à 80 % de lait) et d'autre part n'indique pas de façon explicite le statut des produits laitiers utilisés comme ingrédients dans les plats mixtes (i.e. multi-ingrédients). D'après nos calculs, en comptabilisant les desserts lactés et les ingrédients laitiers contenus dans les plats mixtes, on arrive exactement à 3 portions de produits laitiers par jour dans la diète observée (1,33 portion de 30 g de fromage plus 1,68 portion de 125 g d'autres produits laitiers), si bien que les modèles autorisant jusqu'à 3 produits laitiers par jour reviennent à autoriser une stabilité de la consommation totale de produits laitiers. Un tel niveau de consommation pose néanmoins question du point de vue de la compatibilité avec la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En effet, dans l'ensemble des scénarios prospectifs de systèmes et régimes alimentaires durables, on constate une diminution de la consommation de produits laitiers de l'ordre de 20 à 50 % (51 % dans TYFA-GES, 21 % dans Afterres2050, 37 % dans Pulse Fiction et 21 et 28 % dans les scénarios S1 et S2 de l'ADEME). A ce titre, il serait utile de développer des recherches combinant les outils de modélisation de ces scénarios prospectifs et les méthodes de modélisation sous contraintes, notamment nutritionnelles, pour approfondir et statuer sur la question de la place des produits laitiers dans les régimes sains et durables.

³⁰⁴ Nous avons pris la décision de séparer la contrainte sur le fromage de celle sur les autres produits laitiers pour des raisons techniques : en effet, les portions de fromage (30 g) et des autres produits laitiers (125 à 150 g) étant très différentes, il est impossible de trouver un grammage commun maximum (il faudrait passer à une modélisation par portions, c'est-à-dire en nombres entiers, très contraignante et donc moins performante car il y a un plus grand risque d'avoir des modèles sans solution, ou dont la solution n'est pas optimale). Ce choix peut aussi se justifier par une recherche de diversité alimentaire. En effet, compte tenu des teneurs non négligeables du fromage en acides gras saturés et en sodium, il arrive fréquemment qu'il soit purement et simplement supprimé des diètes modélisées et remplacé par des produits laitiers frais peu gras, voire par du lait, mais de telles substitutions sont très éloignées de la réalité de la consommation de produits laitiers en France, qui fait la part belle aux fromages. Notre choix méthodologique contribue donc à prendre en compte ces habitudes alimentaires spécifiquement françaises.

5.3.5. Définition a priori du niveau de réduction de la viande et des proportions entre les différents types de viandes

De nombreuses études visant à définir des diètes plus durables avec une approche d'optimisation sous contraintes ont conduit à des diètes modélisées dans lesquelles la viande était soit totalement exclue soit dans lesquelles seule la viande de monogastriques (volaille et porc) persistait au sein des viandes³⁰⁵, et/ou encore dans lesquelles les diètes modélisées contenaient des produits laitiers mais pas de viande bovine³⁰⁶. L'éviction fréquente de la viande bovine dans les approches d'optimisation sous contraintes s'explique aisément par le fait que l'impact carbone de la viande de ruminants calculé par analyse du cycle de vie (ACV) est disproportionnément élevé par rapport à celui des autres viandes, et encore plus par rapport au lait et aux produits laitiers. Or, ces modélisations sont basées sur des valeurs d'impact environnemental calculées par ACV, comme c'est le cas dans la base Agribalyse. Parmi les limites de l'ACV, il faut noter qu'elle ne tient pas compte du fait que certains modes d'élevage bovin entrent moins en compétition avec l'alimentation humaine que l'élevage de volaille ou de porc (car les ruminants peuvent valoriser des ressources non consommables par l'homme et peuvent utiliser des surfaces non cultivables).

C'est le cas des systèmes herbagers en particulier, grâce à l'autonomie alimentaire du bétail, qui contribuent également à la préservation de la biodiversité et au stockage du carbone par les prairies et le bocage. De plus, la possibilité que les produits laitiers persistent dans des diètes modélisées dans lesquelles la viande bovine a été supprimée s'explique par une allocation des impacts environnementaux entre la viande bovine et le lait qui est très largement favorable au lait et en défaveur de la viande. Mais cette allocation reflète les pratiques actuelles d'élevage et de consommation de viande et de lait, et pourrait donc évoluer avec une évolution de ces pratiques³⁰⁷.

Des modélisations préliminaires à la présente étude dans lesquelles aucune contrainte a priori n'avait été introduite sur la viande (si ce n'est les contraintes liées au PNNS : 500 g maximum de viande rouge par semaine et 150 g maximum de charcuterie par semaine) ont également conduit à une suppression de plusieurs catégories d'aliments au premier rang desquelles la viande bovine, alors que les produits laitiers persistaient voire augmentaient, et que d'autres catégories comme les œufs et la volaille augmentaient de façon disproportionnée (résultats non montrés dans ce rapport). Clairement, l'acceptabilité économique, sociale, culturelle et le réalisme de telles diètes n'étaient pas au rendez-vous. Compte tenu de ces résultats préliminaires instructifs et des limites de l'ACV, notamment concernant les produits animaux, nous avons décidé de fixer a priori les quantités des différents types de viandes à introduire

³⁰⁵ Dussiot, A., Fouillet, H., Perraud, E., Salomé, M., Huneau, J. F., Mariotti, F., & Kesse-Guyot, E. (2023). How to best reshape diets to be healthier with lower or no ruminant meat, and implications for environmental pressures. *Journal of Cleaner Production*, 137600.

³⁰⁶ Kesse-Guyot, E., Pointereau, P., Brunin, J., Perraud, E., Toujgani, H., Berthy, F., ... & Fouillet, H. (2023). Trade-offs between water use and greenhouse gas emissions related to food systems: an optimization study in French adults. *medRxiv*, 2023-03.

³⁰⁷ Notamment dans les scénarios de transition vers des systèmes agro-écologiques, il y a beaucoup moins d'élevages de vaches allaitantes et beaucoup plus d'élevages de races mixtes, donc beaucoup moins de production de viande et plus de production de lait relativement, ce qui conduirait à des valeurs d'impact carbone plus importantes qu'aujourd'hui pour le lait et ses dérivés et moins importantes qu'aujourd'hui pour la viande bovine.

dans les diètes modélisées, plutôt que de laisser l'optimisation en décider (voir section 3.3.2.b et tableau 4.5).

Ainsi, en accord avec les multiples scénarios prospectifs de systèmes et régimes alimentaires durables (voir partie 2), nous avons décidé d'imposer une division par 2 de la viande (incluant toutes les formes de viande et de charcuterie) par rapport à la consommation moyenne observée. De plus, en parallèle de cette division par 2, nous avons aussi modifié un peu les équilibres entre les différents types de viande, en vue notamment de respecter deux recommandations du PNNS (privilégier la volaille plutôt que la viande hors-volaille, privilégier le jambon blanc plutôt que les autres charcuteries), comme indiqué dans la section méthodes de cette étude.

Il est important de comprendre que, contrairement à de nombreuses autres études, les décisions aboutissant aux quantités totales et respectives des différentes formes de viande dans les diètes modélisées ont été prises *a priori* et ne sont pas imputables à l'optimisation elle-même. D'autres décisions auraient abouti à d'autres quantités totales et respectives de viandes, et ces valeurs ne sont donc pas à prendre au pied de la lettre, d'autant plus que les rapports entre les consommations des différents types de viandes pourraient être différents si les modes de production évoluaient.

Ce choix d'imposer des réductions *a priori* des différents types de viande visait à aboutir à des recommandations faciles à communiquer sur la faisabilité de consommer deux fois moins de viande, tout en favorisant l'équilibre et la diversité entre les viandes issues de différentes espèces animales, et ceci tout autant pour des raisons culturelles, que nutritionnelles, économiques, et environnementales. Cela aurait été en effet hautement problématique d'aboutir à une diète excluant complètement la viande bovine. Si cela permettrait en effet de réduire drastiquement les émissions de méthane liées à notre alimentation, cela serait en contradiction avec l'impératif de préserver les prairies permanentes (facteurs de stockage du carbone et de biodiversité), avec l'urgence d'accompagner les éleveurs vers des modèles durables et viables, et avec la place qu'occupe l'élevage bovin dans la culture, l'économie et les paysages de la France.

5.3.6. Changements alimentaires importants par rapport à l'existant : les diètes modélisées sont-elles acceptables et sont-elles abordables ?

Les changements induits par l'optimisation par rapport à la diète observée sont assez radicaux et pourraient donc être difficiles à mettre en œuvre. Ainsi, dans la diète n°10, qui est pourtant la plus proche de la diète observée, pour réduire la viande de moitié tout en atteignant l'adéquation nutritionnelle et en réduisant l'impact carbone de 35 % (sans dégrader les autres impacts), des augmentations très importantes de produits végétaux se sont avérées nécessaires : les fruits et légumes ont été multipliés par 1,7, les légumineuses et le pain complet chacun par 8 (le pain blanc ayant été supprimé), et les fruits à coques par 12. Pour les légumineuses, le pain complet et les fruits à coques, ces facteurs multiplicatifs semblent énormes, mais ils reflètent simplement le fait que ces aliments sont très peu, voire pas consommés : dans la population adulte de INCA3, les consommations s'élèvent en moyenne à 8 g/j, 16,2 g/j et 2,4 g/j pour les légumineuses, le pain complet et les fruits à coques, respectivement. Il s'agirait donc d'introduire (plutôt que d'augmenter) ces aliments, avec une

consommation quotidienne de 65 g/j, 136 g/j et 29 g/j pour les légumineuses, le pain complet et les fruits à coque, respectivement.

Il est important de reconnaître que l'acceptabilité et la désirabilité sont des constructions sociales et culturelles qui évoluent dans le temps, et qui peuvent être influencées par des campagnes de communication et des actions de prévention visant à modifier favorablement les choix alimentaires. Des études sur la façon de rendre désirables certaines catégories d'aliments, comme les légumineuses, sont bienvenues pour que les acteurs des systèmes alimentaires (pouvoirs publics, restaurateurs, distributeurs, industriels de l'agroalimentaire, etc.) agissent de manière à rendre désirable et normale la consommation accrue et fréquente de fruits à coque et de plats à base de légumineuses et de céréales complètes. C'est d'ailleurs l'objet de travaux de recherche à l'INRAE de Dijon qui mettent l'accent sur le levier de la réduction de la portion de viande, plutôt que sur celui de la substitution d'un aliment carné par un aliment végétal³⁰⁸. Améliorer les connaissances est nécessaire, mais ne suffit pas à augmenter les consommations de légumineuses. Il est important que l'offre proposée aux adultes comme aux enfants dans différents contextes de consommation (restauration collective, restauration commerciale, grandes surfaces...) soit attractive et innovante, et que les représentations changent à la fois vis-à-vis des légumineuses, qui sont encore trop souvent regardées comme réservées aux végétariens, et aussi vis-à-vis de la viande, considérée comme l'élément central du repas^{309,310}. Au contraire, il faudrait que la viande puisse être envisagée comme optionnelle et que les plats à base de légumineuses deviennent des aliments « pour tout le monde ».

On peut aussi se poser la question de l'acceptabilité de la réduction de la consommation de viande. En effet, si la majorité des Français (57 % en 2023) déclarent l'avoir réduite sur les 3 dernières années, la consommation de viande par habitant est en légère hausse depuis une dizaine d'années. Ce décalage résulte de plusieurs facteurs, comme la tendance à sous-estimer la viande consommée hors du domicile et/ou dans des plats produits transformées (sandwiches, pizzas, etc.), mais aussi par un biais de désirabilité sociale (on sait que « cela fait bien » de dire qu'on consomme moins de viande). Ce décalage témoignerait également d'une mutation des aspirations des Français et de l'émergence de nouvelles normes sociales dans le sens d'une alimentation moins carnée³¹¹. Ainsi, si seulement 24 % des Français se déclarent « flexitariens » et affirment limiter volontairement leur consommation de viande³¹²,

³⁰⁸ Poquet, D., Chambaron-Ginhac, S., Issanchou, S., & Monnery-Patris, S. (2017). Interroger les représentations sociales afin d'identifier des leviers en faveur d'un rééquilibrage entre protéines animales et végétales: approche psychosociale. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52 (4), 193-201.

³⁰⁹ Melendrez-Ruiz, J., Chambaron, S., Buatois, Q., Monnery-Patris, S., & Arvisenet, G. (2019). A central place for meat, but what about pulses? Studying French consumers' representations of main dish structure, using an indirect approach. *Food Research International*, 123, 790-800.

³¹⁰ Melendrez-Ruiz, J., Buatois, Q., Chambaron, S., Monnery-Patris, S., & Arvisenet, G. (2019). French consumers know the benefits of pulses, but do not choose them: An exploratory study combining indirect and direct approaches. *Appetite*, 141, 104311.

³¹¹ Céline Laisney, Les Français consomment-ils vraiment moins de viande ?, article pour Strip Food, 11 avril 2023. URL : <https://www.stripfood.fr/les-francais-consomment-ils-vraiment-moins-de-viande/>

³¹² Végétariens et flexitariens en France en 2020, Enquête IFOP pour FranceAgriMer, mai 2021. <https://www.franceagrimer.fr/Actualite/Etablissement/2021/VEGETARIENS-ET-FLEXITARIENS-EN-FRANCE-EN-2020>

ils sont 49 % à souhaiter « manger davantage flexitarien » (au sens de réduire fortement leur consommation de chair animale et de viande en particulier)³¹³.

Grâce aux contraintes imposant le respect des recommandations d'apports en nutriments et des recommandations actuelles de consommation alimentaire, la végétalisation opérée par les modèles peut être qualifiée de « bonne végétalisation ». En effet, les fruits et légumes, les produits céréaliers complets, les légumineuses et les fruits à coques ont été augmentés alors que des végétaux de moins bonne qualité nutritionnelle comme les produits céréaliers raffinés ont été diminués³¹⁴, et que des produits transformés à partir d'ingrédients végétaux, mais de mauvaise qualité nutritionnelle, ont été considérablement réduits. Ainsi, les produits gras, sucrés et/ou salés (totalement ou majoritairement fabriqués à base d'ingrédients végétaux raffinés comme la farine, le sucre et les huiles végétales) ont été diminués par plus d'un facteur deux, et les snacks (dont beaucoup sont à base végétale) ont été d'emblée supprimés car ils faisaient partie de la catégorie « plats mixtes » (items exclus des variables de décision des modèles). Il faut rappeler ici que si une « bonne végétalisation » est associée à un meilleur état de santé, et notamment à un meilleur contrôle du poids corporel, ce n'est pas le cas pour la « mauvaise végétalisation »³¹⁵.

Par ailleurs, une étude récente, basée sur les données de l'enquête INCA3, a mis en évidence une hétérogénéité socio-économique dans ces relations. Ainsi, chez les personnes de faible statut socio-économique, une consommation réduite de viande est associée à une corpulence plus élevée et à une plus grande consommation d'aliments ultra-transformés, de boissons sucrées et de sucre, alors qu'elle est associée à une moindre corpulence et à un meilleur équilibre nutritionnel chez les personnes de fort statut socio-économique (qu'il soit mesuré par le niveau d'éducation, le revenu, le statut socio-professionnel, ou la perception d'une sécurité financière)³¹⁶. Ceci pourrait être expliqué en partie par la familiarité, la praticité et/ou le faible coût des produits céréaliers raffinés, des snacks et des produits gras, sucrés et/ou salés, par rapport aux produits végétaux « de qualité »³¹⁷. Ce point est particulièrement important à prendre en compte dans la conception de campagnes visant à promouvoir la végétalisation auprès du grand public. Il s'agit de veiller à ce que ce type de campagnes n'augmente pas les inégalités sociales en matière d'alimentation et de santé, ce qui serait inévitablement le cas si les moins aisés remplaçaient la viande par des produits de qualité nutritionnelle médiocre. Il est donc tout aussi important d'évaluer l'impact de mesures visant à végétaliser l'alimentation dans différents contextes de consommation, que d'évaluer la différenciation sociale potentielle d'un tel impact.

³¹³ Baromètre « les Français, l'agriculture et l'alimentation » – 2ème édition, Enquête Opinion Way pour Calif, février 2023. URL : <https://www.opinion-way.com/fr/sondage-d-opinion/sondages-publies/opinionway-pour-calif-les-francais-l-agriculture-et-l-alimentation-fevrier-2023/download.html>

³¹⁴ Pour rappel, les produits céréaliers raffinés, qui représentaient 90 % de l'ensemble des produits céréaliers dans la diète observée, ont été réduits à un tiers des produits céréaliers dans les diètes modélisées n°10 et n°14.

³¹⁵ Satija, A., Malik, V., Rimm, E. B., Sacks, F., Willett, W., & Hu, F. B. (2019). Changes in intake of plant-based diets and weight change: results from 3 prospective cohort studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 110(3), 574-582.

³¹⁶ Levasseur, P., Mariotti, F., Denis, I., & Davidenko, O. (2024). Potential unexpected effects of meat reduction in diet: Could educational attainment influence meat substitution strategies?. *Agricultural and Food Economics*, 12(1), 4.

³¹⁷ 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. *Nutrition reviews*, 73(10), 643-660.

Comparaison de nos résultats avec l'analyse de durabilité des recommandations du PNNS dans l'étude Nutrinet-Santé

Les consommations des personnes qui consomment peu ou pas de viande, même si ces personnes sont peu nombreuses, sont intéressantes à étudier. A cet égard, il nous a semblé instructif de comparer nos résultats avec ceux d'une étude basée sur les données de la cohorte Nutrinet-Santé qui comporte proportionnellement plus de végétariens et de flexitariens que la population générale. C'est l'objet de cet encadré de comparer certains aspects de cette étude avec nos modélisations.

Dans la cohorte Nutrinet-Santé, qui porte sur des volontaires sains engagés au long cours dans une cohorte sur l'alimentation et la santé, une étude a montré que les 20 % d'adultes les plus en phase avec les recommandations du PNNS 4 (cinquième quintile d'un score appelé PNNS-GS2), ne consomment que 55 g de viandes (toutes confondues y compris la charcuterie, mais en dehors de la viande comprise dans les fast foods)³¹⁸, ce qui correspond au niveau atteint dans les diètes modélisées du présent rapport³¹⁹. Comme attendu, compte tenu de la faible consommation de viande, les impacts environnementaux de l'alimentation de ces Nutrinautes sont très faibles (réduction de moitié de l'impact carbone par rapport aux personnes situées dans le premier quintile du score PNNS-GS2, après ajustement pour les apports énergétiques qui sont beaucoup plus faibles dans le 5^e quintile : 1629 kcal vs 2523 kcal dans Q5 vs Q1, respectivement). La qualité nutritionnelle était meilleure pour Q5 que dans les autres quintiles, sans toutefois que l'adéquation nutritionnelle parfaite ne soit garantie puisqu'il s'agit d'une étude d'observation. Il peut être intéressant de comparer les spécificités des consommations alimentaires de ces personnes du 5^e quintile à celles de nos diètes modélisées. Alors que dans notre étude, la diminution de la viande par deux s'accompagnait d'une augmentation modérée de fruits et légumes (537 g/j dans la diète n°10) et d'une très forte augmentation des produits céréaliers complets (137 g/j), des légumineuses (67 g/j) et des fruits à coques (29 g/j), chez les Nutrinautes du 5^e quintile du score PNNS-GS2, pour une quantité de viande du même ordre de grandeur, la consommation de fruits et légumes était très élevée (812 g de fruits et légumes pour 1629 kcal ce qui correspondrait à 1kg pour 2009 kcal, le niveau calorique de nos diètes modélisées), et celle des produits céréaliers complets (68 g pour 1629 kcal) et des légumineuses (24 g pour 1629 kcal) était plus modérée, la consommation de fruits à coque n'étant pas rapportée, mais celle de produits à base de soja atteignant 68 g. On peut supposer que la diète des Nutrinautes du 5^e quintile du score PNNS-GS2 est plus acceptable puisqu'elle est pratiquée par 20 % de cet échantillon de volontaires alors que la diète n°10 est purement théorique.

Neanmoins, les Nutrinautes sont une population particulière : ils sont très concernés par leur santé et leur alimentation et avec un niveau socioéconomique plus élevé que celui de la population générale (ceux du 5^e quintile étant les plus aisés et les plus éduqués au sein même

³¹⁸ Kesse-Guyot, E., Chaltiel, D., Wang, J., Pointereau, P., Langevin, B., Allès, B., ... & Hercberg, S. (2020). Sustainability analysis of French dietary guidelines using multiple criteria. *Nature Sustainability*, 3(5), 377-385.

³¹⁹ Les personnes situées dans ce 5ème quintile ne consomment que 1629 kcal par jour, si on ajustait leur consommation calorique à la quantité de calories de nos diètes modélisées (2009 kcal), cela ferait une quantité de viande de 67 g, toujours du même ordre de grandeur que les niveaux de viande atteints dans les diètes modélisées (52 g ou 62 g selon les modèles).

de la population des Nutrinautes). D'ailleurs, le coût de la diète des personnes du 5^e quintile était de 14 % supérieur à celui de la diète des personnes du 1^{er} quintile, alors que nos modélisations s'accompagnaient au contraire d'une réduction du coût estimé de la diète (-10 %). Même si dans les deux études les données concernant le coût sont fragiles compte tenu de leur ancienneté et de la forte inflation sur les prix alimentaires au cours des 2 dernières années, ces différences sont assez cohérentes. En effet, les fruits et légumes sont, avec la viande, les aliments les plus chers de notre alimentation, et il est très logique que les quantités très élevées de ces aliments dans l'alimentation des Nutrinautes du 5^e quintile soit associées à un coût journalier plus élevé, ce qui ne serait pas acceptable pour des personnes issues des classes moyennes ou pauvres de la société. Ainsi, le pattern identifié par modélisation pourrait être paradoxalement plus acceptable, car plus abordable, bien que purement théorique. De plus, le prix des fruits et légumes a proportionnellement été plus touché par l'inflation que celui des produits céréaliers et des légumineuses, ces derniers ayant enregistré une très faible augmentation de coût ces deux dernières années.

Enfin, l'impact eau ne faisait pas partie des variables environnementales étudiées dans cette étude tirée de Nutrinet mais on peut supposer qu'il était élevé car l'impact eau de l'alimentation augmente fortement avec l'augmentation de la consommation de fruits et légumes³²⁰. Le fait que seul l'impact eau n'était pas amélioré (réduit) dans nos modèles alors que tous les autres diminuaient (alors que nous avions simplement imposé à nos modèles de ne pas dégrader les impacts environnementaux autres que l'impact carbone), indique que c'était une contrainte forte des modèles, et qu'elle est susceptible d'expliquer en partie les changements induits par l'optimisation, en particulier l'augmentation relativement modérée des fruits et légumes (et notamment des fruits dont l'impact eau est encore plus important que celui des légumes).

5.3.7. Choix de non-recours aux « alternatives végétales », aux produits enrichis, et aux suppléments, et de non introduction de « nouveaux aliments »

Les résultats de nos modélisations confirment ceux d'une étude espagnole récente, qui a montré qu'il est possible d'avoir une alimentation plus végétale, nutritionnellement adéquate, à impact environnemental et coût réduits, sans avoir recours à des « alternatives végétales » aux produits animaux³²¹ (au sens de produits transformés à base d'aliments végétaux qui imitent l'apparence, la texture et/ou le goût de la viande ou des produits laitiers).

Dans nos modélisations, nous nous sommes d'emblée situés dans la situation la plus complexe à résoudre sur le plan nutritionnel, puisque nous avons interdit l'introduction ou l'augmentation des produits enrichis en vitamines et/ou minéraux, y compris les alternatives végétales aux produits animaux. Nous n'avons pas non plus autorisé le recours à des suppléments vitaminiques ou minéraux, ou à des extraits végétaux ou animaux (comme les huiles de poisson), ni à des aliments ou ingrédients très peu consommés comme les algues ou les insectes, bien que tous ces produits puissent revendiquer un intérêt nutritionnel

³²⁰ Komati, N., Vieux, F., Maillet, M., Darmon, N., Calvarin, J., Lecerf, J. M., ... & Tailliez, D. (2023). Environmental impact and nutritional quality of adult diet in France based on fruit and vegetable intakes. *European Journal of Nutrition*, 1-13.

³²¹ Muñoz-Martínez, J., Elías, R. A., Batlle-Bayer, L., Cussó-Parcerisas, I., & Carrillo-Álvarez, E. (2023). Optimizing sustainable, affordable and healthy diets and estimating the impact of plant-based substitutes to milk and meat: A case study in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 424, 138775.

spécifique. *Notre présupposé était que si les exigences nutritionnelles peuvent être couvertes sans ces produits, alors il serait encore plus facile de les atteindre en les autorisant.*

La catégorisation initiale comportait 3 items représentant les alternatives végétales aux produits animaux mais ces items avaient un très faible nombre de consommateurs (moins de 5 % dans l'étude INCA3 conduite en 2015), rendant difficile l'estimation des quantités qui seraient acceptables par la population générale. De plus, l'offre de ces produits a beaucoup évolué depuis 2015, si bien que les compositions nutritionnelles et les impacts environnementaux associés aux alternatives végétales présentes dans les bases CIQUAL et Agribalyse ne sont pas représentatives du marché actuel de ces produits.

L'accès à des aliments enrichis en vitamines et minéraux (et éventuellement en fibres et acides gras essentiels) facilite généralement l'atteinte de l'adéquation nutritionnelle par les modèles. C'est le cas quand l'enrichissement concerne des nutriments dits « limitants », c'est-à-dire ceux dont les besoins sont les plus difficiles à couvrir compte tenu de l'offre alimentaire disponible et des habitudes de consommation dans une population donnée. Concernant les alternatives végétales aux produits animaux, leur intérêt nutritionnel semble résider essentiellement dans le fait qu'ils soient enrichis. Ainsi, dans une étude destinée à étudier la place des alternatives végétales aux produits laitiers dans une alimentation plus durable (i.e., nutritionnellement adéquate et avec une impact carbone réduit de 30 %), ces produits perdaient tout leur intérêt (i.e., ils n'étaient pas sélectionnés par la modélisation) dans un scénario faisant l'hypothèse qu'ils n'étaient pas enrichis³²². Concernant les alternatives végétales à la viande, il convient tout particulièrement de veiller à ce qu'elles soient suffisamment enrichies en fer et en zinc³²³, ce qui n'est pas toujours le cas dans l'offre actuelle.

Les alternatives végétales aux produits animaux sont souvent des produits considérés comme « ultra-transformés » au titre de la classification NOVA. Or le PNNS recommande de réduire la consommation des produits « ultra-transformés ». Plusieurs études dont une étude française ont montré que les végétariens consomment significativement plus de produits « ultra-transformés » que le reste de la population³²⁴. Savoir si cela pourrait réduire l'avantage santé généralement associé à la consommation d'une alimentation végétarienne est encore sujet à débat. Notamment, une étude épidémiologique récente sur les liens entre la consommation d'aliments « ultra-transformés » et le risque de cancer et de maladies cardiovasculaires suggère que ce sont uniquement les produits « ultra-transformés » carnés et les boissons sucrées qui posent problème, et pas les autres produits « ultra-transformés », tels que les alternatives végétales aux produits animaux³²⁵.

³²² Gazan, R., Vieux, F., Lluch, A., De Vriese, S., Trotin, B., & Darmon, N. (2022). Individual diet optimization in French adults shows that plant-based “dairy-like” products may complement dairy in sustainable diets. *Sustainability*, 14(5), 2817.

³²³ Salomé, M., Mariotti, F., Dussiot, A., Kesse-Guyot, E., Huneau, J. F., & Fouillet, H. (2023). Plant-based meat substitutes are useful for healthier dietary patterns when adequately formulated—an optimization study in French adults (INCA3). *European Journal of Nutrition*, 62(4), 1891-1901.

³²⁴ Gehring, J., Touvier, M., Baudry, J., Julia, C., Buscail, C., Srour, B., ... & Allès, B. (2021). Consumption of ultra-processed foods by pesco-vegetarians, vegetarians, and vegans: associations with duration and age at diet initiation. *The Journal of Nutrition*, 151(1), 120-131.

³²⁵ Cordova, R., Viallon, V., Fontvieille, E., Peruchet-Noray, L., Jansana, A., Wagner, K. H., ... & Freisling, H. (2023). Consumption of ultra-processed foods and risk of multimorbidity of cancer and cardiometabolic diseases: a multinational cohort study. *The Lancet Regional Health—Europe*, 35.1.

Dans une revue sur l'intérêt des alternatives végétales à la viande, les auteurs concluent que ces produits peuvent aider à végétaliser l'alimentation sans compromettre sa qualité nutritionnelle, en l'améliorant même sur certains aspects³²⁶. L'analyse suggère que le recours à ces alternatives végétales pourrait être plus acceptable (par rapport à l'augmentation de la consommation de légumineuses peu ou pas transformées) du fait de leur praticité et de leur ressemblance avec des produits animaux, mais alerte sur le fait que l'offre actuelle de ces produits est caractérisée par un recours fréquent à l'« ultra-transformation », par un coût relativement élevé, et par une grande variabilité de leurs compositions nutritionnelles. Il est donc important d'envisager la conception d'alternatives végétales plus adéquates sur le plan nutritionnel limitant le recours à des procédés, additifs et ingrédients marqueurs d'« ultra-transformation ». Des approches basées sur l'optimisation de la formulation et des procédés de transformation de ces produits pourraient constituer une solution pour améliorer leur capacité à faciliter la transition vers des diètes plus durables³²⁷, en limitant peut-être l'ampleur des changements alimentaires nécessaires. Ceci est d'ailleurs à rapprocher du levier déjà évoqué (paragraphe 5.3.3.) de procédés de transformation permettant de réduire la teneur en facteurs anti-nutritionnels (notamment les phytates) lors de la conception de produits végétaux à base de produits céréaliers complets, légumineuses et/ou fruits à coque.

Les résultats de nos modélisations peuvent être rapprochés de ceux d'une étude récente, dans laquelle une approche d'optimisation sous contraintes a également été utilisée pour concevoir des diètes plus durables à partir de la diète consommée en moyenne par les adultes de INCA3³²⁸. Comme dans nos modèles, les contraintes visaient à assurer l'adéquation nutritionnelle et le respect des recommandations de consommation du PNNS tout en réduisant l'impact environnemental des diètes. Plusieurs scénarios ont été testés selon la force respective de contraintes visant à réduire l'impact carbone et l'impact eau des diètes modélisées, ce qui constitue une différence avec notre étude, qui se contentait de réduire l'impact carbone sans dégrader les autres impacts environnementaux considérés, dont l'impact eau. Une autre différence avec nos modèles était que l'accès aux alternatives végétales était autorisé. Or, les quantités de ces alternatives ont été augmentées de façon très importante dans toutes les diètes modélisées dans cette étude. La modélisation induisait aussi une suppression de tous les liquides (boissons sucrées, boissons alcoolisées, boissons chaudes, jus, soupes...) et le retrait de toutes les viandes³²⁹. En particulier, la diète modélisée qui présentait le meilleur compromis entre réduction de l'impact carbone (-50 %) et réduction de l'impact eau (-30 %) contenait 400 g/j d'alternatives végétales, 200 g/j de légumineuses, 200 g/j de légumes, 200 g/j de fruits, 10 g/j de fruits à coques ainsi que de faibles quantité de produits céréaliers complets (50 g/j) et de pommes de terre (20 g/j). De façon intéressante,

³²⁶ Messina, M., Duncan, A. M., Glenn, A. J., & Mariotti, F. (2023). Plant-based meat alternatives can help facilitate and maintain a lower animal to plant protein intake ratio. *Advances in Nutrition*. 14: 392-405.

³²⁷ Salomé, M., Mariotti, F., Nicaud, M. C., Dussiot, A., Kesse-Guyot, E., Maillard, M. N., ... & Fouillet, H. (2022). The potential effects of meat substitution on diet quality could be high if meat substitutes are optimized for nutritional composition—a modeling study in French adults (INCA3). *European Journal of Nutrition*, 61(4), 1991-2002.

³²⁸ Kesse-Guyot, E., Pointereau, P., Brunin, J., Perraud, E., Toujani, H., Berthy, F., ... & Fouillet, H. (2023). Trade-offs between water use and greenhouse gas emissions related to food systems: an optimization study in French adults. *medRxiv*, 2023-03.

³²⁹ Cette éviction de la chair d'animaux terrestres était accompagnée d'une augmentation des quantités d'abats et de graisses animales et de produits laitiers, un pattern dont la faisabilité au niveau de l'amont agricole peut être questionnée.

malgré ces quantités élevées de produits végétaux, et tout particulièrement d'alternatives végétales, cette diète n'était ni végétalienne ni même végétarienne car elle contenait aussi 300 g/j de produits laitiers, 30 g/j de poisson, 40 g/j d'œuf, 10 g/j d'abats et 40 g/j de matières grasses animales.

Ainsi, le recours aux alternatives végétales aux produits animaux permet de concevoir des diètes quasi-exclusivement végétales qui sont malgré tout nutritionnellement adéquates grâce à l'enrichissement de ces produits en plusieurs nutriments dont les apports sont problématiques en l'absence de la consommation de produits animaux (zinc, fer, calcium, iodé, vitamines B2, B6, B12, D, acides gras oméga-3 à longues chaînes). Une étude récente (basée sur une approche d'optimisation sous contraintes à partir des données de l'étude Nutrinet) a montré qu'il était possible d'atteindre l'adéquation nutritionnelle tout en augmentant jusqu'à 95 % la part calorique apportée par les produits végétaux (vs 64 % dans la diète moyenne observée), avec notamment une forte augmentation des quantités de produits à base de soja (de 25 g/j à 175 g/j), dont on peut supposer qu'ils sont enrichis, au moins pour une partie d'entre eux, bien que cela ne soit pas précisé dans cette publication^{330,331}. Néanmoins, les auteurs attirent l'attention sur l'augmentation de l'exposition aux résidus de pesticides dans le cas où cette végétalisation est basée sur le recours à des productions conventionnelles, ce qui nécessiterait alors une substitution par des produits issus de l'agriculture biologique.

5.3.8. Quelle faisabilité, quel réalisme en termes de productions agricoles ?

Quelle que soit la méthode utilisée, une limite majeure des études quantitatives sur les régimes alimentaires sains et durables est qu'elles ciblent les modes de consommation alimentaire (c'est-à-dire la demande alimentaire) sans prendre en compte la dynamique des systèmes alimentaires (c'est-à-dire les synergies et les antagonismes entre la demande et l'offre), notamment les capacités de production agricole d'une région donnée et la manière dont les aliments sont produits, transformés, transportés et stockés, ou encore la gestion des déchets. En particulier, contrairement à ce qui est généralement supposé dans les études d'optimisation nutritionnelle sur l'alimentation durable, les aliments ne sont pas indépendants les uns des autres car la production d'un type d'aliment peut dépendre de la production d'un autre (par exemple, la quantité de viande produite dépend du mode de production mais aussi en partie de la quantité de lait produite et de la valorisation de la viande issue du troupeau laitier). Seules quelques-unes de ces études ont tenté de prendre en compte le fait que certains aliments, notamment ceux d'origine animale comme le lait de vache et la viande

³³⁰ Kesse-Guyot, E., Allès, B., Brunin, J., Langevin, B., Fouillet, H., Dussiot, A., ... & Baudry, J. (2023). Environmental pressures and pesticide exposure associated with an increase in the share of plant-based foods in the diet. *Scientific Reports*, 13(1), 19317.

³³¹ Les autres changements induits par cette modélisation étaient en phase avec nos résultats, à savoir une forte augmentation des quantités de produits céréaliers complets (200 g/j), de légumineuses (65 g/j) et de fruits oléagineux (30 g/j), ainsi qu'une très forte augmentation des fruits et légumes (>800 g/j).

bovine, ou le foie et la viande d'un même animal, sont coproduits^{332,333}. Pour aller plus loin dans cette direction, il faut pouvoir modéliser plus largement le lien entre production agricole et consommation alimentaire³³⁴. Il est nécessaire pour cela de collecter un nouveau type de données liées à l'amont agricole (capacités de production des différents aliments, liens de co-productions entre aliments, traduction des rendements agricoles en quantités consommables par l'homme, etc.).

Une difficulté de l'implémentation de ce type de données dans une approche d'optimisation sous contraintes comme celle mise en œuvre dans la présente étude est qu'il faudrait idéalement les collecter pour l'ensemble des items constitutifs de la diète (i.e. les variables décisionnelles des modèles). En d'autres termes, la définition de systèmes alimentaires plus durables pourrait être facilitée par l'utilisation de l'optimisation sous contraintes, mais il faudra être en capacité de prendre en compte les contraintes liées à l'amont agricole et à l'aspect systémique des productions agro-alimentaires, en considérant que les capacités de production ne sont pas totalement modulables.

5.4. Quelques forces de l'étude

En conclusion de cette discussion, nous pouvons souligner quelques forces de la présente étude de modélisation. Tout d'abord, les modélisations mises en œuvre ont utilisé une approche multicritère qui permet la prise en compte simultanée de nombreuses exigences et l'identification de plusieurs changements conjoints. Cette approche globale est indispensable car le concept même d'alimentation saine et durable est plurifactoriel. D'ailleurs, plusieurs études, françaises notamment, montrent que l'implémentation d'un seul changement, comme par exemple consommer 2 portions de légumineuses par semaine à la place de 2 portions de viande³³⁵ ou encore remplacer la viande et les produits laitiers par des alternatives végétales³³⁶, ne suffirait pas à améliorer la qualité nutritionnelle des diètes, et pourrait même la dégrader par certains aspects. Pour un bénéfice nutritionnel optimal, c'est un changement global des habitudes de consommation alimentaire qu'il s'agit d'adopter, plus végétal et plus diversifié, en d'autres termes il s'agit d'adopter une « bonne végétalisation » (voir section 5.3.6).

De plus, même si sur le plan environnemental, notre premier objectif était la réduction de l'impact carbone, nos modèles ont conduit à des diètes dont les autres impacts environnementaux étaient également diminués et dans lequel l'usage de l'eau n'était pas

³³² Barre, T., Perignon, M., Gazan, R., Vieux, F., Micard, V., Amiot, M. J., & Darmon, N. (2018). Integrating nutrient bioavailability and co-production links when identifying sustainable diets: how low should we reduce meat consumption?. *PLoS One*, 13(2), e0191767.

³³³ Dussiot, A., Fouillet, H., Perraud, E., Salomé, M., Huneau, J. F., Mariotti, F., & Kesse-Guyot, E. (2023). Dietary means to reduce and remove ruminant meat in healthy and nutrient adequate diets and final alignment with lower environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137600.

³³⁴ Comme le font les scénarios réalisés par l'ADEME, par Solagro et par l'IDDR, dont les résultats sont présentés dans la partie 2 de ce rapport.

³³⁵ Gazan, R., Maillot, M., Reboul, E., & Darmon, N. (2021). Pulses twice a week in replacement of meat modestly increases diet sustainability. *Nutrients*, 13(9), 3059.

³³⁶ Salomé, M., Huneau, J. F., Le Baron, C., Kesse-Guyot, E., Fouillet, H., & Mariotti, F. (2021). Substituting meat or dairy products with plant-based substitutes has small and heterogeneous effects on diet quality and nutrient security: a simulation study in French adults (INCA3). *The Journal of Nutrition*, 151(8), 2435-2445.

augmenté (grâce aux contraintes imposant la non-dégradation des impacts environnementaux autres que l'impact carbone). Or, on peut supposer que les études d'optimisation qui ont imposé une contrainte de réduction de l'impact carbone sans aucune contrainte sur la métrique eau³³⁷ ont en fait conduit à des diètes plus gourmandes en eau³³⁸, du fait notamment de la forte augmentation des quantités de légumes, et surtout de fruits, dont l'impact eau est particulièrement élevé³³⁹. Nos modélisations ont évité cet écueil, même si nous aurions pu aller plus loin en imposant non pas seulement une non-dégradation de l'impact eau mais aussi sa réduction.

Une autre force de nos modélisations est qu'elles n'ont pas conduit à l'élimination de catégories entières d'aliments, comme c'est le cas pour la viande bovine dans beaucoup d'autres études. Elles ont également montré qu'un régime de type flexitarien, avec une consommation de viande modérée (435 g par semaine toutes viandes comprises), permettait à la fois de couvrir les apports nutritionnels recommandés et de réduire fortement l'impact carbone.

Enfin, les modèles suggèrent que le coût associé à ces changements serait plutôt à la baisse. Ceci est en faveur de leur potentielle acceptabilité, tout comme le fait qu'ils contiennent des produits animaux diversifiés et en quantité modérée (à peu près 1 fois par jour de la viande, du poisson ou des œufs, et des produits laitiers 2 à 3 fois par jour) et qu'ils n'obligent pas à consommer des grandes quantités de fruits et de légumes ou des produits enrichis et des alternatives végétales aux produits animaux.

³³⁷ c'est-à-dire la grande majorité des études conduites jusqu'ici dans ce champ de recherche car les données concernant l'impact eau des aliments n'ont été disponibles que de façon relativement récente comparativement à celles concernant l'impact carbone.

³³⁸ Comme le suggèrent les résultats de l'étude de Kesse-Guyot et al, 2023, dans laquelle la compétition entre une contrainte sur l'impact carbone et une contrainte sur l'eau est plus particulièrement étudiée : Kesse-Guyot, E., Pointereau, P., Brunin, J., Perraud, E., Toujgani, H., Berthy, F., ... & Fouillet, H. (2023). Trade-offs between water use and greenhouse gas emissions related to food systems: an optimization study in French adults. *medRxiv*, 2023-03.

³³⁹ Kesse-Guyot, E., Pointereau, P., Brunin, J., Perraud, E., Toujgani, H., Berthy, F., ... & Fouillet, H. (2023). Trade-offs between water use and greenhouse gas emissions related to food systems: an optimization study in French adults. *medRxiv*, 2023-03.

6. Conclusion de la partie 4

Nos modélisations ont mis en évidence les nécessaires évolutions dans les régimes alimentaires de la population française pour couvrir les apports nutritionnels tout en réduisant la consommation de viande de façon significative, dans l'optique de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les autres impacts environnementaux de notre alimentation. Les diètes n°10 et n°14 ont montré qu'il était même possible d'améliorer la couverture des apports nutritionnels avec une consommation de viande réduite de 50 % par rapport au niveau actuel, en augmentant par ailleurs la consommation de fruits et légumes, de légumineuses, de produits céréaliers complets et de fruits à coque, et une réduction importante des produits gras, sucrés et/ou salés.

Ces résultats sont d'autant plus intéressants que la méthode de modélisation à laquelle nous avons fait appel a récemment été employée par les autorités néerlandaises³⁴⁰ et par la société allemande de nutrition^{341,342} pour prendre en compte les impacts environnementaux dans leurs recommandations alimentaires. Ces exemples sont en phase avec la recommandation d'un groupe d'experts d'introduire des métriques environnementales dans l'approche de modélisation et d'imposer, en combinaison du respect des recommandations nutritionnelles, des contraintes de réduction des impacts environnementaux³⁴³.

Mis en perspective avec les recommandations alimentaires des autres pays analysées dans la partie 3, les résultats de nos modélisations fournissent ainsi un excellent matériau pour formuler des propositions d'ajustement des recommandations du PNNS, afin que celles-ci prennent en compte les enjeux environnementaux en plus des enjeux de nutrition et de santé humaine.

³⁴⁰ Brink, E., van Rossum, C., Postma-Smeets, A., Stafleu, A., Wolvers, D., van Dooren, C., ... & Ocké, M. (2019). Development of healthy and sustainable food-based dietary guidelines for the Netherlands. *Public Health Nutrition*, 22(13), 2419-2435..

³⁴¹ Schäfer, A., Gazan, R., Boeing, H., Breidenassel, C., Haurogne, T., Nöthlings, U., ... & Watzl, B. (2021). Deriving sustainable food-based dietary guidelines for Germany via multidimensional optimization: insights to operationalise the diet-health dimension. *Current Developments in Nutrition*, 5, 5140881.

³⁴² Schäfer AC. Consideration of sustainability within the multi-dimensional food-based dietary guideline for Germany. Oral communication, *FENS meeting*, Belgrad, 2023

³⁴³ Schäfer, A. C., Schmidt, A., Bechthold, A., Boeing, H., Watzl, B., Darmon, N., ... & Vieux, F. (2021). Integration of various dimensions in food-based dietary guidelines via mathematical approaches: Report of a DGE/FENS workshop in Bonn, Germany, 23–24 September 2019. *British Journal of Nutrition*, 126(6), 942-949..

Conclusion et recommandations

Les précédentes parties du rapport ont montré que, suite à la multiplication des travaux scientifiques sur les impacts environnementaux des systèmes alimentaires et des modélisations de régimes alimentaires sains et durables, de plus en plus de pays ont intégré les enjeux de préservation de l'environnement dans leurs guides alimentaires (ils étaient 25 en 2023). Plus précisément, 15 de ces pays ont pris en compte ces enjeux dans la définition de leurs recommandations de fréquence et quantité de consommation d'aliments (viande, légumineuses, etc.) Ce travail a dans la majorité des cas été réalisé dans des pays européens, à l'image du Danemark, de l'Espagne, de l'Italie ou de la Suède.

Ces guides alimentaires ont en commun de recommander :

- **Une limitation de la consommation de viande, avec selon les pays des quantités maximales recommandées de l'ordre de 300 à 630 grammes par semaine.** Cette limitation inclut la viande transformée dans 13 guides sur 15, et la volaille dans 8 guides sur 15. La définition de quantités maximales de consommation incluant la volaille concerne 7 des 8 pays qui ont révisé leurs recommandations après 2017 (à savoir la Belgique, la Chine, le Danemark, l'Espagne, l'Italie, le Mexique et les Pays-Bas). Pour rappel, le PNNS actuel, qui a intégré les effets sur la santé mais pas les impacts environnementaux, recommande des quantités maximales hebdomadaires de 500 g pour la viande hors volaille et de 150 g pour la charcuterie (soit jusqu'à 650 g au total), sans limitation pour la volaille.
- **Une consommation importante, et accrue par rapport aux quantités consommées actuellement, de fruits et légumes, de céréales complètes, de légumineuses et de fruits à coque.**
- **Une consommation quotidienne modérée de produits laitiers,** les recommandations variant, le plus souvent, entre 2 et 3 portions par jour (un produit laitier pouvant être un verre de lait, un yaourt ou un morceau de fromage).

Ces recommandations sont globalement assez cohérentes avec les régimes alimentaires sains et durables définis dans les scénarios prospectifs analysés dans la partie 2³⁴⁴, qui partagent un objectif de réduction de la consommation de viande de 50 % à horizon 2050 (réduction portant, dans des proportions variables, sur les viandes rouges comme sur les volailles) et de hausse de la consommation de fruits et légumes et de sources végétales de protéines, tout en maintenant un niveau modéré de consommation de produits laitiers (2 portions par jour).

Dans la quatrième partie du rapport, nos travaux de modélisation ont montré qu'il était possible de respecter l'ensemble des apports nutritionnels recommandés en divisant par 2 la consommation de viande (62 g/jour en incluant toutes les viandes et la charcuterie, soit 435 g par semaine), tout en maintenant la consommation des produits laitiers (à 3 portions par jour) et celles des œufs (3 à 4 œufs par semaine), en incluant dans les deux cas leur utilisation

³⁴⁴ Pour rappel, il s'agit des scénarios Afterres2050 de Solagro, TYFA-GES de l'IDDR, Pulse fiction du WWF France, S1 et S2 de l'ADEME, et du régime planétaire dit de référence du EAT Lancet. Voir les détails dans la partie 2.

comme ingrédients culinaires (ainsi que les desserts lactés pour les produits laitiers). Les résultats montrent que, pour atteindre les apports nutritionnels recommandés avec 2 fois moins de viande tout en réduisant de 35 % l'impact carbone, il faudrait consommer davantage de fruits et légumes, de céréales complètes, de légumineuses et de fruits à coque (et en particulier de noix). Nos modélisations ont également montré qu'il demeurait possible de satisfaire les apports nutritionnels recommandés avec seulement 2 portions de produits laitiers par jour, mais que cela exigeait davantage d'ajustements en matière de consommation d'aliments d'origine végétale (notamment une consommation quotidienne de légumineuses à hauteur de 146 g par jour, contre 65 g avec 3 produits laitiers par jour).

Pour conclure ce rapport, nous formulons deux types de recommandations pour les pouvoirs publics.

Dans un premier temps, nous nous appuyons sur les résultats de ces modélisations et sur la comparaison des guides alimentaires des autres pays pour **faire des propositions d'évolution des recommandations du PNNS de manière à prendre en compte non seulement les enjeux de nutrition et de santé, mais aussi les enjeux environnementaux**. Cette orientation devrait être inscrite dans la Stratégie Nationale pour l'Alimentation, la Nutrition et le Climat, et prise en compte dans le prochain PNNS, et/ou dans un processus de révision du PNNS plus complet aboutissant à un Programme National Nutrition Santé Climat (PNNS-Climat). Cette intégration des enjeux environnementaux dans les recommandations du PNNS, initialement proposée par la Convention Citoyenne sur le Climat³⁴⁵, est également préconisée par le Conseil National de l'Alimentation³⁴⁶ et par le Haut Conseil pour le Climat³⁴⁷.

Ce PNNS-Climat devrait définir des recommandations de consommation alimentaire cohérents avec les engagements climatiques de la France, mais aussi avec ses objectifs en matière de préservation de la biodiversité et de réduction des autres impacts environnementaux liés aux systèmes alimentaires. Par ailleurs, l'ajustement des recommandations que nous proposons se borne à la place respective de chaque catégorie d'aliments dans les régimes alimentaires (c'est-à-dire la fréquence ou les quantités de consommation recommandées). La prise en compte des impacts environnementaux liés au gaspillage alimentaire, aux emballages et aux modes de production des aliments (biologiques par exemple) se situent ainsi en dehors du périmètre de notre rapport, mais devraient également être adressés dans le cadre du futur PNNS-Climat.

Dans un second temps, nous formulons des recommandations d'actions et de mesures à destination des pouvoirs publics et des parties prenantes de la politique de l'alimentation de la France, qui dépassent le champ du PNNS. En effet, le degré de suivi par la population des recommandations du PNNS dépend d'un grand nombre de facteurs tributaires de la réglementation et des politiques publiques (moyens consacrés à la diffusion des recommandations du PNNS, régulation des messages publicitaires et promotionnels sur les produits alimentaires, capacités financières des ménages etc.).

³⁴⁵ Convention citoyenne pour le climat (2021). Les propositions de la Convention citoyenne pour le climat, rapport final, pp. 375-377.

³⁴⁶ Conseil National de l'Alimentation (2022). Nouveaux comportements alimentaires : propositions d'actions pour une alimentation compatible avec des systèmes alimentaires durables, Avis n°90 ; Conseil National de l'Alimentation (2023). Contribution du CNA à la SNANC, p.47.

³⁴⁷ Haut Conseil pour le Climat (2024). Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste, p. 143 pour la citation ; voir aussi p. 18.

1. Propositions pour intégrer les enjeux environnementaux dans l’élaboration des recommandations du PNNS : Pour un Plan National Nutrition Santé Climat

Nos propositions d’évolution des recommandations du PNNS ne concernent pas le format et la formulation des messages adressés au grand public, mais le référentiel ou les repères de consommation sur lesquels se fondent ces messages. Autrement dit, nos propositions portent sur la définition des fréquences et des quantités de consommation (à atteindre, à dépasser ou à ne pas dépasser) pour différentes catégories d’aliments concernées par le PNNS (fruits et légumes, produits laitiers, viande, etc.). Il est également important de rappeler que ces recommandations concernent la population adulte de moins de 65 ans, à l’exception des femmes enceintes (le PNNS établissant des recommandations spécifiques pour les jeunes, les seniors et les femmes enceintes et allaitantes).

1.1. Recommandations sur la consommation de viande et de charcuterie³⁴⁸

Recommandations du PNNS 4 :

- Privilégier la volaille et limiter les autres viandes (porc, bœuf, veau, mouton, agneau, abats) à 500 g par semaine.
- Limiter la charcuterie à 150 g par semaine, privilégier parmi ces aliments le jambon blanc et le jambon de volaille.

Notre recommandation pour un PNNS Climat :

=> Recommander de ne pas consommer plus de 450 g de viande par semaine, incluant l’ensemble des viandes : viande rouge (bœuf, porc, etc.), volaille, charcuterie et autres viandes transformées (saucisses, cordons bleus, etc.), en précisant que la consommation de charcuterie ne doit pas dépasser 150 g par semaine (conformément à la recommandation du PNNS 4 sur la charcuterie).

→ Justification

La proposition d’élargir le périmètre des viandes concernées par la recommandation du PNNS à l’ensemble des viandes, incluant la volaille et les viandes transformées, s’explique par le fait que :

- Les différents régimes alimentaires modélisés dans les scénarios de systèmes alimentaires durables analysés en partie 2 impliquent une diminution de la consommation de l’ensemble des viandes, volaille incluse.

³⁴⁸ Cette recommandation porte sur l’ensemble des viandes fraîches et des viandes transformées, et ne concerne donc pas le poisson. Les quantités de viande sont exprimées en grammes de viande cuite.

- La majorité des guides alimentaires des pays prenant en compte les enjeux environnementaux définit une quantité maximale de consommation pour la viande rouge, les viandes transformées et la volaille. C'est notamment le cas de 7 des 8 pays qui ont révisé leurs recommandations entre 2018 et 2023.
- La consommation de volaille par habitant en France est en forte augmentation. La consommation de poulet, en particulier, a plus que doublé entre 2000 et 2022³⁴⁹. La part de la viande de poulet dans la consommation totale de viande a quant à elle progressé de 18 % en 2012 à 26 % en 2022. Cette hausse est associée à une augmentation des importations, qui représentent 50 % de la consommation de poulet en 2022³⁴⁹.
- Le risque que la consommation de volaille continue à augmenter, en partie en substitution à celle de viande rouge, est d'autant plus important qu'en France, une partie importante de la population a tendance à penser que la volaille, ça n'est pas (vraiment) de la viande³⁵⁰.

La proposition d'abaisser la quantité maximale de viande à 450 g est motivée par le fait que :

- Les différents scénarios prospectifs de systèmes alimentaires durables analysés en partie 2 convergent sur la nécessité de réduire de 50 % la consommation de viande par habitant pour assurer le respect par la France de ses engagements climatiques. Une telle division par deux de la consommation de viande hebdomadaire par habitant observée en France aujourd'hui correspond à 435 g.
- Le travail de modélisation présenté en partie 4 montre qu'il est possible de couvrir l'ensemble des apports nutritionnels recommandés et de respecter les recommandations du PNNS 4 avec une consommation de viande individuelle hebdomadaire de 435 g, en consommant davantage de fruits et légumes, légumineuses, fruits à coques et produits céréaliers complets, sans recourir à des aliments enrichis ni à des compléments alimentaires.
- Une quantité maximale de viande de 450 g par semaine se situe dans le même ordre de grandeur que les quantités maximales recommandées dans les guides alimentaires des pays ayant pris en compte les enjeux environnementaux. Les recommandations portant uniquement sur la viande rouge et la viande transformée établissent une quantité maximale entre 350 et 500 g selon les pays³⁵¹. Les recommandations portant

³⁴⁹ FranceAgriMer (2023). [La consommation de viandes en France en 2022](#), n°412.

³⁵⁰ Méchin, C. (1997). « La symbolique de la viande », dans Paillat, M. (sous la direction de). *Le mangeur et l'animal. Mutations de l'élevage et de la consommation*. Autrement, Coll. Mutations/Mangeurs, N°172, Paris ; Faustine Régnier, communication personnelle, 2023.

³⁵¹ 455 g en Australie, 500 g en Estonie, en Finlande, en Norvège et en Suède, et 350-500 g en Nouvelle-Zélande, qui recommande de ne pas dépasser 3 portions de viande rouge par semaine (en indiquant 100 à 150 g par portion). La quantité maximale préconisée pour la viande rouge est inférieure dans les pays dont les recommandations portent sur l'ensemble des viandes : maximum

sur l'ensemble des viandes (volaille incluse) situent le plafond entre 300 et 630 g. Maximum 450 g par semaine, c'est autant que la Grèce, moins que la Belgique (630 g), la Chine (500 g) et les Pays-Bas (500 g), mais plus que l'Italie (300 g), le Danemark (350 g) ou l'Espagne (300-375 g) – voir les données complètes dans la partie 3.

1.2. Recommandation sur la consommation de légumineuses

Recommandation du PNNS 4 : au moins 2 fois par semaine

Notre recommandation pour un PNNS Climat :

Recommander la consommation quotidienne de légumineuses, pour une quantité de 65 g à 100 g par jour (poids cuit)

→ Justification

- Les régimes alimentaires modélisés dans les scénarios de systèmes alimentaires durables ont en commun d'établir un niveau élevé de consommation de légumineuses, qui suggère une consommation quotidienne.
- Les légumineuses sont une catégorie emblématique pour l'atteinte d'une alimentation durable car elles présentent à la fois un très faible impact environnemental et une très bonne qualité nutritionnelle (richesse en fibres, en protéines de bonne qualité, mais aussi en vitamine B9 ou folates, potassium, fer, magnésium et calcium).
- La totalité des guides alimentaires intégrant les enjeux environnementaux recommandent de consommer régulièrement des légumineuses, même si un tiers d'entre eux n'indiquent pas de quantité ou de fréquence précise. Les quantités recommandées fluctuent entre 3 et 7 portions par semaine³⁵², la taille des portions étant néanmoins variable selon les pays : 3 portions de 150 g en Italie, 4 à 7 portions de 170 g en Espagne (par semaine également), 7 portions de 100 à 200 g par jour au Mexique, 1 portion de 100 g par jour au Danemark, tandis que la Grèce recommande d'en consommer au moins 450 g par semaine.
- Nos modélisations (voir partie 4) indiquent également qu'une consommation quotidienne de légumineuses en quantité modérée permet de concilier les enjeux climatiques et nutritionnels. Dans notre modèle avec 2 produits laitiers par jour (produits laitiers au sens large, comme défini préalablement), une consommation de 1000 g de légumineuses par semaine serait nécessaire. Dans notre modèle avec 3 produits laitiers, une consommation de 450 g par semaine serait suffisante.

150 g en Grèce ou 300 g aux Pays-Bas par exemple, tandis que l'Italie recommande d'en consommer 100 g par semaine.

³⁵² À l'exception des guides alimentaires belge et néerlandais qui recommandent d'en consommer au moins 100 g et 135 g par semaine respectivement.

- En raison toutefois de l'inhibition de l'absorption de certains nutriments en cas d'ingestion de légumineuses en grande quantité du fait des phytates (et des autres composés dits « anti-nutritionnels ») qu'elles contiennent, et du niveau très faible de consommation de légumineuses dans la majeure partie de la population française, il nous semble préférable que la recommandation mette l'accent sur une fréquence quotidienne de consommation des légumineuses en quantité modérée, les quantités consommées pouvant toutefois être ajustées en fonction des modes de préparation, de la quantité de produits laitiers et de viande consommée par les personnes, et au gré de leur familiarité avec ces aliments.

1.3. Recommandation sur la consommation de fruits à coque

Recommandation du PNNS 4 : une petite poignée par jour (soit environ 15 g)

Notre recommandation pour un PNNS Climat :

Recommander la consommation quotidienne de 2 petites poignées de fruits à coque non salés, soit 25 à 30 g par jour, en privilégiant les noix.

→ **Justification**

- Notre travail de modélisation aboutit à une forte augmentation de la consommation de fruits à coque afin de satisfaire les recommandations d'apports en nutriments en cas de division par 2 de la consommation de viande. Leur richesse en fibres, en acides gras essentiels (notamment l'acide alpha-linolénique, qui est un acide gras oméga-3 végétal) et en de nombreux micronutriments (calcium et magnésium notamment) explique qu'ils soient introduits en quantité notable (comprise entre 23 g et 29 g par jour) dans nos diètes modélisées.
- La majorité des guides alimentaires des pays ayant intégré les enjeux environnementaux recommandent également une consommation dans cet ordre de grandeur : 15 à 25 g en Belgique et aux Pays-Bas, 20 à 30 g en Estonie et en Suisse, 25 g en Allemagne, 30 g au Danemark, en Finlande et en Nouvelle-Zélande³⁵³.
- Nous recommandons de mettre l'accent en particulier sur la consommation de noix en raison de leur forte teneur en acide alpha-linolénique (acide gras oméga-3 végétal).

³⁵³ Les autres pays recommandent de consommer des fruits à coque sans indiquer de quantité précise, à l'exception du Mexique qui ne fait pas mention de ce groupe d'aliments. La Norvège recommande d'en consommer une poignée par jour, tandis que la recommandation de l'Italie est la moins élevée avec 60 g par semaine soit 9 g par jour. L'Espagne recommande de consommer entre 3 et 7 portions de 20 à 30 g de fruits à coque par semaine.

1.4. Recommandation sur la consommation de produits laitiers

Recommandation du PNNS 4 : 2 produits laitiers par jour³⁵⁴

La révision de cette recommandation ne semble pas indispensable dans le cadre d'une révision du PNNS visant à prendre en compte les enjeux environnementaux.

→ Justification

Les travaux menés dans le présent rapport n'ont pas abouti à des résultats assez clairs pour conclure à la nécessité de réviser la recommandation du PNNS en vigueur.

En effet, notre travail de modélisation (partie 4) a montré que, dans le cadre d'une diminution de moitié de la consommation de viande, il était possible de couvrir l'ensemble des apports nutritionnels recommandés tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre, avec une diète comportant soit 2 soit 3 produits laitiers par jour. La diète avec 3 produits laitiers était la plus performante en termes d'acceptabilité (moindre écart aux consommations actuelles) et de nutrition (moindre teneur en phytates, susceptibles de limiter l'utilisation optimale de certains nutriments comme le fer et le zinc) tout en permettant la même réduction des émissions de gaz à effet de serre. Toutefois, notre modélisation comptabilise les desserts lactés et les produits laitiers utilisés comme ingrédients (dans les plats préparés, quiches, pizzas, gâteaux, etc.) dans la catégorie des produits laitiers, ce qui n'est pas le cas du PNNS. On peut donc estimer que notre diète modélisée avec trois produits laitiers au sens large est compatible avec la recommandation du PNNS 4 de consommer deux produits laitiers comme il les a définis³⁵⁵.

Les résultats de nos modélisations contrastent toutefois avec les régimes alimentaires proposés par les scénarios prospectifs de systèmes alimentaires durables présentés dans la partie 2 de ce rapport³⁵⁶, qui indiquent une consommation de produits laitiers de l'ordre de 2 produits laitiers par jour, au sens large, c'est-à-dire en incluant l'ensemble des sources de produits laitiers (y compris les desserts lactés et les produits laitiers utilisés comme ingrédients). Cette contradiction concernant les produits laitiers entre les résultats des scénarios prospectifs et ceux de nos modélisations peut s'expliquer par les différences dans les méthodologies employées, et par des différences d'allocation des impacts environnementaux (entre produits laitiers et viande bovine) entre les données d'ACV Agribalyse (qui reflètent les pratiques actuelles de production bovine) utilisées dans nos modélisations et les données utilisées dans les scénarios prospectifs. De plus, comme environ

³⁵⁴ Un yaourt, un verre de lait (150 mL) ou un morceau de fromage (30 g) constituent des produits laitiers au sens du PNNS, mais pas le beurre et la crème qui sont classés dans le groupe des matières grasses et les desserts lactés qui sont considérés comme des produits gras et sucrés. Le PNNS ne précise pas si les produits laitiers utilisés comme ingrédients dans des plats composés (quiches, pizzas, etc.) fait-maison ou vendus dans le commerce doivent être inclus dans les 2 portions recommandées.

³⁵⁵ Voir note de bas de page précédente.

³⁵⁶ Cela vaut pour les scénarios TYFA-GES, Afterres2050, Pulse Fiction et S1 et S2 de l'ADEME, ainsi que pour le régime planétaire dit de référence de la commission du EAT Lancet.

50 % de la viande bovine consommée en France est issue de vaches laitières réformées, diminuer la consommation de viande bovine sans diminuer celle des produits laitiers pose des questions sur le plan agronomique. Il serait par conséquent pertinent de développer des recherches combinant les outils de modélisation des scénarios TYFA-GES et Afterres2050 et les méthodes de modélisation sous contraintes, notamment nutritionnelles, pour approfondir et statuer sur la question de la place des produits laitiers dans les régimes sains et durables.

Dans les guides alimentaires des pays ayant intégré les enjeux environnementaux, les recommandations de consommation de produits laitiers sont assez variables mais se situent en moyenne entre 2 et 3 produits laitiers par jour. Les recommandations du PNNS 4 se situent donc dans cet ordre de grandeur, bien que dans la fourchette basse.

1.5. Recommandation sur la consommation de fruits et légumes

Recommandation du PNNS 4 : Au moins 5 portions de fruits et légumes par jour³⁵⁷

La révision de cette recommandation ne semble pas pertinente dans le cadre d'une révision du PNNS visant à prendre en compte les enjeux environnementaux.

→ Justification

La recommandation du PNNS 4 pour les fruits et légumes est similaire à celle de la plupart des guides alimentaires prenant en compte les enjeux environnementaux. En effet, la quasi-totalité de ces guides recommandent de consommer au moins 5 ou au moins 6 fruits et légumes par jour. Les portions étant le plus souvent fixées à 100 g, la quasi-totalité des guides recommandent donc de consommer au moins 500 g de fruits et légumes par semaine.

Dans nos diètes modélisées, la quantité de fruits et légumes est de l'ordre de 500 g par jour, quel que soit le nombre de produits laitiers (2 ou 3), ce qui est cohérent avec les recommandations de ces guides alimentaires. Cette quantité est également du même ordre de grandeur que la recommandation du PNNS 4 de consommer au moins 5 portions de 80 à 100 g de fruits et légumes par jour. Par conséquent, et comme la grande majorité de la population français est aujourd'hui éloignée de la cible des 5 fruits et légumes par jour, la révision de cette recommandation ne semble pas pertinente.

³⁵⁷ Une portion de fruits et légumes pour les adultes, c'est l'équivalent de 80 à 100 grammes (source : <https://www.mangerbouger.fr/l-essentiel/les-recommandations-sur-l-alimentation-l-activite-physique-et-la-sedentarite/augmenter/augmenter-les-fruits-et-legumes>).

1.6. Recommandation sur la consommation de produits céréaliers

Recommandation du PNNS 4 : « Le pain complet ou aux céréales, les pâtes, la semoule et le riz complets : au choix au moins une fois par jour »

La révision de cette recommandation ne semble pas pertinente dans le cadre d'une révision du PNNS visant à prendre en compte les enjeux environnementaux.

→ Justification

La recommandation du PNNS 4 est cohérente avec les régimes alimentaires modélisés dans les scénarios de systèmes alimentaires durables, ainsi qu'avec notre travail de modélisation. La consommation quotidienne de produits céréaliers, en privilégiant les produits céréaliers complets, constitue aussi un des points communs des guides alimentaires prenant en compte les enjeux environnementaux dans les autres pays.

La richesse des produits céréaliers complets en fibres et en micronutriments (vitamine E, vitamines du groupe B, magnésium, fer, zinc, potassium...) en font des aliments incontournables pour l'atteinte des apports nutritionnels recommandés. De plus, comme pour les légumineuses, leur impact environnemental est particulièrement faible. Dans nos diètes modélisées, qu'elles contiennent 2 ou 3 produits laitiers, la quantité de produits céréaliers raffinés décroît fortement au profit des produits céréaliers complets, ces derniers atteignant 138 g par jour (représentant les deux tiers du total des produits céréaliers).

1.7. Recommandation sur la consommation de poisson

Recommandation du PNNS 4 : 2 fois par semaine, dont un poisson gras (sardines, maquereau, hareng, saumon)

La question des impacts environnementaux spécifiques à la consommation de poisson, en particulier la raréfaction des ressources, n'ayant pas été intégrée dans nos modélisations, nous ne pouvons pas nous prononcer sur la nécessité ou non de réviser la recommandation le concernant. Les points suivants sont cependant importants à noter :

- Nous avons imposé comme contrainte, dans nos modélisations, la consommation maximale d'un poisson maigre et d'un poisson gras par semaine, et ces maximums ont été atteints car nécessaires pour le respect des contraintes nutritionnelles, notamment pour garantir des apports minimum en vitamine D et en acides gras oméga-3 à longues chaînes (EPA et DHA). Ces niveaux sont du même ordre de grandeur que la consommation actuelle de poisson en France.
- Par ailleurs, les scénarios prospectifs de systèmes alimentaires durables impliquent en général une diminution de la consommation de poisson en France d'ici 2050, en raison

des problématiques de raréfaction des stocks de poisson dans les océans et de dégradation des écosystèmes marins liés à la pêche industrielle, ainsi que des impacts environnementaux de la pisciculture. Il paraît donc indispensable d'approfondir les recherches pour améliorer les connaissances sur les bénéfices et les impacts sur la santé humaine et sur l'environnement de la consommation de poisson, en prenant en compte l'ensemble des variables et des paramètres pertinents, avant de statuer sur ce que devrait être la recommandation sur le poisson d'un PNNS prenant en compte les enjeux environnementaux.

2. Recommandations pour les instances en charge de la politique de l'alimentation

Ces recommandations sont destinées aux institutions publiques en charge de la politique nutritionnelle et alimentaire de la France, et devraient être inscrites dans la future Stratégie Nationale pour l'Alimentation, la Nutrition et le Climat (SNANC). Nous formulons deux types de recommandations relatives au PNNS (2.1.) et aux autres politiques publiques (2.2.).

2.1. Recommandations concernant le PNNS

2.1.1. Intégrer les enjeux environnementaux dans les recommandations alimentaires dès la prochaine version du PNNS.

Cette actualisation du PNNS pourra notamment s'appuyer sur les guides alimentaires des pays ayant intégré les enjeux environnementaux, sur les travaux de modélisation (comme ceux réalisés dans ce rapport et dans le cadre du projet SISAE), et sur l'expertise prochainement publiée de l'ANSES sur les alimentations comprenant peu ou pas de produits d'origine animale (régimes flexitarien, pesco-végétarien, végétarien et végétalien)³⁵⁸.

Cette recommandation s'inscrit dans la continuité de la proposition de la Convention Citoyenne pour le Climat de « Faire du prochain programme PNNS un Programme National Nutrition Santé Climat (PNNSC) pour prendre en compte les critères climat, comme indiqué dans la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) »³⁵⁹. Dans son dernier rapport, le Haut Conseil pour Climat recommande également aux pouvoirs publics de « revoir les recommandations nutritionnelles pour y intégrer les enjeux climatiques et de durabilité »³⁶⁰.

³⁵⁸ Il s'agit plus précisément du groupe de travail de l'ANSES intitulé « Établissement de repères alimentaires destinés aux personnes suivant un régime d'exclusion de tout ou partie des aliments d'origine animale », dont les travaux ont débuté en 2019.

³⁵⁹ Convention citoyenne pour le climat (2021). [Les propositions de la Convention citoyenne pour le climat](#), rapport final, pp. 375-377.

³⁶⁰ Haut Conseil pour le Climat (2024). [Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste](#), p. 143 pour la citation ; voir aussi p. 18.

2.1.2. Initier un processus de révision plus profonde des recommandations du PNNS pour mettre en place un Programme National Nutrition Santé Climat, en intégrant l'ADEME dans son processus d'élaboration.

Cette recommandation est cohérente avec la préconisation émise par le Conseil National de l'Alimentation dans son avis n°90³⁶¹, qui fait partie des « recommandations prioritaires » de sa récente contribution pour la Stratégie Nationale pour l'Alimentation, la Nutrition et le Climat, dans les termes suivants :

« Redéfinir les repères nutritionnels officiels adaptés à chaque âge de la vie et à l'activité physique de manière à prendre également en compte les enjeux de durabilité. Redéfinir les modalités d'élaboration de ces repères en intégrant l'ADEME dans le circuit de validation.

Proposer dans le cadre de la future Stratégie Nationale pour l'Alimentation, la Nutrition et le Climat, de lancer des travaux en vue de l'évolution de ces repères, afin qu'ils prennent en compte :

- les enjeux de durabilité des systèmes alimentaires : promouvoir la transition vers des régimes/assiettes compatibles avec des systèmes alimentaires durables et les bénéfices pour la santé humaine et environnementale associés ;
- la diversité des représentations sociales associées à l'alimentation durable : celle-ci peut passer pour certains publics par la valorisation du lien social, de la solidarité, de la diversité des produits, etc. ;
- les changements récents de modes de vie, induisant des impacts importants sur la capacité des consommateurs à adopter et à conserver des comportements alimentaires compatibles avec des systèmes alimentaires durables (déstructuration des repas, sédentarité, accélération des emplois du temps, diminution du temps disponible pour le repas et pour cuisiner, télétravail, etc.).

Accompagner les professionnels à travers des lignes directrices et outils permettant de proposer des repas et produits adaptés à ces évolutions.³⁶² »

La proposition de « Faire évoluer les repères alimentaires et les actions du PNNS pour concilier les enjeux de santé publique et de durabilité » fait également partie des demandes prioritaires partagées par 54 organisations de la société civile incluant, outre le Réseau Action Climat et la Société Française de Nutrition, un grand nombre d'organisations de santé (Société française de santé publique, Société française du Cancer, Société francophone de santé et environnement, Fédération nationale d'éducation et de promotion de la santé, Association française des diététiciens-nutritionnistes, Ligue contre le cancer, etc.) et d'associations environnementales (Fondation pour la Nature et l'Homme, France Nature Environnement, Greenpeace France, WWF France, etc.)³⁶³.

2.1.3. Augmenter les moyens dédiés aux campagnes d'information et au déploiement des outils du PNNS.

³⁶¹ Conseil National de l'Alimentation (2022). [Nouveaux comportements alimentaires : propositions d'actions pour une alimentation compatible avec des systèmes alimentaires durables](#), Avis n°90.

³⁶² Conseil National de l'Alimentation (2023). [Contribution du CNA à la SNANC](#), p.47.

³⁶³ Réseau Action Climat (2023). [Pour une véritable Stratégie Nationale pour l'Alimentation, la Nutrition et le Climat. Note collective de 54 organisations de la société civile](#).

2.1.4. Renforcer les actions et les campagnes en lien avec les recommandations du PNNS de limiter la consommation de viande et d'augmenter celle de légumineuses et de fruits à coque.

2.2. Recommandations d'autres mesures et politiques publiques

2.2.1. Interdire la publicité et le marketing pour les produits alimentaires dont la surconsommation est néfaste pour la santé humaine et pour l'équilibre et la santé des écosystèmes, sur tous les supports (physiques, audiovisuels, numériques).

→ Interdire en priorité la publicité et le marketing ciblant les enfants pour des produits trop gras, trop sucrés et trop salés.

2.2.2. Prendre en compte les inégalités sociales et économiques dans les politiques nutritionnelles et actions de prévention (selon la logique de l'universalisme proportionné) pour éviter le creusement des inégalités en matière d'alimentation et santé.

2.2.3. Faire évoluer la formation initiale et continue sur la nutrition et l'alimentation des professionnels de santé (médecins, infirmiers, puériculteurs, diététiciens, etc.) et des autres professionnels amenés à faire passer des messages sur l'alimentation (enseignants, travailleurs sociaux, etc.) de manière à intégrer les enjeux d'une alimentation compatible avec des systèmes alimentaires durables et du rééquilibrage dans la consommation de produits d'origine animale et végétale.

2.2.4. Rendre plus disponibles et accessibles financièrement les produits de qualité (fruits et légumes frais, fruits à coque, légumineuses, produits biologiques, etc.) tout en assurant une rémunération suffisante aux agriculteurs. Cela passe notamment par un renforcement des capacités financières des ménages pour réaliser leurs achats alimentaires.

2.2.5. Mettre en œuvre des mesures visant à faire évoluer les représentations sur la viande et les légumineuses, et à végétaliser l'alimentation dans différents contextes de consommation. Évaluer l'impact de ces mesures et la différenciation sociale potentielle de cet impact.



Le Réseau Action Climat-France, fédération de 37 associations nationales et locales, lutte contre les causes des changements climatiques, de l'échelle internationale à l'échelle locale. Il est le représentant français du Climate Action Network International, réseau mondial de plus de 1300 ONG.

Il couvre l'ensemble des secteurs responsables du dérèglement climatique : les transports, la production d'énergie, l'agriculture et l'alimentation, l'habitat, et travaille à l'élaboration de mesures alternatives et ambitieuses pour lutter contre le changement climatique et ses impacts.



**Société Française
de Nutrition**

La Société Française de Nutrition (SFN) est une Société Savante organisée en association de loi 1901, reconnue d'utilité publique, qui pense la nutrition sur un mode transdisciplinaire et durable. Elle est un lieu d'échanges entre toutes les disciplines touchant à l'alimentation et la nutrition tant au niveau national qu'international. Elle réunit des experts du secteur public et privé dont le dialogue conduit à des avancées en santé publique. Ses principaux objectifs sont de promouvoir la Nutrition dans tous ses champs d'application, contribuer à la formation et à l'information dans le domaine de la Nutrition, contribuer au progrès des connaissances en Nutrition, notamment en soutenant financièrement la recherche.

FINANCIÉ PAR



Cette publication a bénéficié d'un soutien financier du Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires.

Les opinions exprimées dans ce texte sont celles du Réseau Action Climat-France et de la Société Française de Nutrition. Elles n'engagent ni la responsabilité ni les positions de leurs partenaires et services affiliés.

RETROUVEZ LE RAPPORT COMPLET SUR LE SITE WEB DU RÉSEAU ACTION CLIMAT
RESEAUACTIONCLIMAT.ORG

Le Réseau Action Climat fédère les associations impliquées dans la lutte contre le dérèglement climatique



**réseau
action
climat** france