



Place de l'offre végétarienne en restauration scolaire pour concilier nutrition et environnement : le cas français

Romane Poinot

► To cite this version:

Romane Poinot. Place de l'offre végétarienne en restauration scolaire pour concilier nutrition et environnement : le cas français. Alimentation et Nutrition. Université Montpellier, 2021. Français. NNT : 2021MONTG040 . tel-03508703

HAL Id: tel-03508703

<https://theses.hal.science/tel-03508703>

Submitted on 3 Jan 2022

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

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

THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

En Sciences alimentaires et Nutrition

École doctorale GAIA

Unité de recherche MoISA

Place de l'offre végétarienne en restauration scolaire pour concilier nutrition et environnement : le cas français

Présentée par Romane POINSOT
Le 30 septembre 2021

Sous la direction de Nicole DARMON

Devant le jury composé de

Blandine DE LAUZON-GUILLAIN, Directrice de recherche, INRAE

François MARIOTTI, Professeur, AgroParisTech

Valérie DESCHAMPS, Epidémiologiste, Santé publique France

Valérie MICARD, Professeure, Montpellier SupAgro

Gwenola YANNOU-LE-BRIS, Maître de conférences HDR, AgrosParisTech

Nicole DARMON, Directrice de recherche, INRAE

Florent VIEUX, Directeur général, MS-Nutrition

Rapportrice

Rapporteur

Examinatrice

Examinatrice

Examinatrice

Directrice de thèse

Invité



UNIVERSITÉ
DE MONTPELLIER

RESUMÉS

Français :

Appliquée à la restauration scolaire, une alimentation durable est une alimentation nutritionnellement adéquate pour les enfants, prenant en compte leurs habitudes et leurs goûts, à un coût abordable et équitable, et respectueuse de l'environnement. Or, une bonne qualité nutritionnelle n'est pas forcément associée à un faible impact sur l'environnement. Pour assurer la bonne qualité nutritionnelle des repas qui y sont proposés, la restauration scolaire française fait l'objet de recommandations et de réglementations, notamment des règles de fréquence de service des plats à respecter dans une série de vingt repas successifs. Depuis novembre 2019, l'introduction d'au moins un repas végétarien par semaine, soit quatre repas sur vingt, est en cours d'expérimentation dans toutes les cantines françaises.

L'objectif de la thèse était d'identifier dans quelle mesure l'offre végétarienne pouvait améliorer la durabilité des repas servis en restauration scolaire en France, en particulier dans ses dimensions nutritionnelle et environnementale. L'étude a porté sur les plats principaux (c'est-à-dire l'ensemble plat protidique et accompagnement) et les repas destinés aux élèves de classe élémentaire. Ce travail a été en parti guidé et enrichi par l'expertise des membres d'EnScol, un collectif de chercheurs et de professionnels de la restauration scolaire créé dans le cadre de la thèse en 2019.

Une base de données existante de plats servis en restauration scolaire, dont la composition nutritionnelle avait été précédemment calculée à partir de leurs fiches techniques, a été complétée par les professionnels d'EnScol avec des plats végétariens plus récents. Dans un premier temps, la qualité nutritionnelle des plats principaux a été étudiée et comparée selon qu'ils étaient végétariens ou non. Puis, des indicateurs d'impacts environnementaux issus de la récente base Agribalyse de l'ADEME ont été ajoutés à la base de données, et une approche d'optimisation a été mise en œuvre pour générer des séries de vingt repas composés de ces plats et respectant différents scénarios. Les scénarios différaient selon le nombre de composantes (entrée et/ou dessert, plat protidique, accompagnement, produit laitier), le nombre de repas végétariens par série de vingt repas (0, 4, 8, 12 ou 20) et la présence de viande de ruminant. La qualité nutritionnelle et l'impact environnemental des séries de repas ainsi générées ont été analysés.

L'étude sur les plats principaux a montré qu'ils présentaient en moyenne de bons profils nutritionnels (SAIN, LIM et Nutri-Score), qu'ils soient végétariens ou non. Néanmoins ni le Nutri-Score, ni le SAIN, LIM ne permettaient de détecter les niveaux insuffisants ou le manque de nutriments protecteurs dans la sous-catégorie des plats végétaliens (sans produits animaux). Il est donc conseillé de rester critique à l'égard de l'utilisation des profils nutritionnels en restauration scolaire dans le but de garantir une nutrition adéquate aux enfants. L'étude sur la génération de séries de repas a souligné la difficulté de réduire l'impact environnemental sans altérer la qualité nutritionnelle. C'était néanmoins possible en combinant plusieurs leviers. Ainsi, augmenter le nombre de repas végétariens de quatre à douze sur vingt, favoriser les viandes hors ruminant et appliquer les règles existantes de fréquences de service de plats à l'exception de celle imposant le service de viande de ruminant au moins quatre fois sur vingt repas diminuerait l'impact environnemental des repas (réduction des EGES de 50% par rapport à ceux actuellement servis dans les cantines françaises) sans altérer leur qualité nutritionnelle.

L'introduction de repas végétariens est nécessaire pour concilier nutrition et environnement en restauration scolaire, sans pour autant exclure la viande et les autres produits animaux. Ce travail de thèse donne des pistes de réflexion pour actualiser les règles de fréquence de service des plats et ainsi contribuer à proposer une restauration scolaire plus durable aux écoliers.

English:

Applied to school catering, sustainable food is food that is nutritionally adequate for children, considers their habits and tastes, is affordable and fair, and protective to the environment. However, good nutritional quality is not necessarily associated with a low environmental impact. To ensure the good nutritional quality of the meals offered, school catering is subject to several laws and recommendations in France, including frequency rules for serving dishes to be respected in a series of twenty successive meals. Since November 2019, the introduction of at least one vegetarian meal per week, i.e., four meals out of twenty, is being experimented in all French canteens.

The objective of the thesis was to identify to what extent the vegetarian offer could improve the sustainability of meals served in French school canteens, particularly regarding its nutritional and environmental dimensions. The study focused on main courses (i.e., the protein dish and its side dish) and meals for primary students. This work was partly guided and enriched by the expertise of the members of EnScol ("Together, laying the foundations for an evolution of practices for a more sustainable school catering"), a collective of researchers and school catering professionals created as part of the thesis in 2019.

An existing database of school dishes, whose nutritional composition had previously been calculated from their technical sheets, was completed by EnScol professionals with more recent vegetarian dishes. First, the nutritional quality of the main dishes was studied and compared according to whether they were vegetarian or non-vegetarian. Then, environmental impact indicators from the recent ADEME Agribalyse database were added to all the dishes of the database, and an optimization approach was implemented to generate sets of twenty meals composed of these dishes and respecting different scenarios. The scenarios differed in the number of components (starter and/or dessert, protein dish, side dish, dairy), the number of vegetarian meals per set of twenty meals (0, 4, 8, 12, or 20), and the presence of ruminant meat. The nutritional quality and environmental impact of the meal sets thus generated were analyzed.

The study on main dishes showed that they had on average good nutrient profiles (SAIN, LIM and Nutri-Score) whether vegetarian and non-vegetarian. However, neither the Nutri-Score nor the SAIN, LIM could detect insufficient levels or lack of protective nutrients in the subcategory of vegan dishes (without animal products). Therefore, it is advisable to remain critical with the use of these nutrient profiles in school foodservice to ensure adequate nutrition for children. The study on the generation of meal series highlighted the difficulty of reducing the environmental impact without altering the nutritional quality. However, it is possible by combining several levers: increasing the number of vegetarian meals from four to twelve out of twenty, favoring non-ruminant meats and applying the existing frequency rules for serving dishes, except for the one imposing the serving of ruminant meat at least four times out of twenty meals, would reduce the environmental impact of the meals (reduction of EGES by 50% vs those currently served in French canteens) without altering their nutritional quality.

The introduction of vegetarian meals is necessary to reconcile nutrition and environment in school catering, without excluding meat and other animal products. This thesis work gives some ideas to update the rules of frequency of service of the dishes and thus contribute to offer more sustainable school meals to children.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier **Blandine DE LAUZON-GUILLAIN, François MARIOTTI, Valérie DESCHAMPS, Valérie MICARD** et **Gwenola YANNOU-LE-BRIS** de me faire l'honneur de faire partie de mon jury de thèse. Merci à **Blandine DE LAUZON-GUILLAIN** et **François MARIOTTI** de prendre le temps d'évaluer mon travail et d'avoir accepté d'être rapporteurs dans mon jury.

Je remercie chaleureusement ma directrice de thèse, **Nicole DARMON** ainsi que mon co-encadrant dans l'entreprise MS-Nutrition, **Florent VIEUX**.

Nicole, tu ne peux pas savoir à quel point c'est un honneur pour moi (mais aussi une certaine pression) d'être ta toute dernière doctorante. Je te remercie d'être si juste, rigoureuse et bienveillante. Merci d'avoir toujours été présente tout le long de ma thèse. Malgré ton agenda de ministre, tu as toujours su trouver le temps pour répondre à un mail, corriger un texte, relire un paragraphe ou que sais-je, même quand je t'envoyais impertinemment mes corrections à la dernière minute (un jour, il faudra avouer que tu avais en fait un double de toi-même depuis tout ce temps). Tu as parfaitement su me guider et me pousser au-delà de mes retranchements. Merci de m'avoir rassurée dans les moments les plus difficiles, et de m'avoir fait confiance jusqu'au bout. Je suis très fière de faire partie de cette joyeuse secte de doctorants !

Florent V., merci d'avoir accepté d'être mon co-encadrant et de poursuivre l'aventure de la thèse chez MS-Nutrition avec moi. Merci d'avoir partagé tes superbes idées et d'avoir mis à l'épreuve ta créativité pour ma thèse et merci en même temps de m'avoir laissée librement gérer mon projet. Vous avez formé un tandem parfaitement équilibré avec **Nicole** et c'est exactement ce dont j'avais besoin. Merci d'avoir accepté mes râleries sans broncher.

Merci également à **Matthieu**, le co-fondateur de MS-Nutrition avec **Florent V.**, pour m'avoir accueillie dans cette start-up unique pour ma première expérience professionnelle. Merci infiniment pour la confiance que vous m'avez accordée, notamment en me laissant l'opportunité de représenter MS-Nutrition à l'extérieur. Vous avez vu en moi ce que mon syndrome de l'imposteur ne veut pas voir. Merci d'avoir été si attentionnés, bienveillants et drôles tout en restant professionnels. Si tous les managers étaient comme vous alors le monde du travail se porterait bien mieux.

Je remercie les membres de mon comité de suivi de thèse, **Benjamin ALLES, Emmanuelle BOUQUET** et **Véronique CHEYNIER** d'avoir suivi mon travail et de m'avoir apporté leurs précieux conseils

Un très grand merci à tous les membres du collectif EnScol, **Lugdivine COCCHIELLO, Constance DE ALEXANDRIS, Christophe DUBOIS, Carole GALISSANT, Marie-Line HUC, Brice LACOMBE, Luc LIGNON, Delphine LE GONIDEC, Caroline MEJEAN, Sandrine MONNERY-PATRIS, Sophie NICKLAUS, Marlène PERIGNON, Angélique RHODAIN, Marie-Cécile ROLLIN** et **Maxime SEBBANE** et pour leur enthousiasme et pour l'intérêt qu'ils portent à notre projet. Un merci particulier à **Luc** et **Delphine** de m'avoir accueillie au milieu de leur planning chargé et de m'avoir fait découvrir les dessous des cantines et des écoles de Montpellier. Je garde un très bon souvenir de cette journée. Merci à **Christophe** pour son expertise et son aide précieuse pour la saisie de recettes. Merci également à **Marie-Line** pour ces échanges passionnants et pour son accompagnement lors des journées d'études de l'AFDN. Je suis très heureuse d'avoir pu y participer avec Florent et toi.

Je remercie les membres du **groupe Nutrition du CNRC** et **Erwan DE GAVELLE**, d'avoir accepté de nous faire participer à plusieurs de leurs réunions à distance. C'était une expérience extrêmement enrichissante.

Je remercie **Paule MOUSTIER**, directrice du laboratoire Marchés Organisations Institutions Stratégies d'Acteurs (UMR MOISA, INRA 1110, CIRAD, CIHEAM-IAMM, SupAgro, Montpellier) de m'avoir permis d'effectuer ma thèse au sein de son laboratoire. Je remercie **Caroline** et **Marlène** pour leurs apports

scientifiques et leur soutien. Merci également à **Marion** et **Zoé** pour leurs conseils de doctorantes avisées. Merci à toute l'**équipe SAND** pour leurs retours sur mon travail.

Merci à tous mes ancien·nes et actuel·les collègues de MS-Nutrition. Merci **Ségo**, de m'avoir fait tant rigoler avec tes anecdotes incroyables. Merci **Lisa**, ma voisine de bureau pendant plusieurs mois, pour tous ces joyeux moments, et pour m'avoir toujours accueillie à bras ouverts dans tes colloqs, j'ai hâte de te revoir. Merci à **Clélia**, notre voisine de couloir un temps, pour tous ces délicieux gâteaux et ces pauses en ta compagnie. Merci à **Tanguy** et **Juliette** pour leur soutien et leur gentillesse. Merci à **Brieg** et **Marcin**, mes compatriotes de stage à mes débuts chez MS-Nutrition, dont je garde de très joyeux souvenirs. Merci à **Narjess** et **Florent C.** pour leur contribution à mon travail de thèse. **Narjess**, je n'ai malheureusement pas eu la chance de te côtoyer au quotidien mais je te souhaite le meilleur pour la suite. **Florent C.**, tu as été un merveilleux stagiaire et je te souhaite également une très belle poursuite de carrière. Merci à tous les autres stagiaires que j'ai pu côtoyer : **Maxime**, **Lucile**, **Audrey**, **Anne-Fleur**, **Lainie**, **Rosalie** et **Orsolya**. Merci en particulier à **Lainie**, **Rosalie** et **Orsolya** pour leur soutien précieux pendant ma rédaction. Un immense merci à The Queen de MS-Nutrition, **Dr Rozenn** pour ton soutien et ton aide depuis le tout début de mon aventure chez MS-Nutrition, tu as toujours été là pour moi et je t'en suis éternellement reconnaissante. Te voir si brillamment réussir dans tout ce que tu entreprends m'a donné envie de me lancer dans cette thèse à mon tour. Merci aussi à ce Papa Penguin de **Benoit**, sans oublier évidemment **Tsuki**. J'ai également une pensée particulière pour votre **petite tortue Lyndis**. Merci à **Typhaine**, mon autre acolyte, pour tous ces moments passés au bureau et en dehors du bureau, notamment à boire des grenadines après le travail sur le cours Ju', tu vas beaucoup me manquer. Merci évidemment à **Andrew**, déjà pour la licence Microsoft Office et puis pour les codes d'accès aux publiés, mais surtout pour toutes ces soirées passées avec Typhaine et toi.

Merci à tous les doctorant·es des pomos colocs et de Paren(thèse) PACA. Merci en particulier à **Alice**, **Amal**, **Camylla**, **Cecilia**, **Céline**, **Claude**, **Deily**, **Florence**, **Géralde**, **Guillaume**, **Hadjar**, **Juliette**, **Katia x 3**, **Léa**, **Leïla**, **Dr Livia**, **Manon**, **Marina**, **Marie**, **Nadia**, **Ouissal**, **Priscilla**, **Seynabou**, **Sophie**, **Souhila**, **Tina**, **Yassine** et **Yoko**. Et avec une pensée particulière pour notre mascotte **Capitu**. Merci pour l'organisation de tous ces zooms, rallyes, journées, nocturnes. Je ne serai jamais arrivée au bout à temps sans votre soutien certes virtuel mais pourtant bien réel. Savoir que quelque part je n'étais jamais seule m'a permis de garder la foi malgré les aléas de la thèse. Je vous souhaite à tous de voir un jour l'aboutissement de vos projets !

Merci à l'équipe Marseillaise, le sang. Merci à mes collègues de théâtre qui, même après m'avoir lâchement abandonnée un par un, sont restés dans mon cœur. Merci **Myriam** pour ta douceur, ton écoute, tes massages, pour toutes ces sorties au théâtre, à la friche, au couvent, aux concerts avec ou sans **Florent** que je remercie aussi, merci pour ton anniversaire ressourçant et surtout cette petite balade familiale très reposante qui m'a permis d'avancer sur ma thèse... Merci de m'avoir accompagnée à Lisbonne, c'était génial. Je vous souhaite une bonne migration les pioupious. Merci **Samuel** pour cet affectueux surnom dont tu m'as affublée, je sais qu'au fond tu m'adores et c'est réciproque. Malgré tous tes horribles défauts, vous formez une merveilleuse famille avec **Anne** et **César** (sans oublier **Ganesh** le grand frère). Merci **Tamara** pour ta bonne humeur et pour ton soutien durant toute cette grossesse un peu trop longue. Merci d'ailleurs à **Bayou** pour les ronrons et pour m'avoir accueillie chez elle. Merci à tous mes camarades de théâtre de cette année : **Anne**, **Aude**, **Aurore**, **David**, **Eléonore**, **Frédérique**, **Pierre**, **Vincent**, et en particulier **Roxane** ma camarade de galères tout aussi sérieuse et assidue que moi

Merci aux folles Dijonnaises, **Anaïs**, **Claire**, **Marine**, **Mathilde**, et **Maud** pour leur soutien sans failles et pour tous ces débats passionnants autour de notre passion commune (la nourriture), j'ai hâte de vous retrouver. Merci à celles et ceux qui m'ont aussi accompagnée à AgroSup : **Laure** la franc-comtoise, **Laure** la toulonnaise, **Simon** le groupie et **Anaïs** l'alsaco-suédoise, avec qui j'ai passé des moments inoubliables à Lund. Merci aux meilleurs colocs du monde, mes colocs de Möllevångsvägen, en particulier **Federico**, **Helena** et **Marc**. Je suis très heureuse de garder le contact avec vous. Forza Azzurri !!

Merci à mes ami·es de prépa bio, je ne vous citez pas tous mais je remercie chacun·e de vous pour son soutien et sa bonne humeur, qui m'ont permis de tenir le coup au début de ces études difficiles. Merci à mes ninjas, ces femmes si brillantes, **Elisa** (et Loca), **Morgane** (et Havane) et **Amélie** d'être toujours là, merci

pour ces soirées (et ces petites partouzes !), pour les consultations véto en urgence à distance, mais surtout pour vos anecdotes complètement folles !!

Un immense merci à mes ami-es de toujours, **Amélie, Apolline, Camille, Carole, Laura, Laurène, Manon et Thibaud**. Je ne détaillerai qu'une infime partie des raisons pour lesquelles je vous aime et vous remercie. **Amélie** mon petit racoon, nous avons vécu tellement d'aventures ensemble, tu as toujours été là pour me ramasser avec ta petite cuillère alors merci, et merci aussi pour ce road trip amazing aux Etats-Unis en compagnie de Dalida ! **Apo**, alias Kevin, alias Brenda, my only love merci pour ton soutien quand je suis arrivée à Marseille, et merci de toujours rire à mes blagues. Ma douce **Camille**, merci pour ta gentillesse, ta patience, et ton humour. **Carole** ma folle, merci pour tous ces fous-rires à s'en rouler littéralement par terre. **Laura**, ma petite voisine, merci d'avoir été là sans interruption et ce dès les 1000 premiers jours de ma vie (ref de nutritionniste). **Laurène**, ma Boris, merci pour les anniversaires dans ton garage TMTC et merci pour tous les autres moments passés en ta compagnie. Ma chiante **Manon**, merci d'être une amie sur laquelle on peut toujours compter. Merci aussi à vos conjoints, chats, ect. de me supporter par extension. Merci à **Thibaud**, mon meilleur ami, qui est toujours là pour moi (surtout pour prolonger ses petites visites aux moments opportuns !) malgré la distance.

Je remercie tous mes cousins, cousines, tonton, tata & Cie pour leur soutien et leur accueil. Une pensée spéciale dans les étoiles pour ma folle dingue de tatiche qui m'a toujours encouragée dans mes études mais qui n'est malheureusement plus là pour en voir la fin. Merci pour ton soutien et merci de m'avoir donné l'envie de faire du théâtre. Merci à mes cousin-es **Amaury et Héloïse, Brice et Martin, Annabelle & Cie et Claire & Cie**. pour ces moments passés ensemble et pour leur soutien.

Merci à toutes ces personnes qui m'ont nourrie, au sens propre comme au sens figuré :

Merci à mon fiancé **Loïc** de m'avoir supportée pendant ces études interminables et d'être encore là aujourd'hui. J'ai passé beaucoup de temps à chercher les plus beaux mots à t'écrire dans ces remerciements mais aucun ne sera suffisant pour te dire à quel point je te suis reconnaissante. Merci pour ton soutien et ton amour au quotidien. T'es un chic type ! Merci **Didi** mon gros chaton pour tous ces ronrons réconfortants, pour avoir été toujours près de moi quand je rédigeais, au point de vouloir un peu trop participer, et pour me rappeler des faire des pauses. Mia Miaou. Merci à toute **la famille de Loïc**, que je considère maintenant aussi comme la mienne. Merci à **Patricia, Cloé, Pierre** et les petits neveux poilus pour tous ces bons moments en votre compagnie. Merci également à **Lionel et Claudine** pour votre soutien.

Merci à mes grands-parents que j'admire. Merci à ma **mamie Jacqueline**, ma **mamie Nicole** et mon **papy Bruno** pour leur soutien et leur amour. J'ai beaucoup de chance de vous avoir. Merci à la petite cigogne de m'avoir déposée dans cette merveilleuse famille (ou merci de m'avoir ramassée dans cette poubelle, d'après la version de certains). **Jocelin**, mon grand daubot de frère, merci d'avoir été mon modèle sur Terre, je te souhaite le plus grand des bonheurs avec **Susie**, que je remercie aussi pour son soutien. **Papa, Maman**, merci d'avoir toujours fait en sorte que je ne manque de rien. Merci de m'avoir laissée ensuite voler de mes propres ailes. Je ne vous remercierai jamais assez pour tous les sacrifices que vous avez fait et tous les kilomètres que vous avez parcourus pour nous. M'offrir ces études est le plus beau cadeau que vous pouviez me faire (avec le ski quand même !). Je vous aime.

Enfin, merci à toutes les personnes que j'aurai pu oublier mais qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de cette thèse. Merci à moi, à mon corps, de n'avoir jamais abandonné.

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

Publications :

Contribution 1 (Chapitre de livre):

Poinsot, R., Huc, M-L., Darmon, N. Alimentation en collectivité. Alimentation de l'enfant et l'adolescent, coordonné par Christophe Dupont et Noël Peretti. Collection Pedia, Elsevier-Masson [à paraître en 2022]

Contribution 2 (article publié) :

Poinsot, R., Vieux, F., Dubois, C., Perignon, M., Méjean, C., Darmon, N., on behalf of the EnScol Network, (2020), Nutritional Quality of Vegetarian and Non-Vegetarian Dishes at School: Are Nutrient Profiling Systems Sufficiently Informative? *Nutrients*, 12, 2256.

Darmon, N., Vieux, F. and Poinsot, R. et le collectif EnScol, (2020), Composition nutritionnelle des plats complets végétariens et non-végétariens proposés en restauration scolaire : une étude du collectif EnScol. WORKING PAPER MOISA 2020-3

Contribution 3 (article en cours de révision dans European Journal of Nutrition) :

Poinsot, R., Vieux, F., Maillot, M., Darmon, N. Number of meal components, nutritional guidelines, vegetarian meals, avoiding ruminant meat: what is the best trade-off for improving school meal sustainability?

Communications orales :

Poinsot, R., Vieux, F., Dubois, C., Perignon, M., Méjean, C., Huc, ML., Darmon, N. et les membres du collectif EnScol. Intérêts et limites du profilage nutritionnel (Nutri-Score et SAIN, LIM) pour analyser la qualité nutritionnelle des plats protidiques à l'école : une étude du collectif EnScol, 58^{ièmes} Journées d'Etudes de l'AFDN, 14-16 octobre 2020, Sables D'Olonne, France.

Poinsot, R., Maillot, M., Gazan, R., Vieux, F. A Web-application to reformulate recipe through optimization: proof of concept. 13th International Food Data Conference, 16-19 octobre 2019, Lisbonne, Portugal.

Poinsot, R., Gazan, R., Maillot, M., Vieux, F. MS-Food: A Shiny Webapp for nutritional reformulation of food products according to Nutri-Score® label. Lightning talks, useR! 2019, 9-12 juillet 2019, Toulouse, France.

Poinsot, R., Maillot, M., Gazan, R., Vieux, F. CACNUT : Calcul et Amélioration de la Composition Nutritionnelle de produits alimentaires industriels. Pitch Start-up et PME innovantes, Les Rendez-Vous Carnot 2018, 17-18 octobre 2018, Lyon, France.

Communications affichées :

Poinsot, R., Costagliola, F., Maillot, M., Gazan, R., Darmon, N., Vieux, F. Développement d'un outil d'optimisation du Nutri-Score et d'autres critères de durabilité : application à des plats servis en restauration scolaire, Journées Francophone de Nutrition Live, 25-27 novembre 2020. En ligne

Poinsot, R., Gazan, R. Maillot, M., Vieux, F. A web-application for nutritional reformulation of food products according to French front-of-pack "Nutri-Score" label. 13th International Food Data Conference, 16-19 octobre 2019, Lisbonne, Portugal.

Poinsot, R., Oseredczuk, M., Royer, L., Vieux, F., Darmon, D., Maillot, M. Development of a protocol based on linear programming to assess the amount of free sugars in processed foods in France. 13th International Food Data Conference, 16-19 octobre 2019, Lisbonne, Portugal.

Poinsot, R., Oseredczuk, M., Royer, L., Vieux, F., Darmon, D., Maillot, M. Development of a protocol based on linear programming to assess the amount of free sugars in processed foods in France. EuroFIR Food Forum 2019, 9-10 avril 2019, Bruxelles, Belgique.

Poinsot, R., Maillot, M., Gazan, R., Vieux, F. A Web-application to reformulate recipe through optimization: proof of concept. EuroFIR Food Forum 2019, 9-10 avril 2019, Bruxelles, Belgique. Prix du meilleur poster

SOMMAIRE

RESUMÉS	1
REMERCIEMENTS	3
PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES	6
SOMMAIRE	8
LISTE DES TABLEAUX	11
LISTE DES FIGURES	11
LISTE DES ANNEXES	11
DEFINITION DES MOTS CLÉS	12
LISTE DES ABREVIATIONS	14
AVANT-PROPOS	16
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE	17
1.1 Vers une alimentation plus durable	19
1.1.1 Le concept d'alimentation durable	19
1.1.1.1 L'urgence climatique à l'origine du concept de développement durable	19
1.1.1.2 Du développement durable à l'alimentation durable	22
1.1.2 Mesurer la durabilité de l'alimentation	23
1.1.2.1 Mesurer la dimension nutritionnelle	24
1.1.2.2 Mesurer la dimension environnementale	32
1.1.2.3 Mesurer la dimension économique	38
1.1.2.4 Mesurer la dimension socio-culturelle	38
1.1.2.5 Compatibilité entre les différentes dimensions de l'alimentation durable	39
1.1.3 Repenser la place des produits animaux dans l'alimentation	41
1.1.3.1 Enjeux nutritionnels liés à la consommation de produits animaux	41
1.1.3.2 Enjeux de santé liés à la consommation de produits animaux	45
1.1.3.3 Enjeux environnementaux liés à la consommation de produits animaux	48
1.1.3.4 Représentation des régimes végétariens en France	50
1.1.4 Identification de régimes alimentaires plus durables	51
1.1.4.1 Approches pour identifier des régimes alimentaires plus durables	51
1.1.4.2 La réduction de viande et les régimes végétariens comme modèles d'alimentation durable	52
1.1.5 Prise en compte de la durabilité dans les recommandations alimentaires	60
1.2 Situation alimentaire et nutritionnelle des enfants en France	63
1.2.1 Développement et évolution des habitudes alimentaires des enfants en France	63
1.2.1.1 Acquisition précoce des préférences et habitudes alimentaires	63

1.2.1.2	Consommations alimentaires moyennes des enfants en France et évolution depuis 2006	64
1.2.1.3	L'obésité infantile en France	66
1.2.2	Inégalités d'accès à une alimentation de qualité	67
1.2.2.1	Facteurs de risques de l'obésité	67
1.2.2.2	Inégalités sociales dans l'alimentation des enfants	68
1.2.3	Recommandations alimentaires pour les enfants	69
1.2.3.1	Recommandations alimentaires nationales du PNNS pour les enfants de 4 à 17 ans	69
1.2.3.2	Recommandations spécifiques aux régimes végétariens chez les enfants	73
1.3	Evolution de la durabilité de l'offre alimentaire en restauration scolaire (incluant la Contribution 1 , chapitre de livre).....	77
1.3.1	Histoire et organisation de la restauration scolaire en France.....	77
1.3.1.1	Histoire de la restauration scolaire en France	77
1.3.1.2	Organisation de l'offre alimentaire à l'école	78
1.3.2	La réglementation relative à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire en France	80
1.3.2.1	Des recommandations à une réglementation en France	81
1.3.2.2	Les recommandations nutritionnelles relatives à la restauration scolaire à l'international	84
1.3.3	Les enjeux de durabilité (autres que nutritionnels) en restauration scolaire	85
1.3.3.1	Enjeu de justice sociale	86
1.3.3.2	Enjeu de citoyenneté et d'éducation à l'alimentation durable	87
1.3.3.3	Récente évolution de la réglementation relative à la restauration scolaire en France, au regard des enjeux de la durabilité (2019-2021).....	88
1.3.4	La restauration scolaire, un levier d'action pour concevoir des repas plus durables.....	91
1.3.4.1	Consommations alimentaires et apports nutritionnels en restauration scolaire en France	91
1.3.4.2	Qualité nutritionnelle en restauration scolaire et impact de la réglementation ..	92
1.3.4.3	Analyse de l'impact environnemental des repas scolaires.....	95
1.3.4.4	Amélioration des repas scolaires par optimisation : applications à l'international.. ..	97
1.3.5	L'offre végétarienne en restauration scolaire en France	99
	CHAPITRE 2 : OBJECTIFS SPECIFIQUES	105
	CHAPITRE 3 : RESULTATS.....	109
3.1	Contribution 2 : Qualité nutritionnelle des plats végétariens et non-végétariens en restauration scolaire : Les systèmes de profilage nutritionnels sont-ils suffisamment informatifs ? ..	111
3.1.1	Résumé.....	111
3.1.2	Messages-clés.....	113
3.1.3	Article publié.....	113

3.1.4	Informations complémentaires à la Contribution 2.....	131
3.2	Contribution 3 : Améliorer la durabilité des repas scolaires : recherche d'un compromis entre la réduction du nombre de plats par repas, le respect des règles de fréquence de service des plats, l'augmentation du nombre de repas végétariens et la suppression de la viande de ruminants	133
3.2.1	Résumé.....	133
3.2.2	Messages clés	136
3.2.3	Article publié.....	136
3.2.4	Informations complémentaires à la Contribution 3.....	159
	CHAPITRE 4 : DISCUSSION GENERALE.....	169
4.1	Un projet de recherche participative, par et pour les acteurs de la restauration scolaire.....	175
4.1.1	Le collectif Enscol	175
4.1.2	Un travail utile pour le CNRC	176
4.1.3	Un travail utile pour l'Anses	177
4.2	Les limites de l'ACV : faut-il vraiment supprimer la viande de ruminants des repas ?	177
4.3	Potentiels freins à la végétalisation de l'offre en restauration scolaire	178
4.4	Modifier la composition des repas, une approche nécessaire mais pas suffisante pour améliorer la durabilité de la restauration scolaire	181
4.4.1	Reformuler les plats existants	181
4.4.2	Privilégier un approvisionnement en produits sous signes officiels de qualité et issus de l'agriculture biologique.....	182
4.4.3	Adapter les portions pour diminuer le gaspillage alimentaire	184
4.5	Quel futur pour la restauration scolaire durable ?.....	186
4.5.1	Vers un affichage nutritionnel (Nutri-Score) et environnemental des menus ?	186
4.5.2	Un retour vers une cuisine plus traditionnelle ?	187
4.5.3	Des initiatives des acteurs de la restauration collective pour améliorer la durabilité en restauration scolaire	188
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	191
	ANNEXES	197
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	229

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les recommandations alimentaires pour la population française, actualisées en 2017 pour les adultes	29
Tableau 2 : Les seize indicateurs préconisés par la commission européenne pour l'évaluation de l'empreinte environnementale des produits, et les limites planétaires associées.	35
Tableau 3 : Typologie des principaux régimes alimentaires	44
Tableau 4 : Les recommandations alimentaires pour la population française, actualisées en 2020 pour les enfants	72

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : La Théorie du Donut de Kate Raworth	20
Figure 2 : Evolution de la recommandation et des réglementations relatives à la composition des repas scolaires en France	81
Figure 3 : EGES moyennes de repas scolaires type, selon leur plat principal. Calculs basés sur les données issues des modélisations conduites dans la Contribution 3.....	174

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Contribution 1 : Chapitre de livre	199
Annexe 2 : Composition nutritionnelle des plats complets végétariens et non-végétariens proposés en restauration scolaire : une étude du collectif EnScol.....	203
Annexe 3 : Résumé du poster P002 « Développement d'un outil d'optimisation du Nutri-Score et d'autres critères de la durabilité : application à des plats servis en restauration scolaire » présenté aux JFN Live 2020 du 25 au 27 novembre 2020	222
Annexe 4 : Poster P002 « Développement d'un outil d'optimisation du Nutri-Score et d'autres critères de la durabilité : application à des plats servis en restauration scolaire » présenté aux JFN Live 2020 du 25 au 27 novembre 2020	224

DEFINITION DES MOTS CLÉS

Alimentation durable

Les régimes alimentaires durables sont « *des régimes alimentaires ayant de faibles conséquences sur l'environnement, qui contribuent à la sécurité alimentaire et nutritionnelle ainsi qu'à une vie saine pour les générations actuelles et futures. Les régimes alimentaires durables contribuent à protéger et à respecter la biodiversité et les écosystèmes, sont culturellement acceptables, économiquement équitables et accessibles, abordables, nutritionnellement sûrs et sains, et permettent d'optimiser les ressources naturelles et humaines* » (Burlingame & Dernini, 2012). Cette définition suggère que l'alimentation durable intègre quatre dimensions : environnementale, nutritionnelle, économique et socioculturelle.

Métrique

Appliquée à l'alimentation durable, une métrique est une donnée chiffrée qui permet de mesurer une des dimensions de l'alimentation durable (Tanzil & Beloff, 2006). Par exemple la teneur en énergie est une des métriques de la dimension nutrition.

Indicateur

Appliqué à l'alimentation durable, un indicateur est une métrique ou une combinaison de plusieurs métriques qui permet d'évaluer (« combien », « dans quelle mesure », ...) une ou plusieurs dimensions de l'alimentation durable (Veleva & Ellenbecker, 2001). Par exemple, le prix est un *indicateur* de la dimension économie mais on peut aussi le considérer comme une métrique.

Régime (ou repas ou plat) végétarien

Tout régime (ou repas ou plat) excluant la chair animale (viande, poisson et/ou fruits de mer) (Dagnelie & Mariotti, 2017). Il regroupe les régimes (ou repas ou plats) pesco-végétariens, ovo-lactovégétariens et végétaliens.

Régime (ou repas ou plat) pesco-végétarien

Régime (ou repas ou plat) végétarien incluant le poisson ou les fruits de mer mais pas la viande (Dagnelie & Mariotti, 2017).

Régime (ou repas ou plat) ovolacto-végétarien

Régime (ou repas ou plat) végétarien incluant des produits laitiers et des œufs mais pas de chair animale (Dagnelie & Mariotti, 2017). Le régime (ou repas ou plat) ovolacto-végétarien est aussi qualifié par extension de régime (ou repas ou plat) « végétarien » car le régime ovolacto-végétarien est le plus courant des régimes végétariens.

Régime (ou repas ou plat) végétalien

Régime (ou repas ou plat) végétarien excluant tout produit d'origine animale (Allès et al., 2017; Dauchet & Jung, 2019).

Courant végan

Courant qui va au-delà du régime végétalien, en refusant tout produit, alimentaire ou non, issu de l'exploitation animale (FranceAgriMer, 2019).

Régime flexitarien

Mot valise, forgé par le journaliste américain Mark Bittman dans les années 1990, composé de la contraction de « flexible » et « végétarien », (FranceAgriMer, 2019). Le terme se réfère aux individus qui cherchent à consommer le moins de viande possible, sans pour autant l'exclure complètement de leur régime. Le régime flexitarien peut aussi être parfois qualifié de « semi-végétarien ».

Viande rouge (ou viande de boucherie)

Viandes de bœuf, veau, mouton, agneau, porc, cheval, gibier ou chèvre. Bien que, dans l'usage courant, le porc soit une viande blanche (Le Petit Robert, 2021) et non une viande rouge, c'est la définition des agences de santé, incluant le porc dans les viandes rouges, qui prévaudra dans la suite du manuscrit (OMS, 2015).

Viande de ruminant

Viande issue de ruminants, c'est-à-dire des animaux herbivores polygastriques dont la digestion a totalement ou partiellement lieu en remastiquant les aliments après leur ingestion (bœuf, veau, mouton, agneau, chèvre).

Viande blanche (ou viande hors ruminant)

Viande de poulet, dinde, canard, lapin. Bien que, dans l'usage courant, le porc soit une viande blanche (Le Petit Robert, 2021) et non une viande rouge, c'est la définition des agences de santé, incluant le porc dans les viandes rouges, qui prévaudra dans la suite du manuscrit (OMS, 2015).

LISTE DES ABREVIATIONS

ACV : Analyse de cycle de vie

ADEME : Agence de la transition écologique

Afssa : Agence française de sécurité sanitaire des aliments (ancien nom de l'**Anses**)

AGS : Acides gras saturés

AICR : *American Institute for Cancer Research* (institut américain pour la recherche sur le cancer)

ALA : Acide alpha-linolénique

AMF : Association des maires de France

ANC : Apports nutritionnels conseillés

AND : Académie de nutrition et diététique

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

AUT : Aliments ultra-transformés

AVF : Association végétarienne de France

BRSA : Boissons rafraichissantes sans alcool

CCAF : Comportements et consommations alimentaires en France

CNA : Conseil national de l'alimentation

CNRC : Conseil national de la restauration collective

CNUCC : Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques

COP : Conférence des parties

CREDOC : Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie

CROUS : Centre régional des œuvres universitaires et scolaires

DALYs : *Disability adjusted life years* (Espérance de vie corrigée de l'incapacité)

DE : Densité énergétique

DGAL : Direction générale de l'alimentation

DHA : acide docosahexaénoïque

EFSA : *European food Safety Agency* (Autorité Européenne de sécurité des aliments)

EGalim : Etats généraux de l'alimentation

EGES : Emissions de gaz à effet de serre

ELFE : Etude longitudinale depuis l'enfance

ENNS : l'Étude nationale nutrition santé

EPA : Acide eicosapentaénoïque

ESTEBAN : l'Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition

FAO : *Food and Agricultural Organization of the United Nations* (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture).

GEMRCN : Groupement d'étude des marchés en restauration collective et de nutrition

GFHGNP : Groupe francophone d'hépatologie-gastroentérologie et nutrition pédiatriques

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

GPEMDA : Groupe permanent d'étude des marchés de denrées alimentaires

GRCN : Groupe restauration collective et nutrition

HCSP : Haut conseil de la santé publique

HEI : *Healthy eating index* (Indice d'alimentation saine)

IMC : Indice de masse corporelle

INCa : Institut national du cancer

INCA : l'enquête nationale sur les consommations alimentaires individuelles

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

LA : Acide linoléique

MAR : *Mean adequacy ratio* (Adéquation nutritionnelle moyenne)

MER : *Mean excess ratio* (Excès nutritionnel moyen)

OMS : Organisation mondiale pour la santé.

ONU : Organisation des Nations unies

Oqali : Observatoire de la qualité des aliments

PAI : Projet d'accueil individualisé

PAM : Programme alimentaire mondial des Nations unies.

PAT : Projets alimentaires territoriaux

PDCAAS : *Protein digestibility corrected amino acid score* (Score en acides aminés corrigé de la digestibilité)

PEF : *Product environmental footprint* (Empreinte environnementale des produits)

PNA : Programme national pour l'alimentation

PNAN : Programme national pour l'alimentation et la nutrition

PNNS : Programme national nutrition et santé

SPF : Santé publique France

USDA : *United States department of agriculture* (Département de l'agriculture des États-Unis)

WCRF : *World cancer research funds* (Fonds mondial de la recherche contre le cancer).

WHO : *World health organization* (**OMS**, Organisation mondiale pour la santé).

AVANT-PROPOS

Les habitudes alimentaires instaurées dans l'enfance, notamment à l'âge où les enfants fréquentent l'école élémentaire, sont susceptibles de se maintenir à l'âge adulte. Une alimentation équilibrée respectant les besoins nutritionnels des enfants facilite leur croissance physique et leur développement neurologique. A long terme, elle permet de prévenir l'apparition de maladies non transmissibles telles que l'obésité, les maladies cardiovasculaires ou les cancers.

L'alimentation joue également un rôle primordial dans la préservation de l'environnement. Le système alimentaire, qui comprend tous les éléments (ressources naturelles, intrants, processus, infrastructures, institutions, produits, personnes, etc.) et activités liés à la production, à la transformation, à la distribution, à la préparation, à la consommation des aliments et aux extrants de ces activités a un impact significatif sur l'environnement. Or, l'urgence du changement climatique nous pousse à repenser notre système alimentaire pour préserver nos ressources limitées et notre écosystème. Une évolution vers des consommations alimentaires plus durables (*culturellement acceptables, économiquement équitables et accessibles, abordables, nutritionnellement sûres et saines, et respectueuses de l'environnement*) est indispensable pour contribuer à atténuer les effets du changement climatique tout en garantissant la sécurité alimentaire et la santé des populations. La réduction de la consommation de produits animaux (viande, poissons, produits laitiers, œufs, ...), en particulier la viande de ruminant au profit des produits végétaux (fruits et légumes, céréales, légumineuses, ...) atténue significativement l'impact environnemental des régimes par rapport à celui des régimes omnivores habituellement consommés dans les pays occidentaux. La végétalisation de l'alimentation est un phénomène qui prend progressivement de l'ampleur en France mais touche de façon plus importante les catégories socio-professionnelles plus aisées et les plus jeunes.

En France, un service de restauration scolaire (également appelée « cantine » dans le langage commun) est proposé à 8,5 millions d'enfants par semaine, de la maternelle au lycée. Il est donc important que les repas servis à la cantine soient de bonne qualité nutritionnelle et accessibles, notamment financièrement, afin que tous les enfants scolarisés, y compris ceux issus de milieux défavorisés, aient accès une alimentation saine à l'école. Soumis à une réglementation en constante évolution, les repas proposés en restauration scolaire constituent un levier majeur pour transformer positivement l'alimentation des enfants et contribuer à réduire l'impact de l'alimentation sur l'environnement. Or, concilier toutes les dimensions de l'alimentation durable, en particulier la nutrition et l'environnement, n'est pas aisé car ces deux dimensions ne sont pas toujours compatibles. De plus, l'entrée en vigueur d'une nouvelle loi imposant l'expérimentation d'un repas végétarien par semaine dans toutes les cantines de France nécessite de s'assurer que les repas proposés restent de bonne qualité nutritionnelle.

L'objectif de cette thèse est d'identifier dans quelle mesure l'offre végétarienne peut améliorer la durabilité des repas servis à l'école élémentaire en France, en particulier dans ses dimensions nutritionnelle et environnementale.

CHAPITRE 1: INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Vers une alimentation plus durable

1.1.1 Le concept d'alimentation durable

L'urgence du dérèglement climatique nous pousse à repenser l'organisation de notre société pour préserver les ressources de notre planète sans compromettre la santé des générations présentes et à venir. La prise de conscience collective de la limitation des ressources naturelles et de l'impact de l'activité humaine sur les écosystèmes a donné naissance au concept de « développement durable ». Le concept d'alimentation durable tire son origine de celui de développement durable.

1.1.1.1 L'urgence climatique à l'origine du concept de développement durable

Depuis 1850, la température moyenne de la Terre a augmenté de 1°C (GIEC, 2019). La communauté scientifique s'accorde à attribuer majoritairement cette augmentation aux gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère par l'utilisation de combustibles fossiles et par la reconversion des sols pour l'activité humaine. Certains gaz à effet de serre comme la vapeur d'eau et le CO₂ sont naturellement présents dans l'atmosphère et contribuent à l'ajustement de la température de la Terre (Ministère de la Transition Ecologique, 2018). A l'échelle mondiale, l'activité humaine émet des gaz à effet de serre (gaz anthropiques) formés en moyenne de 81% de dioxyde de carbone (CO₂), 11% de méthane (CH₄), 5% d'oxyde nitreux (N₂O) et 2% d'hydrofluorocarbures (HFC) (Parlement Européen, 2018). Il existe néanmoins des réservoirs (naturels comme le sol, l'océan ou les plantes, ou artificiels), appelés « puits de carbone » qui sont capables de stocker des molécules de gaz à effet de serre ou un précurseur de gaz à effet de serre avant qu'il n'atteigne l'atmosphère. Or, la croissance de l'activité humaine (production d'énergies, habitations, industries, transports, agriculture, ...) dans les pays développés à économie de marché est telle que les capacités d'absorption actuelles des puits de carbone ne permettent pas de compenser l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre (EGES) (GIEC, 2019). L'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère provoque un effet de serre additionnel qui réchauffe globalement la planète (Ministère de la Transition Ecologique, 2018). De plus, l'activité humaine menace environ 25% des espèces animales et végétales, soit 1 million d'espèces au total. C'est en grande partie l'exploitation massive des terres pour l'agriculture, l'exploitation des forêts, l'élevage, la chasse et la pêche qui en sont responsables (IPBES, 2019). Si les EGES se poursuivent au même rythme, un réchauffement de 1,5°C pourrait être atteint entre 2030 et 2050 (GIEC, 2019). Au-delà d'un réchauffement de 2°C, les conséquences sur la santé des personnes et des espèces animales seraient dramatiques : augmentation de la température moyenne, élévation du niveau de la mer, chaleurs extrêmes dans la plupart des zones habitées, épisodes de fortes précipitations, augmentation de la probabilité de sécheresse et de déficits de précipitations dans plusieurs régions, accélération du phénomène de perte de la biodiversité (GIEC, 2019; IPBES, 2019).

Une équipe de chercheurs a identifié neuf processus naturels régissant l'état de la planète. Ces neuf phénomènes environnementaux comprennent le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, la perturbation des cycles biochimiques de l'azote et du phosphore, les modifications des usages des sols, l'utilisation d'eau douce, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, l'acidification

des océans, l'augmentation des aérosols dans l'atmosphère et la pollution chimique (Rockström et al., 2009). Les limites planétaires correspondent aux seuils, exprimés en volumes extraits ou émis, à ne pas franchir dans chaque processus, afin de ne pas compromettre le développement de l'humanité dans un écosystème sûr. L'économiste Kate Raworth reprend ce concept pour développer sa « Théorie du Donut » (Raworth, 2012). Elle ajoute au « plafond environnemental », formé par les neuf limites planétaires, un « plancher social » retenant onze nécessités : une alimentation saine et nutritive, l'accès à l'eau potable et à l'hygiène, l'accès aux soins de santé, à une éducation gratuite, à un logement décent, à des services énergétiques adéquats, à des revenus suffisants et à des réseaux de transport et d'information. Le plancher social et le plafond environnemental délimitent un espace sûr et juste pour l'humanité, représenté par un « Donut » (Figure 1).

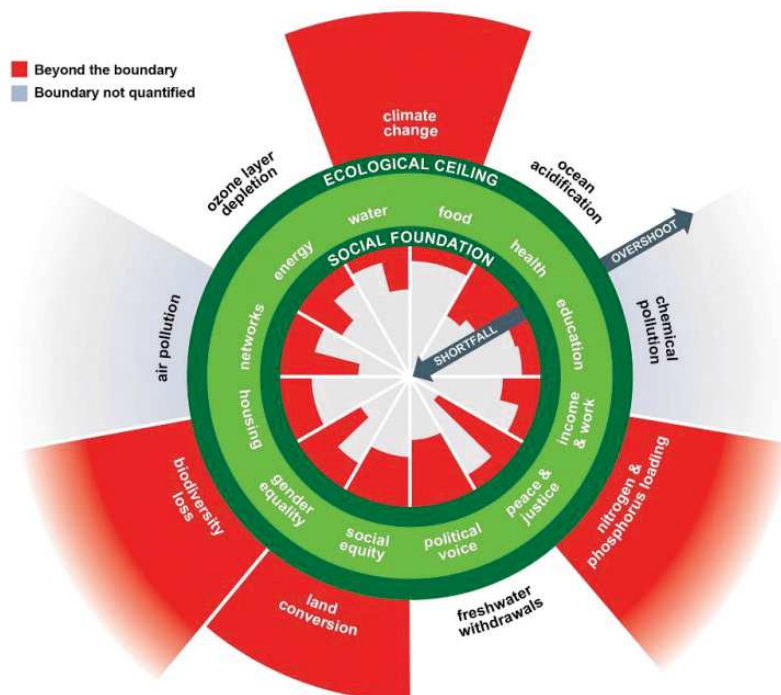


Figure 1 : La Théorie du Donut de Kate Raworth comprend onze nécessités (« social fondation ») et neuf limites planétaires à ne pas dépasser (« ecological ceiling ») pour une économie durable. Sur les neuf limites planétaires, quatre sont déjà dépassées (en rouge) (source : <https://www.oxfamfrance.org/actualite/la-theorie-du-donut-une-nouvelle-economie-est-possible>).

C'est en 1980, dans un rapport de l'Union Internationale de la Conservation (UICN) qu'est apparu pour la première fois le concept de « développement durable » (UICN et al., 1980). Ce concept repose sur un modèle de développement économique et social des sociétés humaines qui prend en compte son impact environnemental (préservation des ressources naturelles). Le concept basé sur les trois dimensions que sont l'économie, le social et l'environnement a été repris en 1987 dans le rapport Brundtland de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement, qui y ajoute l'importance de « répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des futures générations à répondre aux leurs » (Brundtland, 1987). Une première action politique pour protéger l'environnement est mise en place à partir de 1972 à l'occasion de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, ou « Sommet de la Terre » à Stockholm donnant naissance au

Programme des Nations unies pour l'environnement (Nations Unies, 2002). En 1992 le « Sommet de la Terre » s'est tenu à Rio de Janeiro et a abouti à la signature de la Déclaration de Rio par 178 pays, obligeant les signataires à respecter 27 principes pour parvenir à un développement durable (Nations Unies, 1992b) et à l'adoption de Action 21, un plan d'actions pour mettre en œuvre les principes de la déclaration (Nations Unies, 2005). La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), qui est le premier traité international sur le changement climatique, a également été adoptée lors du Sommet de la Terre à Rio (Nations Unies, 1992a). Les 196 Etats et l'Union Européenne qui l'ont ratifiée s'engagent à fixer les EGES « à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique » et à se réunir chaque année à partir de 1995 au cours d'une « conférence des parties » (COP) pour fixer des objectifs de réduction des EGES. Le protocole de Kyoto adopté en 1997 lors de la 3^{ème} COP (COP3) et entré en vigueur en 2005 visait à réduire entre 2008 et 2012 d'au moins 5% les EGES par rapport au niveau de 1990 dans les 38 pays les plus développés en 1990 (Nations Unies, 1997). L'accord n'engageait pas de sanctions dans les faits et en 2012, l'objectif de réduction a été atteint malgré l'absence de ratification des Etats-Unis et le retrait du Canada en 2011 (Vie-publique.fr, 2019). Cependant, les 38 pays concernés ne représentaient plus que 36% des EGES mondiales en 2010. En décembre 2015, l'accord de Paris ratifié à l'issue de la 21^{ème} COP (COP21) a succédé à l'accord de Kyoto et est encore en vigueur aujourd'hui. Il engage l'ensemble des 195 nations représentées à ne pas dépasser un réchauffement planétaire de 2°C d'ici 2100, en le limitant autant que possible à 1,5°C (Nations Unies, 2015a).

Les préoccupations des scientifiques font écho aux objectifs du programme de développement durable de l'Organisation des Nations Unies (ONU) à atteindre avant 2030. Les dix-sept objectifs adoptés en septembre 2015 par l'ensemble des Etats membres de ONU sont : (1) Pas de pauvreté ; (2) Faim « zéro » ; (3) Bonne santé et bien-être ; (4) Education de qualité ; (5) Egalité entre les sexes ; (6) Eau propre et assainissement ; (7) Energie propre et d'un coût abordable ; (8) Travail décent et croissance économique ; (9) Industrie, innovation et infrastructure ; (10) Inégalités réduites ; (11) Villes et communautés durables ; (12) Consommation et production responsables ; (13) Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques ; (14) Vie aquatique ; (15) Vie terrestre ; (16) Paix, justice et institutions efficaces ; (17) Partenariats pour la réalisation des objectifs (Nations Unies, 2015b).

Les pays membres du groupe des vingt (G20, composé des vingt pays les plus riches¹), représentent environ 78 % des EGES mondiales (United Nations Environment Programme, 2020). En 2020, leurs politiques de réduction des EGES étaient encore insuffisantes pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris puisqu'ils conduiraient à une élévation des températures de 3°C d'ici 2100. Le niveau d'EGES mondiales compatibles avec l'objectif de réchauffement de 1,5°C correspond à une réduction de 52,3% par rapport au niveau de 2019. Environ deux tiers des EGES sont liées aux activités domestiques privées (mobilité, résidence et denrées alimentaires) (United Nations Environment Programme, 2020). De plus, sur les neuf limites planétaires identifiées, quatre sont déjà dépassées ou en passe de l'être (Figure 1) : le changement climatique, l'érosion de la biodiversité et la perturbation

¹ Afrique du Sud, Allemagne, Arabie Saoudite, Argentine, Australie, Brésil, Canada, Chine, Etats-Unis, France, Inde, Indonésie, Italie, Japon, Mexique, République de Corée, Royaume Uni, Russie, Turquie, Union Européenne.

des cycles biochimiques de l'azote et du phosphore (Steffen et al., 2015). Il est donc urgent de repenser nos modes de vie afin de contribuer à atténuer le réchauffement climatique et ainsi préserver nos écosystèmes.

1.1.1.2 Du développement durable à l'alimentation durable

Dans la démarche de développement durable, l'alimentation représente un poids important et de nombreux défis. L'alimentation des ménages représente plus d'un quart (26%) des EGES dans le monde (Poore & Nemecek, 2018) et 24% en France (Barbier et al., 2019). La moitié des surfaces habitables et 70% de l'eau douce sont dédiés à l'agriculture (FAO, 2011). Depuis 2014, l'insécurité alimentaire² totale progresse dans le monde et touchait en 2019 près de 2 milliards de personnes, soit 25,9 % de la population mondiale alors que la prévalence de l'obésité chez les adultes continue de progresser de 2,6 % par an (FAO et al., 2020).

C'est en 2010, lors du symposium international « Biodiversité et régimes alimentaires durables unis contre la faim » organisé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (*Food and Agricultural Organization of the United Nations*, FAO) et Bioversity International, que le concept de développement durable a été appliqué à l'alimentation (Burlingame & Dernini, 2012). Les régimes alimentaires durables ont été définis comme « *des régimes alimentaires ayant de faibles conséquences sur l'environnement, qui contribuent à la sécurité alimentaire et nutritionnelle ainsi qu'à une vie saine pour les générations actuelles et futures. Les régimes alimentaires durables contribuent à protéger et à respecter la biodiversité et les écosystèmes, sont culturellement acceptables, économiquement équitables et accessibles, abordables, nutritionnellement sûrs et sains, et permettent d'optimiser les ressources naturelles et humaines* ». Cette définition suggère que l'alimentation durable intègre quatre dimensions : environnementale, nutritionnelle, économique et socioculturelle.

En 2019, la FAO et L'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) se sont accordées sur des principes directeurs pour une « alimentation saine et durable » en remplaçant la dimension santé au centre du concept (FAO & OMS, 2019). Ainsi, en se basant sur les modèles des dix-sept objectifs des nations Unies, seize « principes directeurs » ont été répartis selon trois dimensions de l'alimentation durable, la dimension socio-culturelle incluant la dimension économique. Les régimes alimentaires sains et durables doivent donc :

- dimension santé : (1) commencer dès le plus jeune âge en favorisant l'allaitement et une diversification alimentaire adéquate ; (2) favoriser les aliments peu ou pas transformés et la diversité des groupes alimentaires ; (3) introduire des céréales complètes, légumineuses, fruits à coques, fruits et légumes ; (4) contenir des quantités modérées d'œufs, produits laitiers, volailles et poissons et de faibles quantités de viande rouge ; (5) faire de l'eau la boisson de référence (6) subvenir aux besoins énergétiques et nutritionnels de chacun ; (7) être en adéquation avec les lignes directrices de l'OMS pour réduire le risque de maladies non

² Une personne est en situation d'insécurité alimentaire lorsqu'elle n'a pas un accès régulier à suffisamment d'aliments sains et nutritifs pour une croissance et un développement normaux et une vie active et saine

transmissibles liées à l'alimentation et assurer la santé et bien-être de la population (8) ne pas contenir (ou contenir un minimum) de substances toxiques.

- dimension environnementale : (9) maintenir les EGES, l'utilisation d'eau et des terres et les pollutions chimiques dans les objectifs fixés ; (10) préserver la biodiversité ; (11) minimiser l'utilisation d'antibiotiques et d'hormones dans les productions alimentaires (12) minimiser l'utilisation de plastique (13) réduire le gaspillage et les pertes alimentaires.
- dimension socio-culturelle : (14) respecter la culture locale, les pratiques alimentaires, les connaissances et modes de consommation, ainsi que les valeurs relatives à l'origine, à la production et à la consommation des aliments ; (15) être accessibles et désirables (16) éviter les effets négatifs liés au genre, notamment en ce qui concerne l'allocation de temps.

D'un point de vue plus global, le système alimentaire comprend tous les éléments (ressources naturelles, personnes, intrants, processus, infrastructures, institutions, produits, etc.) et activités liées à la production, à la transformation, à la distribution, à la préparation et à la consommation des aliments et aux extrants de ces activités, y compris les impacts socio-économiques et environnementaux (HLPE, 2014). L'étape de gestion des déchets peut également être prise en compte dans les systèmes alimentaires (FAO & INRAE, 2020). Un système alimentaire durable a été défini par la FAO comme un système alimentaire qui assure la sécurité alimentaire et la nutrition de tous sans compromettre les bases économiques, sociales et environnementales de la sécurité alimentaire et de la nutrition des générations futures (FAO & INRAE, 2020).

Pour réussir la transition vers des systèmes alimentaires plus durables et réduire l'impact environnemental de l'alimentation, plusieurs leviers d'amélioration ont été envisagés. Au stade agricole, l'évolution de l'usage des sols et des pratiques agricoles permettrait de diminuer les EGES à cette étape, qui représente la majorité, soit deux tiers, des EGES liées à l'alimentation (Barbier et al., 2019; Poore & Nemecek, 2018; Searchinger et al., 2018). Les industries agroalimentaires ont également l'opportunité d'innover pour améliorer la durabilité lors de la transformation des aliments (Poore & Nemecek, 2018; WWF & Solagro, 2019). Les pratiques de distribution des biens alimentaires offrent par ailleurs des possibilités d'évolution (Barbier et al., 2019). La réduction des pertes et gaspillage et la valorisation des déchets et sous-produits reste primordiale (Barbier et al., 2019; Springmann et al., 2018a). Enfin, une évolution de la demande vers des choix alimentaires plus durables semble être la voie la plus efficace pour atténuer les effets du changement climatique sur l'ensemble du système alimentaire tout en garantissant la sécurité alimentaire et la santé des populations (Garnett, 2011). Néanmoins, toutes les mesures doivent être appliquées simultanément pour rester dans les limites planétaires environnementales (Springmann et al., 2018a).

1.1.2 Mesurer la durabilité de l'alimentation

Afin d'identifier des choix alimentaires plus durables, il est nécessaire de disposer d'outils pour pouvoir mesurer la durabilité de l'alimentation. C'est pourquoi il existe plusieurs métriques et indicateurs, associés à chacune des dimensions de l'alimentation durable. Une *métrique* est renseignée par des données chiffrées (Tanzil & Beloff, 2006). Par exemple la teneur en énergie est une des métriques de la dimension nutrition. Un *indicateur* est une métrique ou une combinaison de de

plusieurs métriques qui permet d'évaluer (« combien », « dans quelle mesure », ...) une ou plusieurs dimensions de l'alimentation durable (Veleva & Ellenbecker, 2001). Par exemple, le prix est un *indicateur* de la dimension économie mais on peut aussi le considérer comme une métrique. L'évaluation de la durabilité de l'alimentation consiste ensuite à utiliser plusieurs *indicateurs* pour évaluer les différentes dimensions simultanément.

1.1.2.1 Mesurer la dimension nutritionnelle

Une alimentation équilibrée est indispensable au maintien de la santé humaine. Elle apporte l'énergie les nutriments et autres constituants contenus dans les aliments qui sont stockés ou utilisés par l'organisme. Pour chaque nutriment, des références nutritionnelles ont été scientifiquement établies en Europe par l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA) et en France par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). Le lien entre alimentation et santé est clairement établi. Une alimentation nutritionnellement déséquilibrée peut avoir des effets à long terme sur l'apparition et le développement de maladies chroniques non transmissibles (Anses, 2016b; WHO, 2003). C'est pourquoi, il est important de traduire ces références nutritionnelles en recommandations compréhensibles du grand public.

Les références nutritionnelles

En premier lieu, l'énergie permet le fonctionnement des processus métaboliques qui maintiennent une masse corporelle, une composition corporelle et un niveau d'activité physique compatibles avec une bonne santé à long terme (EFSA, 2013). L'apport énergétique est en adéquation avec le besoin énergétique de l'individu lorsqu'il est égal à la dépense énergétique totale. La dépense énergétique totale inclut le métabolisme basal (qui est la quantité d'énergie nécessaire pour alimenter les fonctions vitales corporelles au repos), l'effet thermique des aliments (qui est le coût énergétique de l'absorption et du métabolisme des aliments consommés) et l'énergie dépensée par l'activité physique. Chez les enfants, la croissance et le développement optimal s'ajoutent aux dépenses énergétiques. Lorsque l'organisme est en équilibre énergétique, les réserves d'énergie dans le corps sont stables (Hill et al., 2012).

Les besoins énergétiques d'un individu, à activité physique constante, dépendent de son âge, de son sexe, de son poids et de sa taille (Henry, 2005). L'énergie est apportée par les macronutriments : glucides, lipides et protéines. On distingue les glucides complexes des glucides simples (ou « sucres »). L'excès de sucres peut entraîner du surpoids, de l'obésité, du diabète de type II ou des maladies cardiovasculaires (Anses, 2018). Les lipides sont des constituants des membranes cellulaires et sont stockés dans les cellules du tissu adipeux (adipocytes). Certains lipides, comme les acides gras saturés (AGS) et le cholestérol sont des facteurs de risque de maladies cardiovasculaires lorsqu'ils sont consommés en excès (Anses, 2021c). Les protéines jouent un rôle structurel et participent à de nombreux processus physiologiques. Elles constituent la seule source d'azote pour l'organisme (Anses, 2019b). Compte tenu de leurs différences de structure, tous les macronutriments ne sont pas métabolisés de la même façon dans l'organisme. Ainsi, un apport d'un gramme de lipides apportera 9 kcal d'énergie alors qu'un gramme de protéines ou de glucides apportera 4 kcal d'énergie. L'éthanol contenu dans les boissons alcoolisées contribue également à la production d'énergie de l'ordre de 7 kcal/g (EFSA, 2013).

Chaque nutriment apporté par l'alimentation joue un rôle spécifique dans la croissance, le développement, et la santé tout au long de la vie (EFSA, 2010b). Le besoin nutritionnel peut être défini comme la quantité minimale d'un nutriment devant être consommée par un individu pour favoriser sa bonne santé (Anses, 2016a). Le besoin nutritionnel varie selon l'âge, le sexe, le statut physiologique (par exemple la croissance ou la grossesse) des individus ou en encore des facteurs génétiques ou comportements propres à chaque individu (EFSA, 2010b). En raison de ces nombreux facteurs, il n'est pas possible de connaître précisément le besoin exact en un nutriment donné pour un individu donné. En revanche, il est possible de s'appuyer sur les références nutritionnelles établies pour la sous-population à laquelle il appartient pour l'approximer. Les références nutritionnelles fixées par l'ANSES regroupent le Besoin Nutritionnel Moyen (BNM), la Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP), l'Apport Satisfaisant (AS), l'Intervalle de Référence (IR) et la Limite Supérieure de Sécurité (LSS) (Anses, 2016a).

Le BNM est estimé par des études expérimentales sur le métabolisme des nutriments, réalisées auprès d'un faible nombre d'individus (Anses, 2016a). Les études expérimentales permettent d'estimer les besoins nets des individus en prenant en compte la biodisponibilité définie comme la proportion de nutriment ingéré qui est absorbée et utilisée par les voies métaboliques (Gibson, 2007). La biodisponibilité varie en fonction de l'individu (âge, sexe, génotype, statut physiologique, état de santé) mais aussi de l'aliment (matrice alimentaire, préparation, interaction avec les autres aliments). Le BNM correspond à la moyenne des besoins nutritionnels individuels estimés au sein d'un groupe limité d'individus (Anses, 2016a).

La RNP est estimée à partir du BNM auquel on ajoute deux écart-types, pour déterminer ainsi l'apport qui couvre le besoin de 97,5% de la population (Anses, 2016a). L'écart-type étant le plus souvent estimé à 15 % du BNM, la RNP vaut alors 1,3 fois le BNM. La RNP est l'apport qui est censé couvrir le besoin de presque toute la population considérée. Cette définition consensuelle correspond à celle de l'ancien terme Apport nutritionnel conseillé (ANC) qui était un terme également utilisé par extension pour définir l'AS et l'IR, actuellement distincts.

L'AS est la référence nutritionnelle retenue quand le BNM et donc la RNP ne peuvent pas être estimés faute de données suffisantes, ou lorsque la valeur de la RNP peut être estimée mais n'est pas jugée satisfaisante au regard d'observations de populations à long terme (Anses, 2016a). En effet, lorsque des données concernant les relations entre les apports en certains nutriments et la modulation du risque de pathologie à long terme existent, elles peuvent être prises en compte pour définir un AS. L'AS est défini comme l'apport moyen d'une population ou d'un sous-groupe pour lequel le statut nutritionnel est jugé satisfaisant.

L'IR est une référence nutritionnelle spécifique aux macronutriments, exprimée en pourcentage de l'apport énergétique total (Anses, 2016a). Il correspond à l'intervalle d'apports considérés comme satisfaisants pour le maintien de la population en bonne santé.

La LSS est estimée par une évaluation des risques, c'est-à-dire une identification puis une caractérisation du risque (Anses, 2016a). Elle correspond à l'apport journalier chronique maximal

d'une vitamine ou d'un minéral, considéré comme peu susceptible de présenter un risque d'effets indésirables sur la santé de toute la population.

Les premières références nutritionnelles pour les protéines, l'énergie et huit vitamines et minéraux ont été élaborées aux Etats-Unis en 1941 par le Conseil national de la recherche des États-Unis à la demande de la Commission consultative de la défense nationale (National Research Council, 1941). Elles étaient destinées à la population civile. En France, elles ont fait leur apparition en 1981 sous l'appellation d'ANC (Dupin & François, 1981). L'Anses les a réévaluées en 2001 (Martin, 2001) puis mises à jour en 2016 pour la population adultes (femmes de 18 à 54 ans et hommes de 18 à 64 ans) uniquement (Anses, 2016a). Les références relatives aux protéines et aux acides gras ont été révisées respectivement en 2007 (Afssa, 2007) et 2011 (Anses, 2011) et n'ont donc pas eu à faire l'objet d'une nouvelle actualisation. En avril 2021, l'Anses a réévalué les références nutritionnelles en vitamines et minéraux pour les populations spécifiques (nourrissons, enfants, adolescents, femmes enceintes, femmes allaitantes et personnes âgées) (Anses, 2021a).

Les références nutritionnelles servent de base pour formuler des recommandations (EFSA, 2010b). Par exemple, l'EFSA recommande un apport en calcium de 1000 mg/j pour les adultes de 18 à 24 ans, et 950 mg/j pour les adultes de 25 ou plus ans (EFSA, 2015). Sur la base des travaux de l'EFSA, la référence nutritionnelle de 1000 mg/j a été retenue par l'Anses dans son rapport « Actualisation des repères du PNNS: élaboration des références nutritionnelles » comme le niveau permettant de couvrir les besoins de l'ensemble de la population adulte, quelle que soit la tranche d'âge (Anses, 2016c).

Les tables de composition nutritionnelle des aliments

Pour pouvoir estimer la qualité nutritionnelle d'une alimentation, il est nécessaire de connaître les teneurs en nutriments des aliments qui la composent. Il serait possible d'estimer la teneur en chaque nutriment des aliments consommés par des méthodes expérimentales mais, cette procédure requiert du temps et il est surtout inenvisageable de recueillir pour chaque étude un échantillon de chaque aliment qu'un individu consomme. Des bases de données répertorient les valeurs nutritionnelles pour plusieurs aliments. Il s'agit de teneurs moyennes représentatives des aliments habituellement consommés dans l'environnement géographique considéré (généralement par pays). En France, la base Ciqual est la base nationale de composition nutritionnelle des aliments mise à disposition par l'Observatoire de la qualité des aliments (Oqali) de l'Anses (Anses, 2020). Mise à jour pour la dernière fois en 2020, elle recense 3185 aliments et 67 constituants. Par ailleurs, la table de composition des aliments Nutrinet indique la composition en 42 nutriments de 2122 aliments consommés par les participants de l'étude de cohorte française NutriNet-Santé (Arnault et al., 2013).

Les recommandations alimentaires

Les références nutritionnelles sont utiles et nécessaires pour tous les professionnels du secteur de la nutrition et de la santé. Pour la population générale, en revanche, les références nutritionnelles sont difficiles à appréhender. En effet, les individus consomment des aliments et non des nutriments.

Ces aliments contiennent différents niveaux de différents nutriments et sont combinés pour former un régime alimentaire. Des régimes alimentaires inadéquats peuvent aboutir à des carences ou des excès en nutriments, qui ont un impact délétère sur la santé des individus. De plus, les bénéfices pour la santé de certains modèles de régimes alimentaires ont été démontrés, parfois sans qu'un nutriment en particulier n'ait été identifié (OMS & FAO, 1998). Par exemple, les régimes alimentaires riches en fruits et légumes permettraient de réduire significativement les risques de cancer du poumon grâce à la combinaison de vitamines et d'antioxydants qu'ils contiennent, alors qu'une supplémentation en β -carotène seul n'a pas d'effet sur la diminution du risque de cancer du poumon. Les références nutritionnelles sont donc traduites en recommandations nutritionnelles fondées sur le choix des aliments (recommandations alimentaires), présentées sous forme de guides alimentaires propres à chaque pays (Anses, 2016c; FAO, 2021). Le guide alimentaire est un document de communication regroupant l'ensemble des recommandations alimentaires formulées pour être compréhensibles et acceptables par la population.

Les recommandations alimentaires sont des conseils alimentaires adaptés aux habitudes culturelles de chaque pays ou région dans l'objectif de contribuer à la prévention des maladies chroniques liées à la nutrition (OMS & FAO, 1998). De plus, les approches de prévention nutritionnelle, et plus largement de prévention de la santé, sont considérées comme des opportunités pour faire des bénéfices économiques. En effet, une récente étude du McKinsey Global Institute montre que pour un dollar investi dans la prévention globale de la santé (promouvoir des environnements - travail, écoles, villes, ...- et des comportements sains, revoir l'organisation du système de santé, investir dans les innovations) deux à quatre dollars pourraient être apportés au PIB en retour (Mc Kinsey Global Institute, 2020). La FAO recommande aux pays de développer leurs propres recommandations alimentaires basés sur les pratiques alimentaires et les problématiques locales de santé publique (OMS & FAO, 1998). En 2019, 90 pays avaient développé leur propres recommandations alimentaires 7 en Afrique, 17 en Asie et Océanie, 33 en Europe, 27 en Amérique latine et aux Caraïbes, quatre au Proche-Orient et deux en Amérique du Nord - dont 78 disposaient d'un guide (FAO, 2021; Herforth et al., 2019).

En France, le Programme National Nutrition et Santé (PNNS) a été mis en place en 2001. Il vise à « améliorer l'état de santé de l'ensemble de la population en agissant sur l'un de ses déterminants majeurs qu'est la nutrition » (Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 2001). Depuis 2014, c'est le Comité interministériel pour la santé qui a la charge du bon déroulement du PNNS (Ministère des Solidarités et de la Santé, 2019). En s'appuyant sur les consommations observées des Français et les références nutritionnelles, l'Anses établit le socle scientifique nécessaire à l'actualisation des repères de consommations alimentaires en France (Anses, 2016c). A partir de ce travail, le Haut Conseil de la Santé publique (HCSP) fixe les repères alimentaires, renouvelés tous les cinq ans (HCSP, 2017). Les repères sont ensuite traduits par Santé publique France (SPF) en messages compréhensibles par le grand public (Santé publique France, 2019).

En 2001, pour le PNNS 1 (2001-2006), neuf objectifs nutritionnels généraux ont été identifiés comme prioritaires comme augmenter la consommation de fruits et légumes, augmenter les apports en calcium, réduire de 20% la prévalence du surpoids et de l'obésité ou augmenter l'activité physique

(Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 2001). Neufs autres objectifs spécifiques à des populations ciblées ont été définis : améliorer le statut en fer, en calcium et en vitamine D des enfants et des adolescents ou réduire la fréquence des déficiences vitaminiques et minérales et de la dénutrition parmi les populations en situation de précarité. Pour atteindre ces objectifs, les politiques publiques ont déployé des axes stratégiques tels que l'information et l'orientation des consommateurs vers des choix alimentaires et un état nutritionnel satisfaisant, l'éducation des jeunes, ou l'implication des professionnels de la restauration collective (Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 2001). Les actions visant à orienter les choix alimentaires se font sous la forme de recommandations alimentaires correspondant aux objectifs du PNNS et contenus dans le guide alimentaire. Depuis 2019, le terme de « recommandations alimentaires » est préféré à celui de « repères de consommation » car il rencontre une meilleure adhésion auprès du public (Santé publique France, 2019). Le PNNS 1 se composait de huit recommandations alimentaires dont le célèbre « manger au moins cinq fruits et légumes par jour ». Le PNNS 1 a été suivi par trois actualisations : le PNNS 2 (2006-2010), le PNNS 3 (2011-2015) et le PNNS 4 (2019-2023).

Le PNNS en cours (PNNS 4, 2019-2023) présente la révision des recommandations alimentaires de 2001 en s'appuyant sur les avis scientifiques de l'Anses relatifs à l'actualisation des références nutritionnelles (Anses, 2016a), et sur l'étude des relations entre la consommation de groupes d'aliments et le risque de maladies chroniques non transmissibles (Anses, 2016b). Les recommandations grand public à destination des adultes ont été publiées en 2019 (Santé publique France, 2019), mais celles concernant des populations spécifiques comme les enfants sont encore en cours d'actualisation (voir partie 1.2.4). Les ambitions de ce nouveau PNNS sont d'augmenter l'activité physique, réduire la sédentarité, et améliorer les consommations alimentaires et les apports nutritionnels tout en prenant en compte « les enjeux de développement durable » (Ministère des Solidarités et de la Santé, 2019).

L'EFSA préconise la mise en œuvre de techniques d'optimisation pour aider au développement de recommandations alimentaires (EFSA, 2010a). Les nouvelles recommandations du PNNS 4 ont été développées en tenant compte des résultats d'une optimisation (voir partie 1.1.4.2, « approches multicritères basées sur l'optimisation ») nutritionnelle des régimes alimentaires (Mariotti et al., 2021). L'approche vise à déterminer des « profils alimentaires sains » (« Healthy eating patterns ») pour la population adulte (hommes de 18 à 64 ans et femmes de 18 à 54 ans) française en bonne santé, et non allergique. La couverture des besoins nutritionnels, la réduction des maladies chroniques non transmissibles et la minimisation des expositions aux contaminants présents dans les aliments étaient considérés dans le modèle d'optimisation. Les régimes alimentaires optimisés se rapprochaient le plus possible des consommations alimentaires observées en moyenne dans les populations considérées (Mariotti et al., 2021). Douze nouvelles recommandations alimentaires ont ainsi été établies par le HCSP (Tableau 1) (HCSP, 2017). Par rapport aux recommandations précédentes, les légumineuses et les céréales complètes ont été détachées du groupe des féculents, et les fruits à coques ont été détachés du groupe des fruits et légumes pour avoir leurs propres recommandations de consommation. Le groupe des viandes, poissons et œufs a été éclaté en volaille, viande hors volailles, produits de la pêche et charcuterie. Les pommes de terre, les œufs, et les produits céréaliers raffinés

ne font l'objet d'aucune recommandation nutritionnelle spécifique et peuvent être consommés dans la limite du respect des autres recommandations. La recommandation sur les produits laitiers est passée de trois à deux fois par jour pour les adultes. Les nouvelles recommandations publiées par SPF intègrent les consommations alimentaires, l'activité physique et la sédentarité mais également la protection de l'environnement, en considérant pour la première fois cette dimension de l'alimentation durable (voir partie 1.1.5) (Santé publique France, 2019). Trois types de conseils sont distingués : « augmenter », « aller vers » (pour un changement progressif des habitudes) ou « réduire » (Tableau 1) qui s'inspire du « One-Minute advice » suédois (Livsmedelsverket, 2015).

Tableau 1 : Les recommandations alimentaires pour la population française, actualisées en 2017 pour les adultes

Groupe alimentaire	Recommandation principale	Recommandation simplifiée
Fruits et légumes	Au moins cinq fois par jour	Augmenter
Fruits à coque sans sel ajouté	Une petite poignée par jour	Augmenter
Légumineuses	Au moins deux fois par semaine	Augmenter
Produits céréaliers complets et peu raffinés	À consommer tous les jours, en privilégiant les produits complets ou peu raffinés par rapport aux produits raffinés	Aller vers
Produits laitiers	Deux fois par jour	Aller vers (une consommation suffisante mais limitée)
Viande rouge	Limiter la consommation de viande rouge et privilégier la consommation de volaille	Réduire
Poissons et fruits de mer	Deux fois par semaine	Aller vers (une consommation de poissons gras et poissons maigres en alternance)
Charcuterie	Limiter la consommation	Réduire
Matières grasses ajoutées	Éviter les consommations excessives. Privilégier les huiles de colza, de noix (riches en ALA) et d'olive sans augmenter la quantité habituelle de matières grasses ajoutées	Aller vers (l'huile de colza, de noix et d'olive)
Produits sucrés	Limiter la consommation	Réduire
Boissons	La seule boisson recommandée est l'eau (à volonté)	Réduire (les boissons sucrées)
Sel	Réduire la consommation	Réduire

Indicateurs de qualité nutritionnelle à l'échelle du régime alimentaire

Les recommandations nutritionnelles peuvent servir de base au calcul d'indicateurs de qualité nutritionnelle des régimes alimentaires en mesurant l'adéquation du régime aux recommandations. Les indicateurs de qualité nutritionnelle permettent d'évaluer un régime alimentaire dans sa globalité, en favorisant une approche plus globale plutôt qu'une mesure nutriment par nutriment.

Indicateurs de qualité nutritionnelle basés principalement sur les consommations d'aliments :

Des indicateurs basés sur les consommations alimentaires ont été développés en lien avec les recommandations alimentaires nationales ou avec des régimes identifiés comme sains. En France, le PNNS Guideline-score 2 (PNNS-GS2) évalue la qualité nutritionnelle de l'alimentation au travers de l'adéquation aux recommandations alimentaires qui ont été actualisées en 2017 (Chaltiel et al., 2019). Les consommations alimentaires sont évaluées au regard de chacun des douze critères, apportant chacun de -2 à 2 points selon les paliers. Il a été montré qu'un PNNS-GS2 élevé était associé à de meilleurs apports nutritionnels (Chaltiel et al., 2019) et à des risques moins élevés de mortalité, de cancer colorectal, de cancer du sein, et de maladies cardiovasculaires (Chaltiel et al., 2021). De la même façon, aux Etats-Unis, le « Healthy Eating Index » (HEI), basées sur treize composantes, mesure l'alignement des consommations alimentaires de la population américaine avec les recommandations nationales de 2015-2020 (Krebs-Smith et al., 2018). Les personnes consommant des régimes alimentaires à fort HEI présentaient une réduction significative du risque de mortalité toutes causes confondues, de maladies cardio-vasculaires, de cancer, de diabète de type 2 et de maladies neurodégénératives (Schwingshackl et al., 2018). Le « Mediteranean Diet Score » (MDS) mesure l'adhésion des consommations alimentaires au régime méditerranéen, qui favorise l'augmentation des aliments d'origine végétale comme l'huile d'olive, les fruits et légumes, le poisson et la réduction de viande (Martínez-González et al., 2002). De nombreux autres indicateurs liés au régime alimentaire méditerranéen existent, comme le « updated Mediterranean score » (MED) ou le « Mediterranean style-dietary pattern score » (MSDPS) qui diffèrent par les catégories d'aliments utilisées et l'attribution de points mais le MDS reste le score original (Kesse-Guyot et al., 2013). Il a été montré qu'une meilleure adhésion au régime alimentaire méditerranéen était associée à une diminution (des composantes) du syndrome métabolique dans la cohorte Nutrinet-Santé (Kesse-Guyot et al., 2013) et à une diminution du risque d'infarctus du myocarde dans une cohorte espagnole (Martínez-González et al., 2002). Le score « pro-végétarien » a été développé par la même équipe espagnole et mesure l'adhésion au régime végétarien avec sept groupes d'aliments d'origine végétale et cinq groupes d'aliments d'origine animale (Martínez-González et al., 2014). Chez les sujets omnivores à haut risque cardiovasculaire de la cohorte espagnole, une meilleure conformité au score « pro-végétarien » était associée à un risque réduit de mortalité toutes causes confondues (Martínez-González et al., 2014).

Indicateurs de qualité nutritionnelle basés sur les nutriments :

Des indicateurs basés uniquement sur les nutriments ont été développés afin d'avoir un aperçu global de la qualité nutritionnelle de l'alimentation. La densité énergétique (DE) des aliments est définie comme la teneur en énergie (en kcal ou kJ) par unité de poids (g ou 100 g) et de nombreuses études ont démontré son influence sur le maintien du poids corporel (Bechthold, 2014). Les régimes alimentaires de faible DE permettent de réduire le poids corporel (Bechthold, 2014; Stelmach-Mardas et al., 2016). De la même façon, la densité nutritionnelle désigne la teneur en nutriments des aliments, exprimée par une quantité de référence, généralement 100 kcal, 100 g ou par portion (Drewnowski et al., 2019). La densité nutritionnelle, couplée à la DE sont des indicateurs utiles et facilement accessibles pour estimer la qualité nutritionnelle (Bechthold, 2014; Drewnowski et al., 2019). Le score d'Adéquation nutritionnelle moyenne (ANM ou « Mean adequacy ratio », MAR) est un indicateur

développé initialement en 1972 (Madden & Yoder, 1972). Il correspond au pourcentage moyen de respect des recommandations en nutriments « à favoriser ». Chacune des teneurs en nutriment est rapportée à la RNP. Si la teneur dépasse la recommandation, le ratio est tronqué à 1 pour qu'un apport élevé en un nutriment ne compense pas un apport faible en un autre nutriment. Le MAR correspond à la moyenne des ratios de chaque nutriment. Le nombre de nutriments pris en compte peut varier selon la population et les données disponibles mais il peut aller jusqu'à 23 (Maillot et al., 2007). Plus le MAR est élevé et plus la qualité nutritionnelle de l'alimentation est élevée. L'excès nutritionnel moyen (ENM ou « Mean excess ratio », MER) a été développé sur le même modèle que le MAR mais pour mesurer le pourcentage d'excès en nutriments « à limiter » (Vieux et al., 2013b). Ces nutriments sont le sodium, les acides gras saturés, et les sucres libres. Le PANDiet est un indicateur basé sur la moyenne de deux sous-scores : un score d'« Adéquation » correspondant à la moyenne des probabilités de respect de la valeur de référence pour les nutriments présentant une valeur d'apport minimum et un score de « Modération » qui mesure la moyenne des probabilités de respect de la valeur de référence pour les nutriments présentant une valeur d'apport maximum (Verger et al., 2012). Le score de sécurité nutritionnelle SecDiet a été développé pour évaluer les risques de carences nutritionnelles (Salomé et al., 2020). Il correspond à la moyenne pondérée des probabilités pour que l'apport en douze nutriments essentiels dépasse la valeur associée à un risque de carence manifeste.

Systèmes de profilage nutritionnel des aliments

Les systèmes de profilage nutritionnel sont des indicateurs qui visent à évaluer la qualité nutritionnelle globale d'un aliment considéré isolément. Ils sont basés sur les teneurs des aliments en composants favorables et/ou défavorables à la santé et permettent de distribuer les aliments dans différentes classes de qualité nutritionnelle. Les profils nutritionnels peuvent apporter une information complémentaire à l'évaluation de l'alimentation dans son ensemble. Le système SAIN,LIM (Darmon et al., 2009) et le Nutri-Score (Julia & Hercberg, 2017) ont tous les deux été développés en France. Le SAIN,LIM a été proposé par la France en 2008 comme système de profilage dans le cadre de la réflexion européenne pour l'accès aux allégations nutritionnelles et de santé (Afssa, 2008). Le Nutri-Score est un étiquetage nutritionnel à cinq couleurs, dérivé du Nutrient Profiling System de la British food standards agency (version modifiée) (FSAm-NPS) (Rayner et al., 2009). La signature de l'arrêté ministériel du 31 octobre 2017 fixe le Nutri-Score comme la seule forme de présentation graphique, complémentaire à la déclaration nutritionnelle obligatoire figurant sur les emballages alimentaires, recommandée par l'État français (Ministère des solidarités et de la santé, 2017).

Le système SAIN,LIM est basé sur deux sous-scores : le SAIN et le LIM, qui représentent respectivement les aspects favorables et défavorables de l'aliment (Darmon et al., 2009). Le SAIN « score d'adéquation individuel aux recommandations nutritionnelles » est estimé à partir du pourcentage moyen d'adéquation aux références nutritionnelles en nutriments favorables, qui sont les protéines, les fibres, le calcium, le fer, la vitamine C et la vitamine D. Le SAIN se calcule pour 100kcal. Le seuil du SAIN est égal à 5, car cela correspond à 5% d'adéquation pour 100 kcal, soit 100% pour 2000 kcal (considéré comme un apport énergétique de référence). Le LIM, « score des composés à limiter sur le plan nutritionnel », est estimé à partir du pourcentage moyen d'excès par rapport aux

valeurs maximales recommandées (VMR) en trois nutriments défavorables : le sodium, les acides gras saturés et les sucres ajoutés (ou sucres libres, selon les données disponibles). Le LIM se calcule pour 100 g. Le seuil du LIM est égal à 7,5, car cela correspond à 7,5% pour 100g, soit 100% pour 1333g (considérée comme une quantité ingérée de référence). Un aliment a un bon SAIN quand celui-ci est supérieur ou égal à 5 et un mauvais LIM quand celui-ci est supérieur ou égal à 7,5. Ainsi, ces valeurs seuils délimitent quatre classes de SAIN,LIM. Le système SAIN,LIM peut être représenté graphiquement (LIM sur l'axe des abscisses et SAIN sur l'axe des ordonnées), permettant ainsi d'obtenir visuellement le positionnement nutritionnel des produits.

Le Nutri-Score est un logo nutritionnel basé sur une échelle à cinq couleurs (du vert foncé à l'orange foncé), associées à des lettres allant de A pour les aliments de « meilleure qualité nutritionnelle » à E pour les aliments de « moins bonne qualité nutritionnelle » (Julia & Hercberg, 2017) (Julia & Hercberg, 2017). Ce logo s'appuie sur l'algorithme du FSA_m-NPS qui consiste à soustraire une composante P à une composante N pour aboutir à la valeur du Nutri-Score final. P est la composante positive basée sur les teneurs en trois éléments : protéines, fibres et quantité de « fruits, légumes, légumineuses, fruits à coque et (depuis 2019) huiles de colza, de noix et d'olive » (Santé Publique France, 2019) incorporées dans la recette. La composante N est la composante négative définie pour quatre éléments : densité énergétique, sucres totaux, sodium et acides gras saturés. Le Nutri-Score final (N-P) permet de définir les seuils d'attribution des lettres du Nutri-Score.

Les indicateurs de qualité nutritionnelle des aliments ne permettent pas d'évaluer la qualité nutritionnelle globale de l'alimentation. En effet, les individus consomment une combinaison de plusieurs aliments, en quantité et en fréquence variables, c'est pourquoi il est pertinent de mesurer la qualité nutritionnelle à l'échelle du régime alimentaire.

1.1.2.2 Mesurer la dimension environnementale

L'ACV, une méthode pour quantifier l'impact environnemental des aliments

L'Analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode officiellement reconnue pour quantifier les impacts environnementaux des produits en prenant en compte la totalité des impacts au long de leur cycle de vie, « du berceau à la tombe » (ADEME, 2018). Elle est encadrée par la norme ISO 14044 et peut s'appliquer à l'ensemble des secteurs d'activité économiques commercialisant des produits (biens, services, ou procédés) comme le bâtiment, les transports, ou l'agroalimentaire. C'est une approche multicritère puisqu'elle estime toutes les ressources utilisées et les polluants émis par les flux à chaque étape du cycle de vie. Un « flux » désigne tout ce qui rentre dans la fabrication (flux entrant) et tout ce qui en ressort (flux sortant). Les flux entrants sont ceux des matières premières (eau, fer, ...) et de l'énergie (pétrole, gaz, ...) et les flux sortants correspondent aux déchets, rejets et émissions gazeuses dans les sols, l'eau ou l'atmosphère. Toutes les étapes du cycle de vie du produit sont prises en compte pour l'inventaire des flux : elles vont de l'extraction des matières premières nécessaires à leur élimination, en passant par leur fabrication, distribution, utilisation et collecte. Pour les produits alimentaires, l'ACV analyse les impacts environnementaux à chaque étape de la chaîne alimentaire, qui débute par la production de matières premières agricoles (dont la fabrication et

l'utilisation des matériels agricoles et des intrants), la production des aliments destinés aux animaux d'élevage et leur utilisation, le stockage des produits agricoles et leur transport (ADEME & INRAE, 2020). Vient ensuite la transformation des aliments, leur emballage, leur distribution, leur consommation et leur fin de vie. D'après les normes ISO 14040 et 14044, l'ACV doit s'articuler autour de quatre étapes (ADEME, 2018) : 1) la définition des objectifs et du champ de l'étude ; 2) l'analyse de l'inventaire de cycle de vie (ICV), qui consiste à faire l'inventaire des flux de matières et d'énergie entrants et sortants, associés aux étapes du cycle de vie rapporté à l'unité fonctionnelle retenue ; 3) l'évaluation des impacts à partir des flux et 4) l'interprétation des résultats obtenus en fonction des objectifs retenus.

L'unité fonctionnelle de l'ACV est définie par la norme ISO 14004 comme la performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une ACV (ISO, 2016). C'est l'unité de base qui sert de référence dans les flux entrant et sortant. L'unité fonctionnelle habituellement utilisée pour les aliments est une unité de masse du produit fini (kg), la teneur en énergie ou en protéines du produit ou la surface (ha) nécessaire à la production (Roy et al., 2009). Il est important que l'unité fonctionnelle choisie soit adaptée aux objectifs retenus. Par exemple, les fruits et légumes présentent les plus faibles valeurs d'EGES pour 100 g d'aliment, bien en dessous de celles des viandes, mais lorsque les EGES sont exprimées pour 100 kcal, celles des fruits et légumes sont similaires à celles des viandes (à l'exclusion de la viande de ruminant) (Masset et al., 2015). Une unité fonctionnelle basée sur la masse est utile pour comparer différentes méthodes de production sur un même type d'aliments mais lorsqu'il s'agit de comparer des aliments de composition nutritionnelle différente, une unité fonctionnelle basée sur la teneur en énergie ou même en nutriment(s) pourrait être plus pertinente (Heller et al., 2013). La prise en compte de la qualité dans la définition d'une unité fonctionnelle pour les aliments s'est limitée jusqu'à présent aux aspects de qualité nutritionnelle (Van Der Werf et al., 2014). Ne pas tenir compte de la qualité organoleptique des aliments désavantage les systèmes de production qui privilégient ce type de qualité par rapport au volume, comme les spécialités régionales certifiées (par exemple, l'appellation d'origine protégée). Le développement d'unités fonctionnelles permettant de prendre en compte la qualité de l'alimentation au sens large constitue donc un défi majeur dans l'ACV des aliments (Van Der Werf et al., 2014). Les conclusions sur la compatibilité entre qualité nutritionnelle et environnement peuvent différer en fonction de l'unité fonctionnelle choisie (Masset et al., 2015) (voir partie 1.1.2.5). Dès 1998, Carlsson-Kanyama considérait plus pertinent, pour étudier l'impact environnemental de l'alimentation, d'analyser des plats complets ou des régimes alimentaires plutôt que des aliments individuels (Carlsson-Kanyama, 1998).

Métriques et indicateurs de l'impact environnemental de l'alimentation

Pour estimer l'impact environnemental d'un régime alimentaire, il faut additionner les impacts environnementaux de chaque aliment qui constitue ce régime (Carlsson-Kanyama, 1998). En Europe, seize indicateurs ont été préconisés par la Commission Européenne pour calculer « l'empreinte environnementale » d'un produit à l'occasion du projet d'Empreinte Environnementale des Produits (*Product Environmental Footprint*, PEF) (Zampori & Pant, 2019). La méthode PEF est définie comme la

méthode pour quantifier l'impact environnemental d'un produit, basée sur l'ACV. La Commission Européenne a pour projet d'harmoniser les standards d'évaluation de l'impact environnemental des produits afin de disposer d'une méthode reproductible et de faciliter l'écoconception. Les seize indicateurs d'impact environnemental préconisés par la Commission Européenne sont décrits dans le Tableau 2. Ils peuvent être reliés aux neuf limites planétaires identifiées en partie 1.1.1.1 (Rockström et al., 2009) et au principe 9 de l'alimentation durable identifié en partie 1.1.1.2 (FAO & OMS, 2019), qui est de maintenir les EGES, l'utilisation d'eau et des terres et les pollutions chimiques dans les objectifs fixés. L'indicateur de changement climatique (aussi parfois appelé « impact carbone ») fait référence aux augmentations d'EGES (Zampori & Pant, 2019). C'est l'indicateur le plus souvent utilisé dans les études évaluant l'impact des régimes alimentaires sur l'environnement, suivi de la dégradation des sols, l'épuisement des ressources en eau (ou « empreinte eau ») et l'eutrophisation des eaux marines (Ridoutt et al., 2017). En plus des limites planétaires identifiées, l'utilisation des ressources finies et non renouvelables (énergie et minéraux) diminue leur disponibilité pour les générations futures, c'est pourquoi il est nécessaire de les préserver (Sala et al., 2018). D'une façon générale, tous les indicateurs environnementaux ont un impact sur la santé humaine d'une façon directe ou indirecte. Par exemple, la présence de particules fines comme le carbone suie (constitué de particules issues de la combustion incomplète d'énergie et de biomasse) dans l'atmosphère accélère le changement climatique en diminuant le pouvoir réfléchissant de l'atmosphère ou des étendues glaciaires sur lesquelles elles se déposent (EIB, 2016). Du fait de leur finesse, elles pénètrent également facilement dans le corps et peuvent causer des maladies pulmonaires ou cardiovasculaires (Pope et al., 1995). Deux indicateurs cependant (toxicité humaine cancérigène et non-cancérigène) sont uniquement relatifs à la santé humaine.

L'évaluation environnementale des aliments présente des limites. Aucun des indicateurs listés ne concerne directement la perte de biodiversité, car il n'existe actuellement aucun consensus international sur une méthode d'évaluation de l'impact de l'activité humaine sur la biodiversité. Au moins huit indicateurs ont néanmoins un effet sur la perte de biodiversité (le changement climatique, l'eutrophisation aquatique d'eau douce, l'eutrophisation aquatique marine, l'eutrophisation terrestre, l'acidification, l'utilisation de l'eau, usage des terres, l'écotoxicité en eau douce) (Zampori & Pant, 2019). De plus, l'impact sur le changement climatique du stockage et déstockage du carbone dans les sols n'est pas ou peu pris en compte, de même que l'impact de l'usage des produits phytosanitaires sur les écosystèmes (ADEME & INRAE, 2020). Enfin, l'évaluation de l'épuisement des ressources en eau est sujette à controverse, notamment pour déterminer la provenance de l'eau au niveau de la production agricole (ADEME & INRAE, 2020).

Tableau 2 : Les seize indicateurs préconisés par la commission européenne pour l'évaluation de l'empreinte environnementale des produits, et les limites planétaires associées.

Indicateur et niveau ¹	Description	Limite planétaire associée ²
Changement climatique Niveau 1	<u>Mesure</u> : EGES. Le principal phénomène contributeur aux EGES est généralement la combustion d'énergies fossiles comme le charbon, le pétrole ou le gaz naturel. <u>Impact sur l'environnement</u> : Hausse globale des températures. <u>Unité</u> : kg CO₂ eq.	Changement climatique
Particules fines Niveau 1	<u>Mesure</u> : Exposition aux particules fines et à leurs précurseurs (Nox, SO₂). Les particules fines sont des substances solides ou liquides émises par des phénomènes de combustion qui restent en suspension dans l'air et pénètrent facilement les poumons. <u>Impact sur l'environnement</u> : Hausse globale des températures. <u>Impact sur la santé humaine</u> : Pathologies pulmonaires et cardiovasculaires. <u>Unité</u> : incidence de maladies par kg de particules inférieures à 2,5 microns émises.	Augmentation des aérosols dans l'atmosphère
Epuisement des ressources en eau Niveau 3	<u>Mesure</u> : Utilisation d'eau des lacs, des rivières ou des eaux souterraines. <u>Impact sur l'environnement</u> : Epuisement de l'eau disponible. <u>Unité</u> : m³ relatif à la pénurie locale.	Utilisation d'eau douce
Epuisement des ressources énergétiques Niveau 3	<u>Mesure</u> : Utilisation globale de ressources énergétiques non renouvelables (charbon, gaz, pétrole, uranium, ...). <u>Impact sur l'environnement</u> : Epuisement de l'énergie disponible. <u>Unité</u> : MJ.	Non identifiée (ressources fines)
Usage des terres Niveau 3	<u>Mesure</u> : Utilisation des terres en référence à leur état naturel. L'usage des terres se partage entre milieux naturels, milieux productifs et milieux urbains. <u>Impact sur l'environnement</u> : Pertes d'espèces, diminution de la qualité de la matière organique des sols, érosion des sols. <u>Unité</u> : point (agrégation de différentes métriques).	Modifications des usages des sols
Epuisement des ressources en minéraux Niveau 3	<u>Mesure</u> : Utilisation de minéraux (antimoine, cuivre, potassium, terres rares, sable) en fonction des réserves disponibles et de leur consommation actuelle. <u>Impact sur l'environnement</u> : Epuisement des minéraux disponibles. <u>Unité</u> : kg SB eq.	Non identifiée
Appauvrissement de la couche d'ozone Niveau 1	<u>Mesure</u> : Emission de composants chlorés et fluorés présents dans les systèmes de réfrigérations, les solvants et autres. Détériorent la couche d'ozone qui protège de l'exposition aux ultraviolets (UV)-B. <u>Impact sur l'environnement</u> : Hausse globale des températures. Détérioration des plantes. <u>Impact sur la santé humaine</u> : Cancers de la peau.	Appauvrissement de l'ozone stratosphérique

	<u>Unité</u> : kg CFC-11 eq.	
Acidification Niveau 2	<u>Mesure</u> : Emission de substances acides produites par la combustion de l'électricité, la production de chaleur et les transports dans l'air, l'eau et les sols. <u>Impact sur l'environnement</u> : Phénomène de pluies acides. Déclin de forêts de conifères et des poissons. <u>Unité</u> : moles H⁺ eq.	Acidification des océans
Radiations ionisantes Niveau 2	<u>Mesure</u> : Exposition à de la forte radioactivité produite par les déchets des centrales nucléaires (hors accident nucléaire). <u>Impact sur l'environnement</u> : Détérioration des écosystèmes. <u>Impact sur la santé humaine</u> : Cancers. <u>Unité</u> : kg U²³ eq.	Pollution chimique
Ozone photochimique Niveau 2	<u>Mesure</u> : Emission d'ozone dans la basse atmosphère. Il est issu de précurseurs émis par l'activité humaine, sous l'influence des UV. <u>Impact sur l'environnement</u> : Formation de brouillard de basse altitude (« smog »). Hausse globale des températures. <u>Impact sur la santé humaine</u> : Pathologies pulmonaires. <u>Unité</u> : kg NMVOC (composants organiques volatiles hors méthane)	Pollution chimique
Eutrophisation terrestre Niveau 2	<u>Mesure</u> : Emissions de substances contenant de l'azote ou du phosphore sur terre. <u>Impact sur l'environnement</u> : Déséquilibre et appauvrissement des écosystèmes terrestres. <u>Unité</u> : moles de N eq.	Perturbation des cycles biochimiques de l'azote et du phosphore
Eutrophisation marine Niveau 2	<u>Mesure</u> : Rejet de substances contenant de l'azote (N) ou du phosphore dans l'eau salée. <u>Impact sur l'environnement</u> : Prolifération d'algues et asphyxie <u>Unité</u> : kg N eq.	
Eutrophisation d'eaux douces Niveau 2	<u>Mesure</u> : Rejet de substances contenant de l'azote (N) ou du phosphore dans l'eau douce <u>Impact sur l'environnement</u> : voir ci-dessus. <u>Unité</u> : kg P eq.	
Ecotoxicité d'eaux douces Niveau 3	<u>Mesure</u> : Rejet de substances toxiques dans les eaux douces. <u>Impact sur l'environnement</u> : Dégradation des systèmes aquatiques d'eau douce. <u>Unité</u> : kg CTUe (Unité toxique comparative pour les écosystèmes).	Pollution chimique
Toxicité humaine, cancérigène Niveau 3	<u>Mesure</u> : Exposition aux substances toxiques de l'air, l'eau et les sols <u>Impact sur la santé humaine</u> : Cancers. <u>Unité</u> : CTUh (Unité comparative toxique pour les humaines)	Pollution chimique
Toxicité humaine, non- cancérogène Niveau 3	<u>Mesure</u> : voir ci-dessus. <u>Impact sur la santé humaine</u> : Maladies hors cancers. <u>Unité</u> : Voir ci-dessus.	Pollution chimique

¹Niveau de recommandation de l'indicateur basé sur la robustesse et le niveau de consensus scientifique des indicateurs. Niveau 1 : indicateur satisfaisant. Niveau 2 : indicateur nécessitant des améliorations. Niveau 3 : indicateur nécessitant des améliorations importantes, à utiliser avec de fortes précautions. ²Neuf limites planétaires à ne pas dépasser pour préserver l'état de la planète (Rockström et al., 2009).

Bases de données d'indicateurs environnementaux

En France, le programme Agribalyse® mis en place depuis 2009 avait pour objectif la construction progressive d'une base de données d'impacts environnementaux en collaboration avec des experts scientifiques français et internationaux dans les secteurs agricoles, agroalimentaires et de l'environnement de l'Agence de la transition écologique (ADEME) et l'Institut national de la recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) (ADEME & INRAE, 2020). Une première version publiée en 2014 contenait douze indicateurs liés à l'étape de production agricole, soit jusqu'à « la porte de sortie de la ferme », pour 133 produits agricoles (Peter Koch & Thibault Salou, 2014). Cette première version a depuis été enrichie et la dernière mise à jour en 2020 intègre les étapes du cycle de vie jusqu'à la consommation des aliments (ADEME & INRAE, 2020). La base de données Agribalyse® actuelle fournit quatorze des seize indicateurs environnementaux préconisés par la Commission Européenne (toxicité humaine non comprise) pour 2500 produits alimentaires consommés en France. Les produits alimentaires disponibles sont les mêmes que ceux de la table de composition nutritionnelle Ciqua, publiée par l'Anses (Anses, 2016d). L'homogénéité des produits entre les deux bases permet de disposer de données harmonisées pour analyser à la fois la dimension nutritionnelle et environnementale de l'offre alimentaire en France. Les travaux du programme Agribalyse® se poursuivent pour améliorer les méthodologies et générer de nouvelles données.

Indicateurs globaux d'impact environnemental

Il existe des indicateurs globaux d'impact environnemental, aussi appelés « scores », agrégeant un ensemble de métriques ou d'indicateurs. Le score unique EF3 par exemple, préconisé par la Commission Européenne, est calculé à partir des quatorze mêmes indicateurs d'Agribalyse (Sala et al., 2018). La pondération de chaque indicateur dans le score prend à la fois en compte leur robustesse relative et des enjeux environnementaux associés. La pondération va de 22,19 pour le changement climatique à 2,95 pour l'eutrophisation d'eaux douces (indicateurs classés selon l'ordre de leur pondération dans le Tableau 2). Les EGES contribuent à plus de 20% du score final. Elles sont donc fortement corrélées au score EF3 (ADEME et al., 2020). Cependant, la forte corrélation n'est pas vraie pour toutes les catégories de produits. Les amandes, par exemple, ont un score EF3 élevé, mais ce dernier est surtout influencé par la forte mobilisation des ressources en eau nécessaire à leur production. Le score « Recipe », basé sur le même principe que le score EF3, utilise dix-huit indicateurs (Dutch National Institute for Public Health and the Environment, 2017). Les EGES, l'épuisement des ressources en énergie et l'usage des terres contribuant à 90% du score Recipe, Kramer et al. ont proposé un score Recipe « partiel » (pRecipe) prenant en compte uniquement ces trois indicateurs (Kramer et al., 2017b). Ce score a été utilisé pour évaluer l'impact environnemental de régimes alimentaires néerlandais optimisés (Kramer et al., 2017b) et pour évaluer la durabilité de l'alimentation des individus, selon leur niveau d'adhésion aux recommandations alimentaires du PNNS (Kesse-Guyot et al., 2020).

1.1.2.3 Mesurer la dimension économique

Le prix des aliments est un important déterminant des choix alimentaires (Steenhuis et al., 2011). Le coût de l'alimentation est l'indicateur majoritairement utilisé pour aborder la dimension économique de l'alimentation.

En France, le Réseau des Nouvelles des Marchés piloté par FranceAgriMer délivre aux professionnels de l'agro-alimentaire et de la restauration collective des informations sur les prix moyens, cours et cotations des produits frais périssables (Réseau des Nouvelles des Marchés, 2021). La collecte d'informations est réalisée sur les marchés de gros et à Rungis. Les enquêtes sont réalisées sous démarche qualité (certification ISO 9001 depuis 2006). Néanmoins, il s'agit uniquement des prix sur les marchés de produits frais « bruts » (fruits et légumes, viandes et poissons, produits laitiers, œufs et beurre) à un lieu et une date donnée, et non du prix des aliments moyens tels que consommés. L'INSEE propose les prix moyens de vente au détail de produits alimentaires mais les données sont limitées à quelques produits communément consommés en France (fruits et légumes, viandes et poissons, fromage, lait, boissons, pain, pâtes alimentaires, café, croissant, ...) (Insee, 2021). Pour estimer l'inflation des prix à la consommation, l'INSEE relève les prix dans les points de vente ou de manière centralisée (prix sur internet, données administratives, tarifs...). Depuis 2020, ces données sont complétées par des données d'achat recueillies à la caisse des magasins (Insee, 2020). L'intérêt est que les données de caisse sont exhaustives, détaillent les quantités achetées et sont représentatives des prix réels, en incluant les promotions. L'entreprise Kantar réalise des enquêtes d'achats pour l'alimentation à domicile d'un l'échantillon de foyers panélistes « Kantar Worlpanel » représentatif de la population française (Kantar, 2021) mais ces données sont complexes à utiliser et la base de donnée est très coûteuse. Pour estimer le coût de régimes alimentaires, notamment selon le niveau socio-économique des individus (Bocquier et al., 2015; Maillot et al., 2017), ou identifier des aliments de bon rapport qualité-prix (Dubois et al., 2017), les données de prix extraites de l'enquête Kantar de 2006 ont été associées aux aliments de l'enquête nationale sur les consommations alimentaires individuelles INCA 2. Lorsque les données sur les prix des aliments ne sont pas accessibles ou insuffisantes, les chercheuses et chercheurs peuvent avoir recours à des méthodes pour recueillir les prix d'achat directement en magasin ou sur internet (Tharrey et al., 2020). La particularité des données existantes sur les prix est qu'elles ne tiennent pas compte de la variabilité des prix au cours du temps. Cependant, même si les prix évoluent, la hiérarchie de prix entre groupes d'aliments reste stable (Darmon & Drewnowski, 2015; Maillot et al., 2006).

1.1.2.4 Mesurer la dimension socio-culturelle

L'alimentation ne permet pas seulement de subvenir aux besoins nutritionnels des individus, c'est aussi un fait social (Cardon et al., 2019). Les individus mangent selon des habitudes relatives à leurs préférences, à leur classe sociale et à leur culture (Fischler, 1988), en particulier en France où la gastronomie tient une place importante (Hache-Bissette & Saillard, 2007). Dans les études évaluant la durabilité de l'alimentation, la dimension socioculturelle est surtout prise en compte par le respect des habitudes alimentaires, un indicateur de l'acceptabilité culturelle, en considérant que les individus seront plus enclins à adopter un régime alimentaire proche de leurs consommations actuelles (Gazan et al., 2018; Kanellopoulos et al., 2020; Maillot et al., 2010). Des métriques moins communes peuvent

être prises en compte dans l'évaluation de la dimension socio-culturelle de l'alimentation. Le « Sustainable diet index » (SDI) est un score qui a été développé en France pour mesurer la durabilité d'un régime alimentaire (Seconda et al., 2019). Il englobe les quatre dimensions de l'alimentation durable avec quatre sous-scores. La proportion d'aliments achetés dans d'autres lieux que le supermarché (directement chez le producteur, ou avec un seul intermédiaire) et la proportion de plats préparés étaient considérées comme deux métriques de la dimension socio-culturelle. La consommation d'aliments locaux et régionaux contribuerait au développement du territoire, à l'amélioration des revenus des producteurs, et encouragerait les interactions entre producteurs et consommateurs (Seconda et al., 2019). Cuisiner représenterait une opportunité d'échanges sociaux, de préservation de l'héritage culturel et éviterait la standardisation des recettes (Seconda et al., 2019). Les métriques et indicateurs pour estimer la dimension socio-culturelle sont en fait assez subjectifs puisque l'utilisation de plats préparés peut aussi être vue aussi comme un moyen d'émancipation des femmes. En effet, l'utilisation de plats déjà préparés permettrait de décharger les femmes de la tâche de la cuisine, dont elles sont encore majoritairement responsables, et de leur dégager du temps pour d'autres activités (Jackson & Viehoff, 2016). En France, le temps passé à cuisiner est encore à 75% du temps féminin (Etilé & Plessz, 2018).

1.1.2.5 Compatibilité entre les différentes dimensions de l'alimentation durable

Plusieurs études ont contribué à montrer que la compatibilité entre les dimensions de l'alimentation durable n'était pas toujours spontanée (Perignon et al., 2017).

Des études ont été menées au niveau des aliments eux-mêmes. Ainsi, les aliments de meilleure qualité nutritionnelle ont tendance à être plus coûteux que les aliments de qualité nutritionnelle médiocre (Darmon & Drewnowski, 2015). Lorsque le prix est estimé pour 100 kcal, les fruits et légumes ainsi que les viandes et poissons sont les groupes d'aliments les plus coûteux alors que les produits sucrés et salés, les céréales raffinées et les matières grasses ajoutées font partie des aliments les moins coûteux (Darmon & Drewnowski, 2015). De façon générale, plus les aliments sont denses en nutriments et plus ils sont chers. La hiérarchie des prix n'est donc pas de prime abord favorable à l'équilibre alimentaire. Les aliments avec un meilleur rapport entre qualité nutritionnelle et prix sont les légumineuses, les fruits à coques, les huiles végétales et les céréales complètes ainsi que le lait, les œufs, les poissons en conserve, la volaille et les abats mais ces aliments ne sont pas toujours les plus appréciés ou acceptés (Darmon & Drewnowski, 2015). Si la densité nutritionnelle des aliments est associée à leur prix, elle n'est pas particulièrement associée à leur impact environnemental (Dourmad et al., 2019). Des relations positives ont cependant été mises en lumière entre teneurs en protéines animales et EGES dans les aliments (Dourmad et al., 2019). Dans une autre étude, une base de données regroupant des indicateurs d'impact environnemental, (EGES, acidification et eutrophisation), de qualité nutritionnelle (SAIN, LIM) et de prix pour les aliments consommés par la population française a été constituée, et les relations entre ces indicateurs étudiées (Masset et al., 2014a). Les indicateurs environnementaux étaient fortement corrélés entre eux mais les EGES (exprimées par g d'aliment) et le rapport SAIN/LIM étaient corrélés négativement. L'étude s'est également attachée à identifier les aliments qui combinaient plusieurs caractéristiques liées à la durabilité : un rapport SAIN/LIM supérieur à la médiane, ainsi que des EGES et un prix (exprimé par g d'aliment) inférieurs à leurs

médianes respectives. Ces aliments qualifiés de « plus durables » étaient en majorité des aliments d'origine végétale comme les fruits et légumes, les jus de fruits, les huiles végétales, les féculents et les légumineuses. La compatibilité était néanmoins plus difficile lorsque le prix était calculé pour 100 kcal, car certains aliments considérés auparavant comme « plus durables », comme les fruits et les légumes, ne l'étaient plus du fait de leur faible densité énergétique. Ceci souligne l'importance de l'unité utilisée pour exprimer un impact environnemental (appelée unité fonctionnelle). En effet, selon que les impacts sont rapportés à 100g, 100kcal ou 100g de protéines, les conclusions peuvent être différentes. De façon plus générale, ce travail a montré les limites de la notion d'« aliments durables » (Masset et al., 2014a), en rappelant que la durabilité doit bien se concevoir au niveau de l'alimentation dans son ensemble, comme cela est entendu dans la définition originale de l'alimentation durable donnée par la FAO en 2010. Dans le domaine de la nutrition, la juste unité fonctionnelle à laquelle rapporter les impacts environnementaux devrait donc être la diète elle-même, et pas les aliments considérés séparément.

Les premières études qui ont traité de la compatibilité entre les dimensions de l'alimentation durable à l'échelle des régimes alimentaires se sont intéressées à la relation entre santé et économie. Les consommateurs qui ont un faible statut socio-économique (Darmon & Drewnowski, 2008) - et notamment, en France, ceux qui ont des faibles revenus et/ou sont en situation d'insécurité alimentaire (Bocquier et al., 2015) - sont ceux dont les profils alimentaires sont les plus éloignés des recommandations. Ils mangent moins de fruits et légumes et de poisson, mais plus de produits sucrés et de féculents raffinés. Le budget alimentaire des populations à plus bas revenus est plus faible en valeur absolue que celui des populations à plus haut revenu et sa part pèse plus lourd relativement aux autres dépenses (Darmon & Drewnowski, 2015). Il a été montré par modélisation mathématique que la contrainte financière, lorsqu'elle est considérée isolément, oriente les choix alimentaires vers une alimentation de moindre qualité nutritionnelle (Darmon et al., 2002, 2003), ce qui peut contribuer à expliquer pourquoi les populations défavorisées ont une alimentation moins favorable à la santé que les populations plus aisées (Darmon & Drewnowski, 2015). Une étude sur la cohorte Nutrinet en France a confirmé que les régimes alimentaires les plus sains, d'après le PANDiet, étaient aussi les moins abordables (relativement au revenus des individus) et les plus coûteux (Seconda et al., 2018).

L'apparition des données d'estimation d'impact environnemental des aliments au début des années 2000 a permis d'intégrer la composante environnementale dans les études de compatibilité entre dimensions de l'alimentation durable. La première étude à avoir estimé les EGES liées aux régimes alimentaires des Français a porté sur les données de l'étude INCA2 et a montré que cet impact était fortement corrélé, positivement, à la quantité d'aliments consommés et à l'apport énergétique total journalier (Vieux et al., 2012). L'augmentation du MAR était associée à des EGES plus élevées et celle du MER à des EGES plus faibles. A apport énergétique constant, plus la qualité nutritionnelle des régimes alimentaires observés dans INCA2 était élevée, plus les EGES associées l'étaient aussi. Les régimes alimentaires présentant la qualité nutritionnelle la moins élevée étaient riches en produits gras et sucrés, qui présentent des faibles EGES par calorie, alors que les régimes alimentaires de meilleure qualité nutritionnelle étaient riches en fruits et légumes, qui présentent des EGES par calorie relativement élevées. Pour couvrir un même apport calorique, la quantité d'aliments à ingérer était

plus faible avec une alimentation déséquilibrée riche en produits gras et sucrés, pauvre en fruits et légumes et de forte densité énergétique, qu'avec une alimentation saine, nutritionnellement adéquate et de faible densité énergétique. En d'autres termes, une alimentation équilibrée a tendance à peser plus lourd qu'une alimentation déséquilibrée. Et, comme il existe une relation positive entre quantités totales consommées et EGES, il n'est pas étonnant qu'une alimentation de faible impact environnemental ne soit pas nécessairement une alimentation de bonne qualité nutritionnelle. De plus, une alimentation plus végétale n'est pas non plus nécessairement plus durable qu'une alimentation plus carnée, car elle peut être riche en féculents raffinés (pâtes, biscuits apéritifs) ou produits sucrés (sodas, biscuits sucrés) certes moins impactants sur le plan environnemental et de plus faible coût que les aliments d'origine animale (Darmon & Drewnowski, 2015), mais de moins bonne qualité nutritionnelle (Vieux et al., 2013b). Le respect des recommandations alimentaires n'est en fait pas toujours associé à des comportements plus durables. Selon une étude menée au Royaume-Uni, pour un même apport énergétique, consommer plus de légumes et moins de viande rouge réduirait le coût et les EGES de la diète, mais consommer moins de produits sucrés augmenterait en revanche à la fois le coût et les EGES, ce qui suggère l'existence de tensions entre la dimension nutrition et les autres dimensions de l'alimentation durable (Monsivais et al., 2015). Une revue de la littérature confirme que les régimes alimentaires à faibles EGES sont généralement associés à des teneurs en sucres plus élevées et à des teneurs en micronutriments essentiels plus faibles ainsi qu'à des indicateurs santé plus défavorables (Payne et al., 2016).

Les études explorant les associations entre qualité nutritionnelle, impact environnemental et coût montrent que les dimensions de la durabilité ne convergent pas naturellement. Néanmoins, aboutir à une alimentation plus durable n'est pas impossible mais nécessite des modifications de nos choix alimentaires. Le principal levier qui a été identifié est celui de la réduction de la consommation de produits animaux. Si les produits animaux sont en effet d'excellentes sources de nutriments, certains sont suspectés d'être néfastes pour la santé en cas de surconsommation. De plus, ils posent des problèmes en termes d'impact sur l'environnement. Face à ce constat, certains individus limitent leur consommation de viande et/ou d'autres produits animaux et certains modèles alimentaires, comme le modèle végétarien, méritent une étude approfondie.

1.1.3 Repenser la place des produits animaux dans l'alimentation

1.1.3.1 Enjeux nutritionnels liés à la consommation de produits animaux

Qualité nutritionnelle des produits animaux

Les produits animaux comprennent les produits carnés (viandes et poissons) et les produits issus des productions animales (œufs et lait). Les viandes se divisent principalement en viande rouge (bœuf, veau, mouton, agneau, porc, cheval, gibier ou chèvre) et viande blanche (poulet, dinde, canard, lapin) selon leur teneur en fer héminique (Boutron-Ruault et al., 2017). Bien que, dans l'usage courant, le porc soit une viande blanche (Le Petit Robert, 2021) et non une viande rouge, c'est la définition des agences de santé, incluant le porc dans les viandes rouges, qui prévaudra dans la suite du manuscrit (OMS, 2015). En nutrition, la viande blanche peut aussi être qualifiée de volaille en y incluant le lapin,

car bien que ce soit un mammifère, ses caractéristiques nutritionnelles sont proches de celles des volailles. La viande « hors volaille » désignera alors la viande rouge. En France, le terme de viande « de boucherie » peut aussi être utilisé à la place de « viande rouge ». Parmi les viandes rouges (ou « de boucherie » ou « hors-volaille »), on distingue la viande de ruminants, issue des herbivores polygastriques dont la digestion a totalement ou partiellement lieu en remastiquant les aliments après leur ingestion (bœuf, veau, mouton, agneau, chèvre) de la viande de non-ruminants (porc, cheval, gibier). En France, le terme de « processed meat » est traduit par celui de charcuterie, qui inclut toutes les viandes transformées telles que le jambon, les saucisses, le bacon, le salami ou les blancs de poulet (Boutron-Ruault et al., 2017) alors qu'aux États-Unis, il s'agit de toute viande conservée par fumage, salaison ou salage, ou par l'ajout de conservateurs chimiques (AICR, 2012). Les contours des définitions des différents types de viande sont flous, ce qui rend les comparaisons entre les études difficiles, d'autant plus que les habitudes de consommation de viande et produits dérivés de la viande sont différentes d'un pays à l'autre. Ainsi, par exemple, une même dénomination de « viande rouge et transformée » ne recouvrera pas les mêmes consommations selon les États-Unis ou la France. Au sein des produits de la pêche, les poissons gras (sardines, maquereau, hareng, saumon, truite...) sont distingués des autres poissons du fait de leur richesse en acides gras omega-3 à longue chaîne (Anses, 2013). En sus de la chair animale, les productions animales, comme le lait ou les œufs, font partie des produits animaux.

Les protéines contenues dans les produits animaux (protéines d'origine animale généralement appelées protéines animales) ou végétaux (protéines d'origine végétale généralement appelées protéines végétales) sont constituées d'un assemblage d'acides aminés, et cet assemblage est spécifique à chaque protéine (Afssa, 2007). Sur les vingt acides aminés nécessaires au fonctionnement de l'organisme, huit sont essentiels pour les adultes, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme et doivent être apportés par l'alimentation (Webster-Gandy et al., 2020). Chez les enfants, sept acides aminés supplémentaires sont essentiels car ils sont nécessaires en plus grande quantité que ce qui peut être synthétisé en raison d'une forte demande, de voies biologiques immatures ou d'une combinaison de ces facteurs. Un déficit en un seul des acides aminés essentiels limite la capacité d'utilisation de l'ensemble des acides aminés et réduit donc la synthèse protéique. L'acide aminé est alors qualifié de « limitant ». C'est l'équilibre relatif des acides aminés essentiels qui détermine la qualité des protéines. L'indicateur le plus communément utilisé par la communauté scientifique pour évaluer la qualité d'une protéine seule ou d'un mélange de protéines est le PDCAAS « Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score » (PDCAAS (Score en acides aminés corrigé de la digestibilité)), dont la valeur varie sur une échelle de 0 à 1. Il est utilisé pour évaluer le profil en acides aminés d'une protéine (ou d'une combinaison de protéines) par rapport à la composition en acides aminés d'une protéine de référence et la digestibilité de la protéine (FAO, 2013). La composition en acides aminés de la protéine de référence permet de couvrir les besoins en acides aminés essentiels de façon optimale et dépend de l'âge de la population considérée (nourrissons de moins de 6 mois, enfants entre 6 mois et 3 ans et enfants de plus de 3 ans, adolescents et adultes). La valeur maximale de 1 est donc la valeur correspondant à la protéine de référence. Les protéines animales ont un meilleur score PDCAAS que les protéines végétales puisqu'elles sont plus digestes et que leur profil en acides aminés essentiels est plus proche de celui de la protéine de référence alors que la plupart des

protéines végétales ont un ou plusieurs acides aminés limitants (le plus souvent la lysine dans les céréales et acides aminés soufrés dans les légumineuses) (Mariotti, 2017). Un apport suffisant en chaque acide aminé essentiel est nécessaire pour assurer la couverture de tous les besoins de l'organisme.

Les protéines végétales ou animales sont associées dans les aliments à plusieurs nutriments protecteurs comme le zinc, la vitamine B12 et le fer dans les produits animaux, et les fibres, la vitamine E, le magnésium et les acides gras polyinsaturés dans les produits végétaux (Webster-Gandy et al., 2020). En plus d'être riche en protéines de haute qualité nutritionnelle, la viande présente de fortes teneurs en vitamine A, vitamines du groupe B, zinc, sélénium et phosphore. Les viandes et produits d'origine animale (comme les produits laitiers) sont d'ailleurs les seuls à fournir de la vitamine B12, qui est totalement absente dans les aliments d'origine végétale (Webster-Gandy et al., 2020). Le fer est présent dans les aliments sous deux formes : héminique (lié à l'hème dans le sang, donc uniquement dans les produits animaux) et non-héminique. La viande rouge contient dix fois plus de fer héminique que la viande blanche (Boutron-Ruault et al., 2017). Le fer héminique est mieux absorbé par l'organisme que le fer non héminique (Gibson, 2007). Cependant, la viande rouge contient aussi des acides gras saturés (AGS), qui font l'objet de recommandations d'apport maximal (Webster-Gandy et al., 2020). Par ailleurs, les poissons, en particulier les poissons gras, sont une source quasi exclusive d'acides gras oméga-3 à longue chaîne (EPA et DHA) et une source privilégiée de micronutriments comme la vitamine D ou l'iode (Anses, 2017). Les produits laitiers sont aussi d'excellentes sources de vitamine D et calcium (Anses, 2017).

Qualité nutritionnelle des régimes végétariens

Il existe plusieurs sortes de régimes végétariens, qui vont d'une exclusion partielle à une exclusion totale de tout produit d'origine animale (Tableau 3). Il est communément admis qu'un régime végétarien est défini par l'exclusion de la chair animale (viande, poisson et fruits de mer). Lorsque le poisson ou les fruits de mer ne sont pas exclus, on parle alors de régime pesco-végétarien. Les régimes végétariens qui excluent la chair animale mais incluent les œufs et les produits laitiers sont appelés « ovo-lacto-végétariens », mais comme ce sont les plus courants des régimes végétariens, ils sont souvent plus simplement qualifiés de « végétariens ». Le régime végétalien quant à lui exclut tout produit d'origine animale et le courant « végane » va au-delà de l'alimentation, en refusant d'utiliser tout produit, qu'il soit alimentaire ou non, issu d'une exploitation de l'animal par l'homme (FranceAgriMer, 2019). Le terme véganisme peut toutefois être utilisé par extension pour désigner la consommation de régimes végétaliens. *Afin de rester fidèle à ce qui est le plus couramment utilisé et pour simplifier la lecture, le terme « végétarien » sera utilisé dans la suite du manuscrit pour qualifier l'ensemble des régimes végétariens (ovo-lacto-végétarien et végétalien), et pas uniquement les régimes ovo-lacto-végétariens.*

Tableau 3 : Typologie des principaux régimes alimentaires

Nom du régime	Viande	Poisson et fruits de mer	Œufs	Produits laitiers	Autres produits animaux
Omnivore	✓	✓	✓	✓	✓
Pesco-végétarien	✗	✓	✓	✓	✓
Végétarien	✗	✗	✓ ou ✗	✓ ou ✗	✓ ou ✗
Ovo-lacto-végétarien	✗	✗	✓	✓	✓
Végétalien (ou « Végane »)	✗	✗	✗	✗	✗

✓ : consommation du groupe d'aliments ; ✗ : non-consommation du groupe d'aliments

Les quantités et proportions d'acides aminés consommés par les végétariens permettent généralement de couvrir tous leurs besoins en protéines et en acides aminés, la « mauvaise » qualité de certaines protéines végétales étant compensée par la consommation des autres protéines végétales ou animales (œufs et produits laitiers) (Mariotti & Gardner, 2019). Il n'existe aucune preuve de déficit en protéines associé à la consommation des régimes végétariens ou végétaliens, excepté pour une minorité d'entre eux dont l'apport énergétique est insuffisant ou qui excluent de leur alimentation non seulement les produits animaux mais aussi les sources végétales riches en protéines comme les légumineuses ou les fruits à coques et les graines (Mariotti & Gardner, 2019). Une étude a mis en évidence une association positive entre les apports en protéines végétales et la qualité nutritionnelle de l'alimentation estimée par l'indicateur PANDiet (Camilleri et al., 2013). Une consommation adaptée de végétaux uniquement peut théoriquement suffire à l'atteinte de l'adéquation en protéines (Mariotti & Gardner, 2019). Cependant, en France, le profil de consommation de ces produits végétaux n'est pas adapté pour atteindre l'adéquation, les légumineuses, noix et graines n'étant pas assez consommées (de Gavelle et al., 2017; Mariotti & Gardner, 2019).

Dans la cohorte Nutrinet-Santé, les personnes s'auto-déclarant comme végétariennes ou végétaliennes avaient une alimentation plus en accord avec les recommandations alimentaires du PNNS par rapport à celles déclarant consommer de la viande (omnivores) (Allès et al., 2017). Les végétariens présentaient une plus faible prévalence d'inadéquation d'apports en antioxydants comme la vitamine E mais les végétaliens avaient une plus forte prévalence d'inadéquation en certains nutriments comme la vitamine B12 que les omnivores. Une étude sur la cohorte EPIC-Oxford au Royaume-Uni a analysé les apports en macronutriments, fibres et fruits et légumes des régimes alimentaires de différents sous-groupes de la population définis selon le niveau de leur consommation de viande (Scarborough et al., 2014). Une plus faible consommation de viande était associée à de meilleurs apports en macronutriments, fibres, fruits et légumes mais les auteurs n'avaient pas comparé les apports en micronutriments et en acides gras essentiels de ces différents sous-groupes de population. La comparaison des régimes végétariens avec des régimes omnivores dans des cohortes en Amérique du Nord, au Royaume-Uni et en Europe confirment la meilleure qualité nutritionnelle moyenne des régimes végétariens par rapport aux régimes omnivores car ils apportent plus de fibres,

vitamines C et E, magnésium, fer non-héminique et cuivre, et moins d'AGS (Clarys et al., 2014; Parker & Vadiveloo, 2019; Rizzo et al., 2013; Sobiecki et al., 2016). Malgré leurs teneurs élevées en certains nutriments protecteurs et faibles en AGS, ils présentaient toutefois des teneurs insuffisantes en acides gras oméga-3, vitamines B2, B12 et D, zinc et iode (Clarys et al., 2014; Parker & Vadiveloo, 2019; Rizzo et al., 2013; Sobiecki et al., 2016).

1.1.3.2 Enjeux de santé liés à la consommation de produits animaux

Bénéfices et risques pour la santé liés à la consommation de viande

Une consommation excessive de viande rouge et de charcuterie est associée à des risques accrus de maladies cardiovasculaires, cancers colorectaux et diabète de type II (Anses, 2016b; Boutron-Ruault et al., 2017). Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), qui est une agence de l'OMS spécialisée sur le cancer, a classé la consommation de viande transformée (incluant la charcuterie) comme cancérigène pour l'homme sur la base d'indications suffisantes et celle de la viande rouge comme probablement cancérigène pour l'homme sur la base d'indications limitées (Bouvard et al., 2015). Le niveau de preuve de l'augmentation du risque de cancer colorectal, estimé par le fonds Mondial de recherche contre le cancer (*World Cancer Research Fund*, WCRF) et l'Institut américain pour la recherche sur le cancer (*American Institute for Cancer Research*, AICR), a été jugé comme convaincant pour la charcuterie et probable pour la viande rouge (WCRF & AICR, 2018). En revanche, une forte consommation de viande blanche était associée à une diminution du risque de mortalité toutes causes confondues par rapport à une faible consommation de viande blanche et n'aurait pas d'incidence sur la prévalence de maladies cardiovasculaires (Lupoli et al., 2021). Le WCRF et l'AICR conseillent de limiter la consommation de viande rouge, sans forcément la supprimer, à trois portions par semaine, soit l'équivalent de 500 grammes de viande cuite (WCRF & AICR, 2007). Au niveau de la population, la consommation moyenne de viande rouge ne devrait pas dépasser 300 g (WCRF & AICR, 2007). L'Institut national du cancer (INCa, 2019) préconise par ailleurs de limiter la consommation de charcuterie à 150 g par semaine, en privilégiant les charcuteries à base de volaille. Les recommandations de l'INCa sur la viande rouge, les charcuteries, les volailles ont été reprises dans les recommandations alimentaires françaises (HCSP, 2017) (voir partie 1.1.2.1, « recommandations alimentaires »).

Par ailleurs, une étude a associé le nombre d'années en bonne santé perdues à cause d'une maladie à la consommation de viande rouge à l'aide du calcul des « Disability Adjusted Life Years » (DALYs (Espérance de vie corrigée de l'incapacité)). L'étude a montré, à partir des consommations INCA2, l'existence d'un rapport bénéfice/risque associé à la consommation de la viande (Mota et al., 2021). L'approche bénéfice/risque estime le meilleur compromis entre les bénéfices et les risques liés à la consommation de viande rouge. Chez les adultes, le bénéfice identifié comme étant associé à la consommation de viande rouge était la diminution de l'anémie ferriprive liée à la présence de fer héminique dans la viande rouge. Tandis que les risques identifiés étaient le cancer colorectal et les maladies cardiovasculaires. Chez les enfants de 3 à 14 ans, le bénéfice identifié était aussi la diminution de l'anémie ferriprive et les risques identifiés étaient la possibilité d'infections bactériennes à *Escherichia coli* provenant de la viande rouge. Les DALYS étaient comparés entre les niveaux de

consommations observés dans la sous-population et deux scénarios de consommation hebdomadaire de viande rouge : 375 g et 500 g chez les enfants et 455 g et 500 g chez les adultes. Les besoins en fer et le type et le niveau de risques variaient en fonction de l'âge et du sexe des individus, c'est pourquoi le rapport bénéfice/risque n'était pas le même en fonction de la sous-population considérée. Par exemple, une consommation hebdomadaire de viande rouge de 375 g ou même 500 g chez les enfants apportait plus de bénéfice (lié à une diminution des risques d'anémie ferriprive) que de risque (d'infection microbiologique). En revanche, chez les femmes, une consommation hebdomadaire de 455 g de viande rouge représentait un risque de maladies cardiovasculaires et de cancers plus important que le bénéfice santé lié à la diminution du risque d'anémie ferriprive. L'impact sur la santé des enfants de régimes à teneur réduite en produits animaux sera abordé en partie 1.2.4.

En France, la consommation moyenne hebdomadaire de viande rouge a été estimée à 322 g en 2016 d'après les résultats de l'enquête Comportements et consommations alimentaires en France (CCAF) du Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de vie (CREDOC), soit au-dessus de la recommandation (de 300g) pour la population (Tavoularis & Sauvage, 2018). Le risque de maladie existe chez les gros consommateurs de viande principalement (Anses, 2016b). En France, ils sont 20% à consommer plus de 500 g de viande rouge cuite par semaine (Tavoularis & Sauvage, 2018). La viande rouge et la viande transformée sont souvent caractéristiques des profils alimentaires, et plus généralement des comportements, néfastes à la santé comme la forte consommation d'alcool, de produits transformés (donc riches en sel, lipides et avec une faible densité nutritionnelle), et pauvres en fruits et légumes, combinés avec un comportement sédentaire et un tabagisme (Boutron-Ruault et al., 2017). Il est donc difficile de dissocier l'impact de la consommation de viande rouge et transformée des autres comportements, alimentaires ou non, néfastes à la santé. La consommation de viande rouge en quantité inférieure aux recommandations au sein d'une alimentation par ailleurs équilibrée et respectant les autres recommandations alimentaires ne présente pas de risque pour la santé (Petersen et al., 2017) .

Bénéfices et risques pour la santé liés à la consommation de poissons

La consommation de poisson est associée à une diminution du risque de maladies cardiovasculaires et de démence (Anses, 2016b). Cependant, les organismes aquatiques concentrent de fortes teneurs en métaux lourds et polluants, toxiques à haute dose pour le système nerveux central des humains. Les recommandations de consommation de produits de la pêche se basent sur une analyse bénéfice/risque, qui estime le meilleur compromis entre les risques liés à l'exposition aux toxiques (dioxines, PCB ou méthyl-mercure) et les bénéfices liés à la présence de nutriments essentiels dans les produits de la pêche (vitamine D, acides gras oméga-3 pour les poissons gras en particulier et iode pour les produits d'origine marine) (Anses, 2013). Sur cette base, l'Anses recommande de consommer du poisson deux fois par semaine dont un poisson gras, en diversifiant les espèces de poissons, avec des précautions particulières pour les femmes enceintes et les enfants de moins de 30 mois (Anses, 2013).

Bénéfices et risques pour la santé liés à la consommation des produits laitiers

Une consommation de moins de deux produits laitiers par jour est associée à une augmentation du risque de cancer colorectal avec un niveau de preuve probable (WCRF & AICR, 2018). L'INCa estime qu'une consommation de moins de deux produits laitiers par jour contribuerait à environ 850 nouveaux cas de cancer colorectal par an et recommande en ce sens la consommation d'au moins deux produits laitiers par jour chez les adultes, en les alternant (lait, fromage, yaourt nature, fromage blanc)(INCa, 2019).

Les recommandations sur les produits laitiers sont passés de trois à deux par jour, sans que cette baisse n'ait été clairement justifiée (Maillot & Darmon, 2020). Une consommation de produits laitiers supérieure à deux par jour était bien associée à une augmentation du risque du cancer de la prostate, mais le niveau de preuve était limité (WCRF & AICR, 2018) et les recommandations françaises sur les produits laitiers ne distinguent pas les hommes des femmes. Dans une étude sur la cohorte française Nutrinet-Santé, aucun lien n'a été trouvé entre consommation de produits laitiers et risques de maladies coronariennes ou cardiovasculaires (Sellem et al., 2021). En l'état des connaissances actuelles, limiter la consommation de produits laitiers à deux par jour chez les adultes augmenterait le risque d'inadéquation d'apports en calcium sans pour autant apporter de bénéfice nutritionnel notable (Maillot & Darmon, 2020) et sans que la preuve d'un avantage pour la santé n'ait été apportée.

Bénéfices et risques pour la santé des régimes végétariens

Les études suggèrent qu'une consommation d'aliments d'origine végétale est associée à une réduction des risques de maladies cardiovasculaires (Petersen et al., 2017). Les régimes végétariens sans produits animaux (végétaliens) permettraient de réduire de 22% la mortalité prématurée mais n'ont pas été comparés avec des régimes omnivores « prudents » comme le régime Méditerranéen par exemple (Magkos et al., 2019; Springmann et al., 2018b). Les régimes végétariens réduiraient significativement le risque de cardiopathies ischémiques et de cancers totaux mais n'auraient pas d'incidence sur la mortalité en général et les maladies cardiovasculaires (Dinu et al., 2017), ou sur l'obésité (Magkos et al., 2019). Il convient cependant de considérer les biais qui peuvent exister dans les études analysant les bénéfices santé des régimes végétariens, notamment car ces régimes sont souvent adoptés par des individus de statut socio-économique élevé avec des habitudes de vie plus saines du fait de préoccupations de santé plus importantes que celles observées en population générale (Dagnelie & Mariotti, 2017 ; Parker & Vadiveloo, 2019). De plus, les végétariens volontaires pour les études ne sont pas représentatifs de tous les végétariens, et les études s'appuyant sur une auto-déclaration du statut de végétarien (au lieu d'enquêtes alimentaires détaillées) peuvent être faussées (Dagnelie & Mariotti, 2017). Les régimes végétariens, et encore plus végétaliens, peuvent même avoir un effet délétère sur la santé quand ils sont mal menés, c'est-à-dire si les apports en certains nutriments comme les acides gras oméga 3 à longue chaîne, la vitamine B12, la vitamine D, le calcium, le fer ou le zinc sont insuffisants (Magkos et al., 2019).

1.1.3.3 Enjeux environnementaux liés à la consommation de produits animaux

Impacts environnementaux liés à la consommation de produits animaux

Si une consommation excessive de produits animaux pose des problèmes de santé, c'est surtout l'impact environnemental élevé de cette catégorie d'aliments qui a conduit à l'analyser particulièrement dans les études sur l'alimentation durable.

La production alimentaire a des conséquences importantes sur l'environnement. Le stade agricole représente 61% des EGES (ou 81% en prenant en compte les EGES dues à la déforestation), 79% de l'acidification et 95% de l'eutrophisation de la production alimentaire globale (Poore & Nemecek, 2018). L'agriculture recouvre 43% des terres (hors terres glaciaires et déserts), et 87% des terres occupées pour l'agriculture sont destinées à l'alimentation, le reste étant utilisé pour les textiles ou les biocarburants. Enfin, 2/3 des prélèvements d'eau douce sont utilisés pour l'irrigation des terres agricoles. Avec une faible proportion retournant dans les cours d'eau, l'agriculture est responsable de 90 à 95% de l'épuisement des ressources en eau. Or, la population mondiale croît chaque année, et pourrait atteindre la barre des 10 milliards en 2050. En raison de l'augmentation de la population mondiale qui crée une hausse de la demande en nourriture, l'agriculture pourrait donc être amenée à devoir encore s'intensifier pour satisfaire les besoins alimentaires (FAO, 2018).

Le secteur de l'élevage est responsable de 81 à 86% des EGES agricoles en Europe (Leip et al., 2010). Les émissions de méthane représentent la majorité des EGES du secteur de l'élevage (44%), suivi du protoxyde d'azote (29%) et du CO₂ (27%) (Gerber et al., 2013). Les émissions de méthane proviennent de la fermentation entérique principalement, qui est le processus digestif par lequel les micro-organismes dégradent la cellulose dans le gros intestin chez les non-ruminants (mais négligeable) ou le rumen chez les ruminants (bovins, ovins, caprins), et de la gestion des déjections animales (CITEPA, 2020). Les émissions de protoxyde d'azote et de CO₂ sont liées au changement d'affectation des sols, à la production d'aliments pour les animaux, à l'énergie requise pour cette production et à l'épandage des déjections (Gerber et al., 2013). La conversion des terres arables en prairies ou forêts contribue en effet au stockage du carbone alors que la conversion des forêts et des prairies en terres arables diminue le stockage du carbone (Arrouays et al., 2002). Les espèces qui contribuent le plus aux EGES sont les ruminants (35%) suivis des porcs (10%), des buffles et des poulets (9% chacun), tandis que les petits ruminants (ovins et caprins, 7%) sont les plus faibles contributeurs (Gerber et al., 2013). Cependant, l'élevage européen reste un contributeur modeste par rapport aux autres pays puisque le cheptel bovin européen ne représente que 8,5% de la population bovine mondiale (USDA, 2021). L'élevage a de multiples autres impacts sur l'environnement puisqu'à l'échelle mondiale, il nécessite 70% des terres agricoles (Foley et al., 2011) et consomme 8 à 15% des ressources en eau dans le monde (Gerber et al., 2013). D'autre part, une concentration locale des élevages contribue à l'eutrophisation terrestre et aquatique (Leip et al., 2011) et à la pollution de l'air par l'ammoniac et les microparticules (Leip et al., 2015). Les productions végétales, utilisées en partie pour l'alimentation du bétail, ont aussi des impacts délétères sur l'environnement (EGES, contamination des sols par la fertilisation azotée (composés acidifiants ou eutrophisants), usage des terres, épuisement des ressources en eau...)(Fonds Français pour l'Alimentation et la Santé, 2019). De plus, elles

contribuent à la diminution de la biodiversité par la sélection d'espèces et l'utilisation de produits phytosanitaires (Benton et al., 2003). Un tiers de la production mondiale de céréales est destinée à l'alimentation animale, les céréales représentant dans le monde 14% de la ration des bovins (Mottet et al., 2017). Mais l'élevage peut aussi avoir des effets bénéfiques sur l'environnement. Les élevages de ruminants en prairies permettent la valorisation d'espaces dit « non cultivables » car ils ne peuvent être exploités pour produire des végétaux directement consommables par les humains (Mottet et al., 2017). On estime que sur l'ensemble des prairies destinées à l'élevage dans le monde, 65% ne sont pas cultivables (Mottet et al., 2017). De plus, le pâturage participe au maintien des prairies, qui jouent un rôle positif dans le stockage du carbone, et au maintien de la biodiversité (Peyraud, 2020b).

L'aquaculture représente 45% du marché mondial de poissons, le reste étant issu de la pêche (FAO, 2015). Si l'aquaculture génère moins d'EGES que l'élevage de mammifères (MacLeod et al., 2020), elle nécessite l'utilisation de ressources en énergie, la production de nourriture pour les poissons et génère de la pollution aquatique (FAO, 2015). La pêche, représentant 55% du marché mondial de poissons, affecte en particulier la biodiversité marine. La FAO estime qu'en 2017, environ un tiers des espèces de poissons étaient surexploitées et épuisées (FAO, 2020). En prélevant des espèces marines, la surpêche perturbe la chaîne alimentaire et les écosystèmes marins (Coleman & Williams, 2002).

Quelle que soit l'unité - dite « unité fonctionnelle » - à laquelle sont rapportées les EGES (pour 100 g, 100 kcal ou 100 g de protéines), c'est la viande de ruminants qui est associée aux plus fortes valeurs d'EGES par rapport aux autres produits issus de l'agriculture, végétaux comme animaux (Masset et al., 2015; Poore & Nemecek, 2018). C'est aussi l'élevage de ruminants qui nécessite le plus de surface agricole pour produire une même unité fonctionnelle d'aliment (Poore & Nemecek, 2018). Pour 100 g d'aliments, ce sont les produits animaux qui ont les EGES les plus élevées et les produits végétaux les plus faibles, à l'exception du chocolat, du café, de l'huile de palme, de l'huile d'olive et du riz qui sont associés à des EGES élevées (Poore & Nemecek, 2018).

Bénéfices environnementaux des régimes végétariens

La forte contribution des produits animaux aux EGES et à d'autres indicateurs de l'impact environnemental des régimes alimentaires a été observée dans plusieurs études en Europe et en Amérique du Nord (Scarborough et al., 2014; Soret et al., 2014). Dans une étude portant sur une cohorte nord-américaine, le régime non-végétarien était associé à des EGES 1,4 fois plus élevées que le régime végétarien (Soret et al., 2014). De la même façon, l'étude sur la cohorte EPIC-Oxford au Royaume-Uni a analysé les EGES des régimes alimentaires de différents sous-groupes de la population définis selon le niveau de leur consommation de viande (Scarborough et al., 2014). Les gros mangeurs de viande (>100 g/jour) étaient ceux qui avaient les EGES les plus élevées suivi des mangeurs intermédiaires et des petits mangeurs de viande (<50 g/jour) alors que les végétariens présentaient un niveau d'EGES encore plus faible, le minimum étant observé pour les végétaliens. Les études sur des scénarios de régimes végétariens confirment que plus la part de produits animaux dans le régime alimentaire est faible, plus l'impact sur l'environnement est faible également (Baroni et al., 2007; Berners-Lee et al., 2012; Coelho et al., 2016; Meier & Christen, 2013; Tilman & Clark, 2014; van Dooren

et al., 2014; Vanham et al., 2013). Une revue de la littérature a également montré, à partir de plusieurs profils de régimes alimentaires, que les bénéfices environnementaux étaient proportionnels à l'ampleur de la réduction de la viande (en particulier celle de ruminants) et des produits laitiers (Aleksandrowicz et al., 2016). C'est pourquoi les régimes végétaliens étaient ceux qui avaient le moins d'impact sur l'environnement. Par exemple, des régimes théoriques, respectivement végétarien et végétalien, permettaient de diminuer les EGES de 22% et 35% par rapport au régime alimentaire moyen néerlandais, à apport énergétique équivalent (van Dooren et al., 2014). En Allemagne, les réductions des EGES estimées étaient un peu plus importantes avec une baisse de 25% pour le régime végétarien et de 50% pour le régime végétalien par rapport au régime moyen allemand, après ajustement à 2000 kcal (Meier & Christen, 2013). Par ailleurs, une étude à l'échelle de l'Europe a montré que, par rapport à quatre régimes moyens observés dans quatre régions (zones est, ouest, nord ou sud), un régime théorique moyen végétarien réduirait de 27% à 41% (en fonction des zones) l'utilisation d'eau (Vanham et al., 2013).

Une étude réalisée en France pour l'ADEME a estimé les EGES, les surfaces mobilisées et la consommation d'énergie à l'étape agricole de régimes à 170 g, 75 g et 30 g de viande par jour et de régimes pesco-végétariens, végétariens et végétaliens spontanément consommés par les volontaires de l'étude BioNutriNet (volet spécifique de l'étude Nutrinet-Santé concernant la consommation de produits issus de l'agriculture biologique) (Barbier et al., 2020). Plus la part de produits animaux était élevée et plus les EGES, les surfaces mobilisées et la consommation d'énergie pour l'étape agricole l'étaient aussi. Un régime à 170 g de viande par jour sollicitait 4,6 fois plus de surface et presque deux fois plus d'énergie qu'un régime végétarien, et les EGES associées étaient six fois plus élevées. De même, en comparaison avec des régimes omnivores (95% de l'échantillon) de la cohorte Nutrinet-Santé, le score d'impact environnemental pRecipe était respectivement 61%, 64% et 69% plus faible pour les végétariens, les pesco-végétariens et les végétaliens (Rabès et al., 2020). Dans la même cohorte, un score « pro-végétarien » (voir partie 1.1.2.2, « indicateurs de qualité nutritionnelle à l'échelle du régime alimentaire ») plus élevé était associé à de plus faibles EGES (Lacour et al., 2018). Les trois études confirment, dans cette cohorte française, que réduire la consommation des produits animaux apporterait des bénéfices sur le plan environnemental (Allès et al., 2017; Barbier et al., 2020; Rabès et al., 2020). En France, l'adoption théorique d'un régime alimentaire végétarien par toute la population permettrait de réduire les EGES de 35%, l'épuisement des ressources en énergie de 11%, l'eutrophisation de 37%, l'usage des terres de 43% et l'acidification de 49% (Coelho et al., 2016). Plus globalement, une revue de la littérature estimait que le régime végétarien permettrait une réduction de 18 à 35% des EGES et de 27 à 52% l'usage des terres (Hallström et al., 2015).

1.1.3.4 Représentation des régimes végétariens en France

D'après l'enquête « Comportements et Consommations Alimentaires en France », en 2018, 99% des adultes et des enfants sondés avaient consommé des produits carnés au moins une fois au cours de la semaine (Tavoularis & Sauvage, 2018). Dans les enquêtes INCA2 et INCA3, la proportion de végétariens restait encore marginale avec respectivement à 0,5% et 1,8% d'enquêtés n'ayant pas déclaré de consommation de chair animale dans leur enquête alimentaire (Dauchet & Jung, 2019). Une

étude quantitative de 2019 commandée par FranceAgriMer auprès du CREDOC a analysé les résultats d'un questionnaire internet sur les pratiques de consommation alimentaire, les identités, les motivations et les attitudes ainsi que les caractéristiques sociodémographiques d'un échantillon représentatif par quotas de 1009 individus dans quatre pays d'Europe (France, Allemagne, Espagne et Royaume-Uni). Dans ce sondage, 5,6% des Français se déclaraient végétariens, 1,1% « véganes » et 0,1% « végétaliens » (FranceAgriMer, 2019). À titre comparatif, le taux de végétariens atteignait 8% au Royaume-Uni, 5,6% en Allemagne, 2,8% en Espagne (FranceAgriMer, 2019) et 5% aux États-Unis (Gallup, 2018). Il existerait un décalage entre représentations et pratiques alimentaires car les personnes qui se déclarent végétariennes sont plus nombreuses que celles qui déclarent ne pas consommer de chair animale. En effet, parmi les 5,6% de Français se déclarant végétariens, seuls 34% déclarent ne jamais manger de viande ni poisson (soit 1,9% des Français) et parmi ceux qui déclarent ne jamais manger de viande ni de poisson, 8% ne se déclarent ni végétarien, ni végétalien, ni végane. D'après un sondage Diploméo en France, sur 3094 étudiants âgés de 16 à 25 ans en 2020, la population jeune serait particulièrement sensible au végétarisme, avec 8% des déclarants (Diplomeo, 2020).

Les raisons évoquées par les sondés de l'enquête FranceAgrimer pour passer à un régime végétarien sont multiples (FranceAgriMer, 2019). Il peut s'agir d'une volonté de respecter l'environnement (30% des sondés), d'une prise en considération du bien-être animal par le refus de les élever pour les manger (35%) et par le rejet des conditions d'élevage et d'abattage (40%), ou encore pour des raisons liées à la santé (53%), en particulier concernant la non-consommation de viande rouge et de charcuterie. Le taux de végétariens déclarés s'élève à 9% chez les cadres, professions libérales et professions intellectuelles supérieures contre seulement 4% chez les ouvriers. Pour 13% des sondés, en particulier les ouvriers, le prix est la raison principale de la non-consommation de viande. Chez les seniors, les raisons sont principalement rattachées à la santé alors que les notions d'éthique et de protection de l'environnement préoccupent davantage les plus jeunes végétariens.

1.1.4 Identification de régimes alimentaires plus durables

1.1.4.1 Approches pour identifier des régimes alimentaires plus durables

Les études utilisent différents types d'approches pour identifier des régimes alimentaires plus durables. Certaines études établissent des scénarios *a priori* pour les comparer entre eux (par exemple en termes de qualité nutritionnelle ou d'impact environnemental), d'autres études ont une approche opposée, en identifiant, sans *a priori* sur les aliments consommés, les individus dont l'alimentation présente les meilleures caractéristiques sur plusieurs dimensions de la durabilité (nutrition, environnement...). Enfin, une approche multicritère permet de concevoir des régimes alimentaires plus durables à partir d'une optimisation mathématique sous contraintes. Les études se basant sur des régimes alimentaires théoriques visent à comparer des régimes alimentaires théoriques entre eux et/ou par rapport à un régime alimentaire moyen. Les régimes théoriques sont soit le reflet de profils alimentaires à faible teneur ou excluant la viande et les autres produits animaux (végétariens, végétaliens, pesco-végétariens, et flexitariens), soit définis par des experts sur la base de leur interprétation des données de la littérature scientifique, soit une construction faite à partir de substitutions de produits animaux dans des régimes observés.

L'épidémiologie nutritionnelle, qui se base sur des enquêtes alimentaires individuelles pour étudier les relations entre l'alimentation et la santé, est utilisée depuis une dizaine d'années pour explorer la durabilité des régimes alimentaires. Sur la base de ces données observationnelles, certaines études visent à identifier des régimes alimentaires plus durables que les autres parmi l'ensemble des régimes observés. Puisque ces consommations alimentaires sont effectivement celles d'une partie de l'échantillon, on peut supposer que ces régimes alimentaires - identifiés comme plus durables par rapport à l'ensemble des régimes observés - sont acceptables et réalistes. Deux types d'approche sont mises en œuvre pour identifier des régimes plus durables parmi les régimes observés : une approche *a priori* (l'étude des régimes végétariens en fait partie, voir partie 1.1.3) et une approche *a posteriori* parfois aussi appelée approche par la déviance positive (car elle consiste à identifier des régimes alimentaires différents des autres mais positivement différents).

La programmation linéaire est une approche multicritère adaptée pour répondre à la problématique d'incompatibilité des dimensions de l'alimentation durable (Gazan et al., 2018). Elle permet de résoudre un problème complexe grâce à des modèles d'optimisation basés sur l'algorithme du Simplex (Darmon & Moy, 2008). Elle a été utilisée pour la première fois en nutrition humaine en 1947, dans le but de générer des régimes nutritifs à moindre coût pour les soldats américains (Dantzig, 1990). Le modèle d'optimisation met en jeu trois principaux paramètres : i) Les variables recherchées, que sont les aliments et leurs quantités, et dont la composition nutritionnelle est connue ; ii) les contraintes, qui correspondent aux exigences imposées ; iii) la fonction objectif, qui est une fonction linéaire des variables, à minimiser ou à maximiser. La résolution d'un modèle d'optimisation de régime alimentaire vise à définir la combinaison d'aliments (les variables) optimale pour une population ou un individu, qui maximise ou minimise un objectif (la fonction objectif) tout en respectant les exigences imposées (les contraintes). Il existe une solution (régime alimentaire optimisé) lorsqu'au moins une combinaison d'aliments est ainsi identifiée. Dans le cas contraire, le modèle est dit infaisable.

1.1.4.2 La réduction de viande et les régimes végétariens comme modèles d'alimentation durable

Approches théoriques basées sur des scénarios de réduction ou de suppression des produits animaux

Parmi les scénarios les plus courants de réduction ou de suppression de produits animaux, on peut trouver des régimes théoriques végétariens, végétaliens et flexitariens (parfois aussi qualifié de « semi-végétariens »). « Flexitarien » est un mot valise, forgé par le journaliste américain Mark Bittman dans les années 1990, composé de la contraction de « flexible » et « végétarien » (FranceAgriMer, 2019). Le terme se réfère aux individus qui cherchent à réduire leur consommation de viande, sans pour autant l'exclure complètement de leur régime. Le caractère « occasionnel » de la consommation de viande dans les régimes flexitariens reste peu précis, et varie selon les contextes culturels et les individus. Les études visant à comparer différents régimes théoriques entre eux ont montré que moins le régime comprenait de produits animaux et moins les EGES et autres indicateurs environnementaux (usage des terres, épuisement des ressources en eau, ...) étaient élevés; les régimes végétaliens présentant les plus faibles impacts environnementaux (voir partie 1.1.3.3). Cependant, les régimes théoriques contenant le moins de produits animaux n'étaient pas toujours ceux de meilleure qualité nutritionnelle (van Dooren et al., 2014). Ainsi, parmi six scénarios de régimes alimentaires (régime

moyen néerlandais, régime respectant les recommandations nutritionnelles, semi-végétarien, végétarien, végétalien et méditerranéen), des régimes végétariens et végétaliens n'avaient pas le meilleur « score santé » basé sur la consommation en fruits, légumes, poissons et les teneurs en acides gras totaux, AGS, acides gras trans, sucres libres, sel et énergie (van Dooren et al., 2014). Le régime méditerranéen était celui avec le meilleur score nutritionnel et un score environnemental proche du régime végétarien. Une étude portant sur 27 pays européens a toutefois montré que, pour une même teneur calorique, le régime méditerranéen, caractérisé par une densité nutritionnelle élevée et une faible densité énergétique, apportait *in fine* des bénéfices environnementaux peu intéressants par rapport à un régime moyen car la diminution de viande rouge était compensée par l'augmentation des volailles, poissons et produits céréaliers (Tukker et al., 2011).

Le scénario « Afterres 2050 », présenté par Solagro en 2016 proposait de réduire de moitié la consommation totale de protéines, de passer de 14% à 11% la part de sucres totaux dans les apports énergétiques, de diviser par deux les pertes et le gaspillage et de répartir la consommation de protéines en un tiers de protéines animales et deux tiers de protéines végétales en France. L'assiette ainsi obtenue était plus riche en fruits et légumes, légumineuses, céréales et fruits à coques, comprenait deux fois moins de lait et de viande et 10% de quantité d'aliments en moins par rapport au régime moyen INCA2. Couplé à une évolution du système agricole, le scénario permettrait de réduire de moitié les EGES (Solagro, 2016). En 2018, le WWF et Eco2 initiative, ont également développé des assiettes végétariennes, végétaliennes et flexitariennes (WWF & Eco2 Initiative, 2017, 2018) à partir de l'enquête alimentaire INCA3 et des résultats des études « Livewell », qui définissaient la composition d'une assiette durable en 2020 et 2030 pour la population britannique (adultes, adolescents, seniors et végétaliens) (Kramer et al., 2017a) et de l'assiette « Afterres2050 » (Solagro, 2016). L'objectif était de trouver une combinaison d'aliments améliorée sur trois dimensions de la durabilité (environnement, nutrition et économie) par rapport aux résultats des études « Livewell » et « Afterres2050 » (WWF & Eco2 Initiative, 2017). Le régime flexitarien, aussi appelé « assiette durable » était composée de 163 aliments parmi ceux qui sont les plus consommés en France présentant, par rapport au régime moyen INCA3 d'un adulte, une diminution de la viande (-31% de viande et -66% de bœuf et de veau), des poissons sauvages (-40%), des produits transformés industriels, gras, salés et sucrés (-69%), des féculents raffinés (-46%) au profit des féculents complets, une augmentation de la part des légumes, céréales et légumineuses (+95%), et une introduction de substituts de produits animaux (boissons végétales, soja, ...). Le Nutri-Score de l'« assiette » était calculé en rapportant les teneurs nutritionnelles pour 100 g. Une baisse de 38% des EGES, une baisse de 21% du coût et une amélioration du Nutri-Score de C à A étaient obtenues en passant d'une assiette moyenne INCA3 à l'assiette flexitarienne. En effet, malgré une légère diminution des teneurs en vitamine B12 (-10%) et en calcium (-7%), l'assiette flexitarienne permettait une diminution des nutriments à limiter (sel, sucres, sodium) et une augmentation des nutriments protecteurs (+85% de fibres). Par ailleurs, une augmentation de 73% de vitamine D, +34% de fer, +16% de zinc et +3% de vitamine A étaient observées. Sur une semaine, l'« assiette » se traduisait par quatre repas avec de la viande ou du poisson (en privilégiant les poissons et mollusques aquacoles aux poissons sauvages et le porc et la volaille à la viande de ruminant) et trois repas végétariens. Des « assiettes » végétariennes et végétaliennes ont également été construites en complément et étaient associées à des baisses

respectives de 52% et 64% des EGES et de 28% et 26% du coût de la diète, par rapport à INCA3 (WWF & Eco2 Initiative, 2018). Leur qualité nutritionnelle était en adéquation avec les recommandations nutritionnelles, excepté pour la vitamine D dans l'assiette végétarienne et pour les vitamines B12 et D dans l'assiette végétalienne, qui nécessiteraient d'être accompagnées par la prise de compléments alimentaires. A partir de plusieurs enquêtes et tendances récentes sur les différents régimes alimentaires, une modélisation graduelle de l'évolution des consommations alimentaires évaluait que d'ici 2050, 53% des Français adopteraient un régime flexitarien, 26% un régime végétarien, 14% un régime végétalien alors que 7% conserveraient un régime omnivore moyen type INCA3, ce qui engendrerait une réduction de 43% des EGES par rapport au régime alimentaire INCA3 actuel, tout en respectant la potentielle acceptabilité des Français (WWF & Eco2 Initiative, 2018).

Au niveau international, les chercheurs de la commission « Eat-Lancet » ont simulé des changements d'habitudes dans 158 pays selon plusieurs scénarios en suivant l'atteinte de trois objectifs : la sécurité alimentaire, la protection de l'environnement (EGES, usage des terres, épuisement des ressources en eau et cycles de l'azote et du phosphore) et la santé publique (Springmann et al., 2018b). Parmi les scénarios, ceux basés sur les modèles de régimes flexitariens, pesco-végétariens, végétariens et végétaliens s'avéraient plus efficaces que ceux basés sur un remplacement isocalorique des produits animaux par des produits végétaux (deux tiers de légumineuses et un tiers de fruits et légumes) ou sur une modification de l'apport énergétique pour qu'il corresponde aux besoins énergétiques spécifiques des pays. Les modèles flexitariens et pesco-végétariens permettaient d'atteindre les recommandations nutritionnelles à l'exception de la vitamine B2. Les régimes végétaliens engendrent une réduction des EGES de 87% et du risque de mortalité de 22%, mais ils présentaient des apports insuffisants en vitamines B2, B12 et calcium. De plus, la vitamine D, le DHA et le sodium n'ont pas été estimés dans cette étude. Le modèle flexitarien, associé à 19% de réduction de la mortalité prématurée et 54% de réduction des EGES est présenté comme le « régime alimentaire planétaire » ou « régime de référence » par la commission Eat-Lancet (Willett et al., 2019). Par rapport à un régime alimentaire moyen consommé dans le monde, le régime « EAT-Lancet » contient moins de viande rouge (14g/j), pas de charcuterie, moins d'œuf (13 g/j), moins de pommes de terre et autres tubercules (50 g/j), de sucres ajoutés (31 g/j) et de graisses saturées (11,8 g/j) mais des quantités à peu près similaires de volaille (29 g/j), de poissons et fruits de mer (28 g/j) et des quantités plus importantes de fruits et légumes (500 g/j), de légumineuses (75 g/j), de céréales complètes (232 g/j et aucunes céréales raffinées), de produits laitiers (250 g/j), de fruits à coque (25 g/j) et d'huiles végétales insaturées (40 g/j). Si ce régime alimentaire ne s'oppose pas totalement aux recommandations alimentaires, il amène cependant quelques critiques. Les conclusions quant à la diminution du risque de mortalité associée ont été remises en question puisqu'elles comportaient des failles méthodologiques et les valeurs de réduction du risque de mortalité ne seraient en réalité pas supérieures à celles induites par des réductions d'apports énergétiques (Zagmutt et al., 2020). Son acceptabilité est remise en question puisque le régime s'éloigne des consommations alimentaires traditionnelles en proposant un remplacement complet des céréales raffinées par des céréales complètes, et une réduction drastique des viandes rouges, œufs, produits laitiers et tubercules associée à une forte augmentation des huiles végétales et légumineuses. Concernant la dimension environnementale, les cultures de fruits à coques nécessitant beaucoup d'eau, l'épuisement des

ressources en eau pourrait être plus élevé avec le scénario du EAT-Lancet qu'il ne l'est actuellement (Vanham et al., 2020). Enfin, les experts de la commission EAT-Lancet n'ont pas pris en compte le coût de leur régime de référence, qui pourrait s'avérer inaccessible financièrement pour environ 1,2 milliards de personnes dans le monde (Hirvonen et al., 2020).

Approches théoriques basées sur la substitution de produits animaux par des produits végétaux ou d'autres produits animaux

Dans les simulations de réduction de produits animaux, il est également important de considérer quels seront les produits de remplacement et dans quelle mesure ils impactent l'environnement et la qualité nutritionnelle des régimes alimentaires ainsi générés.

Tout d'abord, la densité énergétique des aliments de substitution est un élément à prendre en compte. En effet, en France, une étude basée sur les données de consommation des adultes dans INCA2 a consisté à substituer de façon isocalorique la viande par d'autres catégories alimentaires pour mesurer l'impact de cette substitution sur les EGES des régimes (Vieux et al., 2012). Or, la substitution de la viande et de la charcuterie par des fruits et légumes s'est traduite par une forte augmentation du poids de la diète, pour compenser les calories retirées (+426 g pour -133 kcal de viande), ce qui contribuait à faire augmenter les EGES (+2,7%). En revanche, bien que les produits laitiers aient un impact environnemental plus élevé (par gramme de produit) que les fruits et légumes, quand la viande et la charcuterie étaient remplacés par des produits laitiers, les EGES diminuaient de 3,5% car une moindre quantité (+191 g) par rapport à celle des fruits et légumes était nécessaire pour compenser la perte de calories liée à la baisse de la viande et de la charcuterie (Vieux et al., 2012). Le remplacement de la viande de ruminants par d'autres produits de moindre impact environnemental, y compris d'autres produits d'origine animale comme les produits laitiers, pourrait donc avoir un intérêt sur le plan environnemental. De même, au Royaume Uni, la substitution de viande par des substituts végétaux entraînait une baisse des EGES de 35% et du coût de 3% par rapport à un régime moyen mais la substitution de viande de ruminants par du porc et de la volaille permettait déjà une réduction des EGES de 18% (Hoolohan et al., 2013). Une approche originale effectuée dans une cohorte aux Etats-Unis, consistait à effectuer des substitutions uniquement sur 16% des individus, identifiés comme « *potential changers* » (réceptifs au changement) (Willits-Smith et al., 2020). Remplacer la viande de bœuf par de la volaille chez ces individus réduirait les EGES de 35,7%, réduirait le coût du régime de 1,7% et augmenterait le score HEI de 1,7%. A l'échelle de la population, de tels changements impliqueraient cependant une réduction des EGES de seulement 4,8% (et 6,7% pour un remplacement total de la viande par des produits végétaux).

Au Pays Bas, des études ont montré qu'une réduction de 30% de viandes et de produits laitiers et le remplacement à poids équivalent par des substituts végétaux apportait des bénéfices en termes d'apports en fibres et AGS mais leur suppression totale augmentait la prévalence d'inadéquation en zinc, vitamine A, vitamine B1 et vitamine B12 chez les enfants et les adultes (Seves et al., 2017; Temme et al., 2013, 2015). Le fer augmentait avec la substitution mais avec un questionnaire sur sa biodisponibilité qui est moins bonne dans les alternatives végétales. La qualité nutritionnelle des régimes dont les produits animaux sont réduits ou supprimés dépend aussi beaucoup de la qualité

nutritionnelle des produits de substitutions. Ainsi, les bénéfices nutritionnels des substitutions des aliments à base de protéines animales par des aliments à base de protéines végétales dans les consommations des adultes d'INCA3 étaient limités par la faible diversité des protéines végétales du régime actuel des Français, dominées par la consommation de céréales raffinées (Salomé et al., 2019). Une plus forte contribution en légumineuses, fruits à coques, graines et légumes devrait être favorisée pour ne pas diminuer l'adéquation nutritionnelle (estimée par le sous-score d'adéquation du PANDiet) du régime actuel (Salomé et al., 2019). Lorsque la viande, le lait et les desserts lactés étaient remplacés par des substituts végétaux, ceux à bases de légumineuses (incluant le soja) présentaient les meilleurs avantages nutritionnels par rapport aux autres substituts (Salomé et al., 2021).

Les approches théoriques basées sur des profils alimentaires ou des substitutions sont généralement le résultat de décisions arbitraires, qui n'assurent pas forcément la durabilité des régimes alimentaires proposés, vérifiée *a posteriori* (Perignon & Darmon, 2021; Vieux, 2021). Elles se concentrent souvent sur l'amélioration d'une seule des dimensions de la durabilité, le plus souvent l'impact environnemental, sans que l'amélioration des autres dimensions ne soit par ailleurs assurée. De plus, les approches théoriques basées sur des scénarios, parce qu'elles s'éloignent par définition des régimes alimentaires observés, prennent difficilement en compte l'acceptabilité. Or, il est essentiel de prendre en compte le régime alimentaire habituel des individus car pour qu'ils soient efficaces, les régimes alimentaires plus durables doivent être adoptés par l'ensemble de la population.

Approches observationnelles par la déviance positive

En partant d'un échantillon représentatif de la population, il est possible d'identifier des individus ayant des régimes alimentaires plus durables que les autres. Ces individus qui ont des régimes alimentaires différents des autres mais positivement différents sont appelés « déviants positifs ». En France, par exemple, Masset et al. ont isolé dans la population de l'étude INCA2, des individus dont les consommations alimentaires combinaient deux caractéristiques de la durabilité : une meilleure qualité nutritionnelle que le reste de l'échantillon (PANDiet supérieur à la médiane) et de plus faibles EGES (inférieurs à la médiane) (Masset et al., 2014b). Ces individus, définis comme « déviants positifs », représentaient 20% de la population, les EGES liés à leur alimentation étaient de 19 à 17% plus faibles que le reste de la population, et leur score PANDiet était meilleur (par construction), sans que le coût du régime alimentaire (estimé sur la base du prix moyen des aliments consommés) ne soit augmenté (il en était même réduit). Les déviants positifs se distinguaient par un apport calorique total plus faible de 200 kcal et une alimentation de moindre densité énergétique. Concernant leurs consommations alimentaires, les contributions énergétiques de féculents, fruits, légumes et fruits à coques étaient plus élevées alors que celles des viandes et boissons alcoolisées étaient plus faibles que dans le reste de l'échantillon. Concernant les viandes, la viande de ruminant était presque réduite de moitié pour atteindre 28 g/j chez les hommes et 19 g/j chez les femmes.

Une autre étude basée sur les consommations alimentaires de cinq pays européens a identifié des individus présentant des consommations alimentaires plus durables (meilleurs apports nutritionnels associés à plus faibles EGES) par une approche similaire. Un modèle de régression qui permet d'identifier les groupes d'aliments prédictors des variations d'apports nutritionnels et/ou

d'EGES était utilisé (Vieux et al., 2020). Les individus avec des consommations alimentaires plus durables (-20% d'EGES) consommaient en moyenne plus de produits végétaux mais autant de produits animaux que la population générale. La répartition des produits animaux dans les régimes alimentaires des déviants positifs était néanmoins différente de celle de la population générale avec moins (19 g/j contre 33 g/j) de viande de ruminant, de charcuterie, d'abats, de plats mixtes à base de produits animaux mais plus de produits laitiers et de poisson. Une étude menée aux Pays-Bas sur la cohorte EPIC-NL a utilisé la même approche pour identifier deux profils alimentaires plus durables que les autres (Biesbroek et al., 2018). L'application de cette méthode a permis d'isoler le « Plant-based pattern », caractérisé par une consommation élevée en fruits et légumes, légumineuses, et une consommation faible en fritures, viande rouge, et charcuteries et le « Dairy-based pattern », caractérisé par une forte consommation de produits laitiers, fruits à coques, et une faible consommation de pain blanc, de sauces salées et de café, thé et sodas. Le « Dairy-based pattern » était associé à une meilleure qualité nutritionnelle que le « Plant-based pattern » mais à des EGES plus élevées (4,43 kg CO₂ eq/jour contre 3,96 kg CO₂ eq/jour). La même méthode utilisée sur la cohorte Nutrinet-Santé a permis l'identification d'un groupe de participants ayant, par rapport au reste de l'échantillon, des régimes alimentaires moins impactants sur l'environnement, de qualité nutritionnelle (PANDiet) plus élevée et à coût similaire proportionnellement à leurs revenus (Seconda et al., 2018). Ces régimes étaient caractérisés par des consommations élevées en fruits et légumes, en féculents et en soja et une moindre consommation de produits animaux. La quantité de viande de ruminant en particulier n'était que de 18,5 g/jour en moyenne. Les individus de ce groupe avaient un niveau plus élevé d'éducation et d'activité physique et une prévalence de surpoids moins importante que dans le reste de la cohorte.

Si les approches observationnelles privilégient l'identification de consommations alimentaires réalistes plus durables, elles sont néanmoins limitées par des choix alimentaires qui ne respectent rarement - voire jamais - toutes les recommandations nutritionnelles. L'amplitude des améliorations, concernant notamment l'impact environnemental, est souvent plus faible que dans les approches théoriques (Perignon & Darmon, 2021). De plus, l'analyse de régimes alimentaires existants nécessite *de facto* des données sur la consommation alimentaire au niveau individuel. Or, les données issues d'enquêtes nationales sur les consommations alimentaires individuelles ou issues de cohortes épidémiologiques ne sont pas toujours disponibles, et nécessitent un travail fastidieux en termes de gestion et d'analyse des données. Les approches par scénarios et observationnelles n'assurent pas toujours à la fois la diminution de l'impact environnemental et le respect des recommandations nutritionnelles (Perignon & Darmon, 2021). Les approches multicritères basées sur l'optimisation permettent de dépasser ces limites en prenant en compte plusieurs exigences simultanément pour déterminer des régimes alimentaires plus durables qui n'auraient pas pu être identifiés par les autres approches (Gazan et al., 2018; Perignon & Darmon, 2021). L'optimisation aboutit à des résultats pertinents sous réserve que les données d'entrées soient disponibles et fiables (Gazan et al., 2018; Perignon & Darmon, 2021).

Approches multicritères basées sur l'optimisation

La programmation linéaire a été utilisée à de nombreuses reprises pour apporter des réponses à des enjeux de santé publique. Par exemple, les travaux de Perignon et al. ont montré que la diminution de 30% des EGES liées à l'alimentation des Français pouvait être compatible avec la couverture de l'ensemble des recommandations nutritionnelles sans augmentation de coût (Perignon et al., 2016). L'acceptabilité sociale était maximisée (en minimisant l'écart au régime alimentaire moyen observé d'INCA2). Une telle réduction des EGES nécessitait néanmoins des changements plus drastiques que ceux identifiés dans les diètes des déviants positifs (Masset et al., 2014b) car les régimes alimentaires optimisés devaient respecter toutes les recommandations d'apports en nutriments. La viande de ruminant passait de 46 g/jour à 10 g/jour chez les hommes et de 31 g/jour à 4 g/jour chez les femmes et la charcuterie passait de 32 g/jour à 7 g/jour chez les hommes et de 19 g/jour à 4 g/jour chez les femmes alors que les fruits et légumes augmentaient fortement. Dans la même étude, les EGES pouvaient être réduites au maximum de 60% mais impliquaient une suppression de la viande ainsi qu'une forte augmentation des pommes de terre et céréales. Une approche similaire en Europe a montré qu'il était possible de réduire de 32% à 72% les EGES selon le pays et le sexe, mais ces diètes à EGES très réduites étaient obtenues au prix de changements alimentaires drastiques (Vieux et al., 2018b). En prenant en compte la biodisponibilité des protéines, du fer, du zinc et de la vitamine A ainsi que des liens de co-production entre viande bovine et lait et entre abats et viande de porc, les réductions étaient moins drastiques. En partant du même régime alimentaire français moyen observé (INCA2) que dans l'étude de Masset et al., 2014b, la viande de ruminant passait à 33g/jour chez les hommes et 26 g/jour chez les femmes et la charcuterie passait à 3 g/jour chez les hommes et 10 g/jour chez les femmes, ramenant la quantité totale de viande de ruminant et charcuterie à 36 g/jour (252 g/semaine) pour les deux sexes, soit bien moins que les limites maximales de 500 g de viande rouge et 150 g de charcuterie par semaine préconisées par le PNNS (HCSP, 2017).

Dans la cohorte Nutrinet-Santé, une optimisation visait à réduire graduellement les EGES jusqu'à -50% en prenant également les liens de co-productions et l'adéquation nutritionnelle en compte mais aussi des contraintes d'acceptabilité sur les groupes d'aliments et les recommandations du PNNS sur la limitation de produits animaux (pas plus de deux produits laitiers par jour, de deux poissons par semaine dont 1 poisson gras et pas plus de 500 g de viande rouge par semaine) (Kesse-Guyot et al., 2021). La réduction graduelle des EGES était accompagnée d'une réduction graduelle des autres impacts environnementaux (usage des terres jusqu'à -43% et utilisation des ressources en énergie jusqu'à -25%), de produits laitiers (jusqu'à -83%) et de ruminants (jusqu'à -92%) au profit de la volaille (jusqu'à +182%), du porc (jusqu'à +46%) et des légumineuses (jusqu'à +238%). Cependant, la réduction des EGES augmentait aussi la part de produits issus de l'agriculture biologique jusqu'à +70% pour -50% d'EGES, donnant lieu à une hausse de prix de +12% chez les hommes, +9% chez les femmes ménopausées et +20% chez les femmes avant la ménopause. Sur la même cohorte, l'impact environnemental (indicateur pRecipe utilisé) minimum et la part de produits issus de l'agriculture biologique maximale pour chaque individu sous contraintes d'adéquation nutritionnelle, d'acceptabilité et de prix étaient estimés au cours de premières étapes d'optimisation (Seconda et al., 2021). Dans la dernière étape, leurs consommations étaient optimisées individuellement en restant éloignées au minimum de leurs consommations observées sous la contrainte d'améliorer d'au moins 25, 50, 70, 80 ou 90% le pRecipe et la part de produits issus de l'agriculture biologique. Plus le modèle

était contraint d'améliorer le pRecipe et le pourcentage de produits issus de l'agriculture biologique, plus la DE diminuait et la proportion de produit végétaux (fruits et légumes, féculents et aliments à base de soja) augmentait et plus la part de produits animaux (viande, produits laitiers, œufs, plats préparés), matières grasses et produits sucrés diminuait. Le poisson diminuait également mais l'EPA et le DHA ne figuraient pas en contraintes.

Aux Pays-Bas, la réduction progressive du pRecipe dans les consommations alimentaires des adultes et enfants néerlandais âgés de 9 à 69 ans était également accompagnée d'une réduction progressive de la viande et d'une augmentation des légumineuses. La quantité de produits laitiers restait similaire car ils sont d'excellentes sources de vitamines B12, calcium, lysine et fer et la quantité de poissons augmentait car ce sont des sources exclusives d'EPA et de DHA (Kramer et al., 2017b). Dans toutes les tranches d'âges et de genre, la réduction de viande était l'option la plus efficace pour diminuer l'impact environnemental des régimes alimentaires (Kramer et al., 2017b). Une étude se basant sur les mêmes données que l'EAT-Lancet a utilisé une méthode d'optimisation (programmation non-linéaire) pour déterminer des régimes alimentaires durables spécifiques à chacun des 152 pays, en minimisant l'écart entre les quantités d'aliments observées dans le régime alimentaire moyen du pays et les quantités optimisées (Chaudhary & Krishna, 2019). Les contraintes se basaient sur la réduction de cinq limites planétaires, l'adéquation en 29 nutriments et quatre contraintes d'acceptabilité culturelle. Pour finir, l'avantage de cette optimisation par rapport à l'approche développée par le EAT-Lancet était que chaque pays obtenait un régime alimentaire spécifique et respectant toutes les recommandations nutritionnelles (ce que n'assure pas le EAT-Lancet) et les limites planétaires. Globalement, pour tous les pays, la viande, les produits laitiers, le riz et le sucre étaient diminués et les fruits, légumes légumineuses, noix et graines étaient augmentés dans les régimes optimisés par rapport aux régimes observés.

Quelle répartition entre protéines végétales et protéines animales dans l'alimentation durable ?

En France, la consommation de l'ensemble des viandes a diminué de 12% entre les enquêtes CCAF de 2007 et 2016, touchant plus particulièrement la viande rouge dont les quantités moyennes consommées par les adultes sont passées de 406 à 322 g/jour (Tavoularis & Sauvage, 2018). En 2018, 50% des français sondés dans l'étude FranceAgriMer (voir partie 1.1.3.4) déclaraient avoir réduit leur consommation de viande par rapport à 2017 (FranceAgriMer, 2019). Les raisons identifiées de cette diminution sont multiples et incluent l'inflation du prix de la viande bovine, les inquiétudes pour la santé des humains ou pour le bien-être animal, une offre correspondant moins aux attentes des jeunes générations ou la volonté de protéger l'environnement. Cependant, malgré cette tendance à la baisse de la consommation de viande, les protéines animales représentent encore 60% à 70% des apports protéiques en France (Anses, 2017), contre 40% à l'échelle mondiale (Our World in Data, 2017). Une proportion de 50% de protéines animales (PA) et 50% de protéines végétales (PV) est communément admise comme objectif à atteindre en matière d'équilibre PA/PV bien que, à notre connaissance, ce rapport ne fasse pas l'objet d'une recommandation officielle. Par exemple dans l'état des lieux du Fonds Français pour l'alimentation et la santé sur les protéines animales et végétales, il est dit qu'un « rapport PA/PV autour de 1 est souhaitable pour des raisons nutritionnelles tout en diminuant les émissions de gaz à effet de serre des productions animales » mais aucune source n'est citée (Fonds

Français pour l'Alimentation et la Santé, 2019). De même, le rapport d'information du Sénat du 28 mai 2020 sur l'alimentation durable précise que « [l'OMS] recommande un apport de protéines végétales représentant la moitié de l'apport protéique total » (Cartron & Fichet, 2020) alors qu'à notre connaissance, aucun rapport de l'OMS ne mentionne un tel ratio. Dans un acte de conférence de 2015, Barbara Burlingame suggérait qu'un ratio d'au moins 4 pour 1 (80%/20%) en faveur des protéines végétales serait optimal car il serait en accord avec le « régime méditerranéen » (Burlingame, 2015). L'assiette « Afterres2050 » proposée par Solagro dans son scénario de réduction des EGES « inversait les proportions » de PA et PV, c'est-à-dire un passage de 60% de PA et 40% de PV à 40% de PA et 60% de PV. En revanche, l'adéquation nutritionnelle de l'assiette « Afterres2050 » ainsi que son acceptabilité par la population française n'avaient pas été pris en compte. Bien que la valeur du rapport PA/PV à atteindre ne soit pas clairement définie, une végétalisation progressive de l'alimentation est nécessaire dans les pays occidentaux pour tendre vers une alimentation plus durable et doit être intégrée dans les recommandations nationales et internationales.

1.1.5 Prise en compte de la durabilité dans les recommandations alimentaires

Les recommandations alimentaires ont initialement été développées en vue de proposer à une population donnée un modèle alimentaire favorable à la santé qui prenne en compte les habitudes et cultures locales et l'accessibilité financière (EFSA, 2010a; OMS & FAO, 1998). La plupart de ces recommandations, qu'elles soient nationales ou internationales, comme celles émises par l'OMS (OMS & FAO, 1998) ou le WRCF (WCRF & AIRC, 2007), ont été développées avant même que la notion d'alimentation durable n'ait fait l'objet d'une définition officielle, en 2010 (Burlingame & Dernini, 2012). Or, il n'est pas certain qu'un profil alimentaire visant à répondre à des enjeux de santé (et des enjeux culturels, voire économiques) puisse aussi répondre à des enjeux environnementaux. Il est donc important d'estimer l'impact sur l'environnement du respect des recommandations alimentaires existantes, et d'engager une réflexion sur leur adaptation pour la prise en compte simultanée d'objectifs nutritionnels et environnementaux. Il a été proposé depuis longtemps d'utiliser la programmation linéaire dans le processus de développement des recommandations alimentaires (Ferguson et al., 2004). Le degré de complexité supplémentaire apporté par la nécessaire prise en compte des aspects environnementaux (et des aspects toxicologiques) en fait une méthode de choix pour intégrer la durabilité dans les recommandations alimentaires. Elle est de plus en plus utilisée dans l'actualisation des recommandations, comme en France, aux Pays-Bas et en Allemagne (Mariotti et al., 2021; Schäfer et al., 2020).

Les EGES, l'usage des terres et l'eutrophisation associés au respect des recommandations alimentaires ont été comparés pour la première fois en 2017 dans 37 pays représentant 64% de la population mondiale (Behrens et al., 2017). Dans la plupart des pays, y compris ceux où la consommation de viande est déjà faible (par exemple l'Inde), suivre des régimes alimentaires en accord avec les recommandations nationales réduirait les impacts environnementaux associés. Dans les pays les plus riches, la réduction s'étend de 13 à 25% pour les EGES, de 6 à 18% pour l'usage des terres et de 10 à 21% pour l'eutrophisation. De plus, une analyse effectuée sur 85 pays a estimé que pour 67% à 87% d'entre eux, le respect de recommandations nationales ne permettrait pas d'atteindre

les objectifs de réduction des EGES fixés par l'Accord de Paris sur le climat (Springmann et al., 2020). Respecter les recommandations alimentaires dans ces 85 pays aboutirait tout de même à une réduction moyenne de 13% des EGES, respecter les recommandations de l'OMS à une réduction de 12%, et respecter celles de la commission Eat-Lancet (voir partie 1.1.4.2, « approches théoriques basées sur des scénarios de réduction ou de suppression des produits animaux ») à une réduction de 42% (Springmann et al., 2020), bien que l'acceptabilité et l'accessibilité financière de tels régimes ne soit pas garantie (Chaudhary & Krishna, 2019; Hirvonen et al., 2020). Depuis 2020, de plus en plus de pays font le choix d'intégrer la dimension environnementale dans leurs recommandations (Boer & Aiking, 2020; Mazac et al., 2021). Certaines recommandations alimentaires vont ainsi au-delà de l'aspect nutritionnel en intégrant les enjeux de durabilité (Bechthold et al., 2018; Fischer & Garnett, 2016; Herforth et al., 2019). La Finlande et la Suède ont été les pionniers dans le développement de recommandations pour une alimentation durable suivis par l'Allemagne, le Brésil et le Qatar (Fischer & Garnett, 2016), puis le Royaume-Uni, l'Allemagne, les Pays-Bas, la Belgique en 2017 et la France et le Canada en 2019 (Mazac et al., 2021). Les messages récurrents et transversaux dans les guides alimentaires sont surtout les suivants : augmenter la part de produits végétaux dans l'alimentation, diminuer la consommation de viande, réduire la surconsommation (apports énergétiques trop élevés) et diminuer le gaspillage alimentaire (Rose et al., 2019).

En France, le guide alimentaire du PNNS actualisé en 2017 intègre désormais des recommandations relatives à l'alimentation durable. En rapprochant les recommandations du PNNS (2017) et les seize principes directeurs pour une alimentation saine et durable définis par un groupe d'experts de la FAO et l'OMS (FAO & OMS, 2019, voir partie 1.1.1.2), on peut remarquer une bonne correspondance. Les recommandations principales relatives à l'alimentation durable consistent à limiter la consommation de viande rouge et charcuteries (principe 4) et favoriser celle de fruits et légumes, légumineuses et fruits à coques (principe 3) mais il existe aussi des recommandations transversales comme diversifier les lieux et les modes d'approvisionnement ainsi que les origines des produits (principe 10), privilégier l'utilisation de produits bruts (principe 2), les aliments de saison (principe 3), les circuits courts (principe 14) et les modes de production respectueux de l'environnement (principe 9) qui limitent les intrants (principes 8) comme l'agriculture biologique (HCSP, 2017). Ces recommandations transversales sont valables aussi bien pour les adultes que pour les populations spécifiques comme les enfants (HCSP, 2020). L'association entre l'adhésion aux recommandations alimentaires du PNNS4 et les caractéristiques de durabilité des diètes individuelles a été étudiée dans la cohorte Nutrinet (Kesse-Guyot et al., 2020). Les résultats ont montré qu'une plus grande adhésion au PNNS était associée à un plus faible apport énergétique et, après ajustement sur l'apport énergétique, à de plus faibles impacts environnementaux (pRecipe), une plus faible exposition à certains pesticides et un plus grand nombre de morts évitées mais également un coût plus élevé. Cependant, aucune étude n'a, à notre connaissance, analysé l'impact du respect des nouvelles recommandations du PNNS chez les adultes sur une ou plusieurs dimensions de la durabilité dans une cohorte représentative de la population française (comme INCA3 par exemple).

IMPLICATIONS POUR LA THESE

La nutrition (en lien avec la santé), l'environnement, l'économie et l'aspect socio-culturel sont considérées comme les quatre dimensions de l'alimentation durable. Appliquée à la restauration scolaire, une alimentation durable serait donc une alimentation nutritionnellement adéquate pour les enfants, prenant en compte leurs habitudes et leurs goûts, à un coût abordable et équitable, et respectueuse de l'environnement.

Le travail de thèse portera sur la piste consistant à améliorer la durabilité de l'offre alimentaire en restauration scolaire en France. La qualité nutritionnelle de plats et de séries de repas destinés à la restauration scolaire sera étudiée par la densité énergétique, la densité nutritionnelle, le MAR, le Nutri-Score, le SAIN et le LIM. L'impact environnemental des séries de repas sera estimé par les émissions de gaz à effet de serre, l'acidification, l'épuisement des ressources en eau, l'épuisement des ressources énergétiques, l'eutrophisation d'eau douce, l'eutrophisation marine et l'usage des terres. L'acceptabilité et le volet économique sont pris en compte de façon indirecte, en considérant uniquement des plats qui sont effectivement servis en restauration scolaire.

Le végétarisme est une tendance qui augmente dans la population française notamment chez les plus jeunes. Diminuer la consommation de produits animaux, et en particulier de viande de ruminant serait plus respectueux pour l'environnement mais les bénéfices nutritionnel, économique ainsi que l'acceptabilité de régimes pauvres en produits animaux sont variables. Dans les pays occidentaux et plus particulièrement en France, les scientifiques semblent s'accorder pour un rapport équilibré (50%/50%) entre protéines végétales et protéines animales même si ce rapport ne fait l'objet d'aucune recommandation officielle. Initialement, les justifications des recommandations consistant à végétaliser l'alimentation relevaient de raisons liées à la santé humaine mais aujourd'hui c'est aussi pour la santé de la planète que ces recommandations sont généralisées. Nous verrons que la réglementation française relative à la qualité nutritionnelle en restauration scolaire a intégré à son tour cette notion de durabilité (voir partie 1.3). Il existe différentes méthodes pour identifier dans quelle mesure la viande peut être réduite, qui se basent soit sur l'observation de régimes réels, soit sur la construction de régimes théoriques.

La majorité des études sur l'alimentation durable sont valables pour les enfants en classe élémentaire (6-11 ans) en considérant que les aliments qu'ils consomment, en proportion de leur apport énergétique, sont similaires à ceux consommés à l'âge adulte (Anses, 2019a). De plus, il est important d'encourager des habitudes alimentaires plus durables dès l'enfance afin qu'elles soient conservées à l'âge adulte. Cependant, cette population présente quand même des spécificités nutritionnelles qu'il convient de prendre en compte (voir partie 1.2 ci-après).

L'approche par optimisation mathématique sous contraintes est une approche plus fine et parfois plus pertinente pour identifier des consommations alimentaires plus durables que l'approche par scénario *a priori*, sous réserve que les données de composition nutritionnelle, d'impact environnemental, ou de prix soient disponibles et fiables. Les modèles d'optimisation sont aussi adaptés à l'élaboration de repas, tels que ceux proposés en restauration scolaire, ainsi que nous le verrons dans la partie 1.3.3.

1.2 Situation alimentaire et nutritionnelle des enfants en France

1.2.1 Développement et évolution des habitudes alimentaires des enfants en France

1.2.1.1 Acquisition précoce des préférences et habitudes alimentaires

L'enfance est une période primordiale pour le développement des comportements alimentaires car c'est à ce stade que certaines préférences et habitudes s'acquièrent et sont conservées sur le long terme (Nicklaus et al., 2005). Les enfants sont fortement influencés par leurs préférences lorsqu'ils choisissent un aliment (Marty et al., 2017), c'est pourquoi mettre l'accent sur le « bon » goût des aliments de meilleure qualité nutritionnelle est une stratégie efficace pour promouvoir et conserver des comportements alimentaires plus sains chez les enfants (Marty et al., 2018).

Les préférences alimentaires des enfants se forment dès la période prénatale pendant laquelle les saveurs des aliments consommés par la mère sont transmises par le liquide amniotique à l'enfant puis plus tard par le lait maternel (Mennella, 2014). Les saveurs perçues *in utero* sont ensuite plus facilement acceptées par le nourrisson consommant le lait maternel. Les enfants non allaités au cours de la période lactée auraient plus de difficultés à accepter les saveurs non présentes dans les formules infantiles au début de la diversification alimentaire, comme celles des fruits et légumes (Mennella, 2014; Nicklaus & Issanchou, 2015). De plus, une étude sur quatre cohortes européennes (France, Portugal, Grèce et Royaume-Uni) a montré que la prolongation de l'allaitement était associée à une consommation plus élevée de fruits et légumes et à une consommation plus diversifiée d'aliments sains chez les enfants de classe maternelle (de Lauzon-Guillain et al., 2013; Jones et al., 2015).

Les nourrissons naissent avec une préférence innée pour les saveurs sucrée et umami et rejettent spontanément les saveurs acides et amères, mais des études ont montré que ces préférences sont modifiables (Ventura & Worobey, 2013). Les préférences alimentaires acquises *in utero* et en période néonatale sont fortement influencées au cours de la diversification alimentaire (à partir des 4 mois de l'enfant et jusqu'à ses 2 ans), par l'interaction de facteurs sociaux et environnementaux (Nicklaus & Issanchou, 2015; Ventura & Worobey, 2013). Les enfants agissent selon un mécanisme de sécurité apprise, c'est-à-dire qu'ils acceptent mieux les aliments déjà rencontrés et ont peur que l'ingestion d'un nouvel aliment entraîne des effets défavorables (Nicklaus & Issanchou, 2015). C'est pourquoi ils passent souvent par une période de néophobie plus ou moins longue pendant laquelle ils refusent les aliments nouveaux. La néophobie peut se résoudre sous l'influence de la famille et de l'exposition répétée aux nouveaux aliments. Une présentation répétée et variée des aliments dès le début de la diversification alimentaire améliore l'acceptabilité des aliments lors de la diversification (Nicklaus & Issanchou, 2015). On estime qu'il faudrait présenter 5 à 10 fois les nouveaux aliments pour qu'ils soient acceptés par l'enfant (Nicklaus & Issanchou, 2015).

Les enfants apprennent les goûts (apprentissage qualitatif) mais aussi la satiété (apprentissage quantitatif) (Hughes & Frazier-Wood, 2016). Une étude pionnière a montré que, après une période

d'apprentissage au cours de laquelle ils consommaient différentes boissons, les enfants avaient tendance à préférer la boisson la plus calorique, quel que soit son parfum (Birch et al., 1990). Les préférences et aversions des jeunes enfants sont également fortement conditionnées par leur environnement (famille, culture, école, camarades, ...) qui contribue à mettre en place leur répertoire alimentaire (Birch et al., 1990; Dubuisson et al., 2015; Fulkerson et al., 2014; Mâsse et al., 2014; Scaglioni et al., 2008). On estime qu'il est primordial de mettre en place des approches de prévention nutritionnelle dès les 1000 premiers jours de l'enfant (de la conception jusqu'à deux ans), qui correspondent à une fenêtre d'opportunité particulièrement sensible à l'environnement (Santé publique France, 2020). Le répertoire alimentaire se structure principalement avant l'âge de 4 ans (Nicklaus et al., 2005) mais ne reste pas figé pour autant lorsque les enfants grandissent (Nicklaus & Remy, 2013).

Les préférences, et comportements alimentaires persistent généralement après la diversification alimentaire et forment les modèles de consommation alimentaire à l'âge adulte mais peuvent encore évoluer au cours de l'enfance et de l'adolescence (Nicklaus & Remy, 2013). Dans une cohorte d'enfants français par exemple, la préférence pour les légumes avait tendance à augmenter avec l'âge et la préférence pour les féculents et le fromage à légèrement diminuer (Nicklaus et al., 2004). Ainsi, instaurer des consommations alimentaires équilibrées dans l'enfance permet de les faire perdurer à l'âge adulte.

1.2.1.2 Consommations alimentaires moyennes des enfants en France et évolution depuis 2006

En France, l'étude INCA permet d'estimer les consommations alimentaires des adultes et des enfants sur un échantillon représentatif de la population française. L'échantillon des enfants de l'étude INCA3 (2014-2015) a été scindé en deux groupes : les enfants de 0 à 10 ans appelés « enfants » et les enfants de 11 à 17 ans appelés « adolescents » (Anses, 2017). D'après INCA3, les enfants français mangent en moyenne 1688 g d'aliments solides et liquides par jour dont 54% sont sous forme liquide. Les contributions principales des groupes d'aliments à la ration journalière solide sont de 12,5% pour les yaourts et fromages blancs, 8,8% pour les fruits, 7,9% pour les viennoiseries, pâtisseries, gâteaux et biscuits sucrés, 7,4% pour les légumes, 6,4% pour les céréales et 6,1% pour les compotes et fruits au sirop. L'eau représente la moitié de la ration liquide, suivie du lait et des boissons à base de lait (32,7%), des boissons rafraichissantes sans alcool (BRSA, 9,3%) et des jus de fruits (8%). Les aliments complets, les crustacés et mollusques, les abats, les oléagineux et les substituts de produits animaux à base de soja et autres végétaux sont consommées par moins de 10% des enfants.

En moyenne, chez les enfants, 20% de l'énergie est apportée par le petit déjeuner, 28% par le déjeuner, 17% par le goûter, 27% par le dîner et 8% par les collations en dehors des repas (Anses, 2017). Les sucres sont consommés surtout au petit déjeuner (27%) et au goûter (25%). Cependant, les petits déjeuners contribuent également (de 22 à 32%) aux apports journaliers en calcium, iode, fer, magnésium, phosphore, potassium, vitamines B1, B2, B5, B9, B12, C, D, alors que les apports en sodium, zinc, sélénium, vitamines B3 et B6 et bêta-carotène sont plus élevés au déjeuner et au dîner. Or, dans le groupe des 7-10 ans en particulier, ils sont 8,7% à ne pas prendre un petit-déjeuner le matin. L'apport énergétique journalier des 7-10 ans représente en moyenne 1829 kcal. Les produits laitiers sont les principaux vecteurs de l'énergie (19%), des sucres (26%) et des lipides (21%), mais aussi

du calcium (58%) et de nombreux autres nutriments protecteurs (acide gras alpha-linoléique (ALA), fer, iode, vitamine D, vitamine B9, vitamine B12, vitamine C et EPA) (Anses, 2017). Concernant les protéines, presque deux tiers (61%) proviennent des produits animaux (produits laitiers et groupe des viandes, poissons et œuf), ce qui est similaire au niveau estimé chez les adultes (voir partie 1.1.4.2, « quelle répartition entre protéines végétales et protéines animales dans l'alimentation durable ? »).

Réalisée en 2006-2007, l'Étude nationale nutrition santé (ENNS) avait pour objectif de décrire les apports alimentaires, l'état nutritionnel et l'activité physique d'un échantillon national d'adultes (18-74 ans) et d'enfants (3-17 ans) vivant en France métropolitaine (Castetbon & Hercberg, 2007). L'étude a mis en évidence des consommations insuffisantes de fruits et légumes, poissons, féculents (pain, produits céréaliers, pommes de terre et légumes secs) et de produits laitiers chez les enfants. Des déséquilibres nutritionnels par rapport aux recommandations du PNNS 1 ont également été soulignés. Dix ans plus tard, l'Étude de Santé sur l'environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition (ESTEBAN) 2014-2016 suivait le même objectif, en examinant l'évolution des indicateurs depuis ENNS 2006 (Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen), 2017, 2018, 2020). Peu d'évolution, voire dans certains cas des aggravations étaient observées chez les enfants. Dans le sous-groupe des enfants de 6 à 10 ans d'ESTEBAN :

- Les enfants étaient toujours plus de la moitié (51%) à consommer moins de 3,5 portions de fruits et légumes par jour alors que la recommandation est de 5 portions.
- Les enfants étaient également plus de la moitié (57,3%) à consommer moins de trois à quatre produits laitiers par jour (recommandations du PNNS1 pour les enfants, voir partie 1.2.3.1). Ainsi, 43,1% des garçons et 58,8% des filles de 6 à 10 ans n'atteignaient pas la recommandation en calcium. Cependant, aucune diminution des apports en calcium n'était observée depuis ENNS 2006 pour les 6-10 ans.
- Deux tiers des enfants avaient des apports en lipides supérieurs à 36,5% de l'apport énergétique total et une grande majorité (environ 90%) avaient des apports en AGS supérieurs à 37% des lipides totaux.
- Au cours des trois jours de l'enquête, plus de 70% des enfants n'avaient pas consommé de céréales complètes ou de légumes secs. En outre, les enfants de 6 à 10 ans étaient plus de 80% à avoir un apport en glucides complexes inférieur à 27,5% de l'apport énergétique total et un apport en glucides simples issus de produits sucrés supérieur à 12,5% de l'apport énergétique total. De plus, 60% des enfants présentaient un apport en fibres inférieur à 15 g par jour.
- Presque 50% des enfants consommaient une à deux portions de viandes, poissons et œufs mais 73% consommaient moins de deux portions de poisson par semaine. Depuis ENNS 2006, l'adéquation avec la recommandation alimentaire sur les produits de la pêche (2 fois par semaine) a chuté de 55% à 27% chez les enfants de 6 à 10 ans.
- Plus de la moitié (53%) des enfants de 6 à 10 ans d'ESTEBAN consommaient plus de 6 g de sel par jour et ce chiffre a augmenté de 17 points depuis ENNS-2006.
- Enfin, plus de 70% des enfants consommaient moins d'un litre d'eau par jour et plus d'un tiers (34%) buvaient plus d'un demi-verre (125 mL) de boissons rafraîchissantes sans alcool par jour.

Aucune évolution n'était observée entre les études ENNS et ESTEBAN sur la consommation de boissons chez les enfants.

1.2.1.3 L'obésité infantile en France

De même que les habitudes alimentaires qui s'installent dans l'enfance perdurent à l'âge adulte, le surpoids et l'obésité quand ils surviennent dès l'enfance peuvent persister chez l'adulte. Un enfant obèse le reste à l'âge adulte avec une probabilité de 20 à 50% selon les études (Haute Autorité de Santé, 2011). L'obésité est due à un déséquilibre entre l'énergie ingérée dans les aliments et l'énergie dépensée. L'énergie excédentaire est stockée dans les cellules graisseuses, qui s'agrandissent ou se multiplient (Bray, 2003). L'obésité est associée à un risque accru d'hypertension, de maladies cardiovasculaires, de diabète, et de cancers (prostate, sein et colon) (Bray, 2003). Chez l'enfant, l'indice de masse corporelle ($IMC = \text{poids en kg} / \text{taille}^2 \text{ en m}$) doit s'interpréter à l'aide de courbes de corpulences, qui sont aussi utilisées par l'OMS et se trouvent dans les carnets de santé, car les seuils de surpoids et d'obésité varient en fonction de l'âge (Rolland-Cachera et al., 1982). Pour les enfants âgés de 5 à 19 ans, le surpoids correspond à un IMC pour l'âge supérieur à un écart-type au-dessus de la médiane de la croissance de référence et l'obésité correspond à un IMC pour l'âge supérieur à 2 écarts-types au-dessus de la médiane de la croissance de référence (OMS, 2020). En moyenne, l'IMC augmente au cours de la première année de vie puis diminue jusqu'à 6 ans pour remonter de nouveau jusqu'à la fin de la croissance (18-19 ans) (Haute Autorité de Santé, 2011). L'augmentation d'IMC qui survient habituellement après 6 ans est appelée « rebond d'adiposité » (Rolland-Cachera et al., 1984). Or, plus le rebond d'adiposité est précoce, et plus le risque de devenir obèse est élevé (Rolland-Cachera et al., 2006).

Dans le monde, l'obésité touche 6% des filles et 8% des garçons de 5 à 15 ans en 2016, soit 340 millions d'enfants en tout (OMS, 2020). En France, différentes enquêtes ont évalué la prévalence de l'obésité infantile ainsi que le niveau d'activité physique des enfants (Anses, 2017; Castetbon & Hercberg, 2007; Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen), 2017, 2020). Les enquêtes ESTEBAN (6-17 ans) et INCA3 (0-17 ans) estimaient à 13% la proportion d'enfants en surpoids et à 4% celle des enfants obèses en France en 2015 (Anses, 2017; Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen), 2017). La prévalence de l'obésité infantile mondiale était de moins de 1% en 1975 et a largement augmenté mais tend à se stabiliser depuis le début des années 2000 en France et dans le monde (Chardon et al., 2015; Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen), 2017; Guignon et al., 2017; Lioret et al., 2009; Olds et al., 2011; OMS, 2020).

De plus, d'après INCA3, un tiers des enfants français sont en inactivité physique (activité modérée inférieure à 60 min par jour) et ont en même temps une sédentarité élevée (plus de 3h d'écran), ce qui favorise l'obésité (Anses, 2017). Le temps d'écran a d'ailleurs augmenté de 38% depuis 2006 chez les garçons de 6 à 10 ans (Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen), 2020).

1.2.2 Inégalités d'accès à une alimentation de qualité

Les comportements alimentaires observés en moyenne chez les enfants en France cachent des disparités en fonction du statut socio-économique des foyers, qui s'expliquent par une accumulation de facteurs de risques chez les enfants issus de familles à plus faibles revenus et/ou les moins diplômées.

1.2.2.1 Facteurs de risques de l'obésité

Période pré-périnatale

Un IMC élevé, la consommation de tabac, une faible consommation de fruits et légumes, le diabète gestationnel et un gain de poids pendant la grossesse chez la mère mais également un IMC élevé du père augmentent le risque de développer une obésité future à l'enfance et à l'âge adulte (Cameron et al., 2015). Après la naissance, une absence ou une durée moins longue de l'allaitement maternel (Monasta et al., 2010), une alimentation trop riche en protéines (Rolland-Cachera et al., 1995) mais insuffisante en lipides avant l'âge de deux ans (Rolland-Cachera et al., 2013, 2016) augmentent le risque de survenue de l'obésité infantile.

Enfance et adolescence

De 2 à 7 ans, les trois facteurs principaux qui affectent la balance énergétique sont « manger, jouer, dormir » (Kaufer Christoffel et al., 2012). Un excès de calories (apports supérieurs aux besoins énergétiques), en particulier par la surconsommation d'aliments gras et sucrés (« manger »), un déficit d'activité sportive (« jouer ») ou un manque de sommeil (« dormir ») peuvent contribuer à augmenter le risque d'obésité des enfants. Une consommation excessive d'aliments sources de calories liquides comme les jus de fruits et sodas seraient susceptibles d'augmenter les risques d'obésité alors qu'une consommation suffisante de fruits et légumes contribuerait à améliorer la santé des enfants (Epstein et al., 2001; Kaufer Christoffel et al., 2012). Des portions trop grandes sont aussi susceptibles d'induire une prise énergétique supérieure aux besoins des enfants et donc d'augmenter les risques d'obésité (Livingstone & Pourshahidi, 2014; OMS, 2014). Les pratiques des parents influencent les comportements alimentaires (Musher-Eizenman et al., 2009) et la santé des enfants (Vaughn et al., 2016). Les enfants dont les parents ont recours à des pratiques de privation (par exemple privation de sucreries) ont en effet tendance à développer un surpoids, à l'inverse de ceux plus éduqués à l'alimentation (Couch et al., 2014; Musher-Eizenman et al., 2009). L'environnement peut aussi largement influencer les comportements alimentaires des enfants et l'apparition de l'obésité (Kaufer Christoffel et al., 2012). Par exemple, une meilleure accessibilité à des fruits et légumes dans la famille permet d'augmenter leur consommation chez les enfants (Pearson et al., 2009). Une forte exposition aux écrans et à la télévision, ainsi qu'une faible durée de sommeil sont des facteurs de risques de l'obésité infantile (Cameron et al., 2015; Kaufer Christoffel et al., 2012; Lioret et al., 2020; Monasta et al., 2010). Les enfants sont plus à risque d'être en surpoids à 12 ans quand l'accessibilité à des équipements sportifs et espaces naturels dans leur quartier est faible (Casey et al., 2012), mais cette relation a été établie uniquement chez les enfants d'ouvriers, pas chez les enfants issus de foyers de

catégories socio-professionnelle supérieures, qui sont moins dépendants de leur environnement immédiat. D'après les données de la cohorte Millénium (18 818 enfants nées entre 2000 et 2002 en France), au-delà de 3 ans et progressivement jusqu'à 11 ans, un environnement défavorable, caractérisé par une accumulation de facteurs de risques, était associé à un plus fort IMC (Fantin et al., 2016). Les facteurs de risques étudiés étaient le tabagisme pendant la grossesse, une heure de coucher tardive, le saut du petit déjeuner et beaucoup de temps passé devant la télévision. Il a été calculé que si tous les enfants de 11 ans avaient vécu et vivaient dans un environnement favorable, c'est-à-dire en l'absence de ces facteurs de risques, l'IMC moyen serait réduit de 0,9 chez les garçons et de 1,7 chez les filles

1.2.2.2 Inégalités sociales dans l'alimentation des enfants

En France, on observe un gradient social de l'obésité, c'est-à-dire que plus les revenus mensuels des foyers sont faibles et plus la prévalence d'obésité dans la population est élevée (ObEpi, 2012). Les enfants issus de foyers de plus faible statut socioéconomique comme les ouvriers sont plus à risque d'obésité (Anses, 2017; Lioret et al., 2009). La prévalence d'obésité et de surpoids diminuait lorsque le niveau d'étude de l'adulte référent augmentait. Dans ESTEBAN (Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen), 2017) et INCA3 (Anses, 2017), elle était de respectivement 23,2% et 20,3% pour un niveau d'étude inférieur au bac et de respectivement 8,9% et 8,5% pour un niveau d'étude supérieur ou égal à bac+4. Les inégalités se dessinent dès la période prénatale. Le tabagisme pendant la grossesse, par exemple, est plus fréquent dans les catégories socio-professionnelles plus défavorisées (Vilain et al., 2005). Plus tard, l'alimentation des nourrissons est largement influencée par les caractéristiques familiales. Dans l'Etude longitudinale depuis l'enfance (ELFE) conduite en France, un revenu et un niveau d'études plus élevés mais aussi un âge plus avancé de la mère, la présence d'enfant plus âgés dans le foyer et la participation à des cours de préparation à la naissance étaient associée à des pratiques alimentaires plus saines chez les nourrissons (allaitement plus long, diversification dans la bonne période) (Camier et al., 2020).

Concernant les enfants de 0 à 10 ans, la proportion de ceux n'ayant pas consommé de légumes et d'eau du robinet pendant les trois jours d'enquête INCA3 était plus importante chez les enfants d'ouvriers que chez les enfants de cadres (64% contre 89% pour les légumes et 57% contre 81% pour l'eau du robinet) (Anses, 2017). De même, les enfants d'ESTEBAN étaient plus susceptibles d'être de petits consommateurs de fruits et légumes lorsque le niveau de diplôme de leurs parents diminuait, et les forts niveaux de consommation de boissons sucrées concernaient d'avantage les enfants dont les parents avaient un niveau d'étude inférieur à Bac+3 (Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen), 2018). D'après INCA3, les enfants de cadres consomment également en moyenne deux fois moins de pommes de terre et tubercules et trois fois moins de boissons rafraîchissantes sans alcool que les enfants d'ouvriers. Ainsi, les apports en vitamine B9 des enfants de cadres sont plus élevés que ceux des enfants d'employés, d'artisans ou d'agriculteurs. Les apports en fibres sont également plus élevés chez les enfants dont le représentant possède un niveau d'études supérieur au bac (Anses, 2017; Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen), 2018). D'autre part, la prise quotidienne du petit-déjeuner est plus fréquente chez les enfants dont le représentant a un diplôme supérieur ou égal à bac +4 (Anses, 2017). Les enfants issus de foyers dont le représentant a

une profession intermédiaire (98%) sont plus nombreux que les enfants d'employés (93%) à avoir un dîner tous les jours. Ces différences s'expliquent en partie par des déterminants économiques car il est reconnu qu'il est plus difficile d'avoir une alimentation équilibrée lorsque les contraintes financières sont fortes (voir partie 1.1.2.5).

Les comportements en matière d'activité physique et de sédentarité chez l'enfant suivent également un gradient socio-économique. Ainsi, les enfants d'ouvriers sont plus sédentaires que les enfants de cadres. En effet, de 3 à 17 ans, 56% des enfants d'ouvriers de l'étude INCA3 passent plus de 3h devant les écrans contre 31% des enfants de cadres (Anses, 2017). En outre, les enfants de 3 à 10 ans à niveau d'activité élevé représentent moins de 20 % des ouvriers mais un tiers des enfants (Anses, 2017). Ces disparités sont le reflet de modes de vie donnant des accès différenciés à des activités sportives et à des lieux sûrs pour jouer dehors (Lioret et al., 2020). Il est aussi probable que les parents qui sont conscients de l'importance d'une alimentation saine pour leur enfants et ont les ressources pour leur en fournir aient les mêmes attitudes vis-à-vis de l'activité physique (Lioret et al., 2020). Agir sur au moins quelques-uns des facteurs de risques de l'obésité et mettre en place des approches de prévention adaptées au statut socio-économique des familles contribuerait à lutter contre le surpoids et l'obésité infantile (Fantin et al., 2016; Lioret et al., 2020).

1.2.3 Recommandations alimentaires pour les enfants

1.2.3.1 Recommandations alimentaires nationales du PNNS pour les enfants de 4 à 17 ans

Depuis 2004, l'Anses émet des recommandations alimentaires spécifiques aux enfants et adolescents (4 à 17 ans) précisant ou complétant les recommandations du PNNS pour les adultes (Anses, 2015). Pour actualiser les recommandations à destination des enfants et des adolescents à l'occasion du PNNS4 (voir partie 1.1.2.1, « les recommandations alimentaires »), l'Anses a considéré que l'alimentation des enfants était qualitativement la même que celle de leurs parents mais en quantités adaptées à leur besoins énergétiques (Anses, 2019a). De plus, le comité d'experts spécialisé en « Nutrition humaine » de l'Anses précisait dans son avis relatif à l'actualisation des recommandations alimentaires du PNNS pour les enfants de 4 à 17 ans que « l'examen de la littérature de type épidémiologique n'a pas identifié dans la littérature de données épidémiologiques relatives à des liens qui soient spécifiques à l'enfant entre l'alimentation et le risque de développement de maladies chroniques. (Anses, 2019a).

Un des scénarios d'optimisation des consommations alimentaires des adultes utilisé pour actualiser les recommandations alimentaires du PNNS (voir partie 1.1.2.1, « les recommandations alimentaires ») a été transposé au régime moyen des enfants de 4 à 17 ans ayant participé à INCA3, au prorata de leurs besoins énergétiques (Anses, 2019a). La population des enfants était divisée en huit groupes (deux sexes (garçons, filles) et quatre tranches d'âge : 4-6 ans, 7-10 ans, 11-14 ans et 15-17 ans). Le scénario adulte choisi pour la transposition à l'enfant était celui prenant en compte les habitudes alimentaires et toutes les contraintes nutritionnelles (à l'exception de la vitamine D) chez la femme. Puis, la composition en aliments des régimes ainsi obtenus a été comparée aux références nutritionnelles en fonction des tranches d'âges et du sexe. Pour les besoins énergétiques moyens, ceux

de référence de l'EFSA (EFSA, 2013) ont été utilisés pour différentes classes d'âges et de sexe. L'analyse a été basée sur les références nutritionnelles établies par l'EFSA (EFSA, 2017), à l'exception de la vitamine C et du fer. En effet, c'est la RN en fer définie chez les femmes ayant des pertes menstruelles faibles (11 mg/j, Anses, 2016a) qui a été utilisée pour tous les enfants et la référence pour la vitamine C spécifique aux femmes définie par l'Anses (110 mg/j, Anses, 2016a) qui a été choisie chez les adolescentes (15-17 ans). La transposition permettait d'atteindre toutes les RN pour tous les nutriments dans toutes les tranches d'âge à l'exception de la vitamine D (19 à 31% de couverture), du fer chez les enfants de 7 à 10 ans (91% chez les garçons et 85% chez les filles) et du calcium chez les filles de 4-6 ans et 11-14 ans (92%) (Anses, 2019a). La couverture de la vitamine D n'était pas atteignable par l'alimentation seule chez les adultes non plus compte tenu de l'offre alimentaire disponible et des contraintes liées aux habitudes alimentaires appliquées dans les modèles. Les futures recommandations devront donc garantir des apports en calcium et en fer plus riches que ceux obtenus en appliquant les recommandations destinées aux adultes. Les besoins en calcium sont en effet plus élevés chez les enfants afin d'assurer la minéralisation osseuse lors de leur croissance, et leurs besoins en fer sont également plus élevés du fait d'une croissance staturopondérale importante et des pertes menstruelles chez les adolescentes. Le levier principal identifié par l'Anses dans son avis relatif à l'actualisation des recommandations alimentaires du PNNS pour les enfants de 4 à 17 ans pour garantir un apport adéquat en calcium était d'augmenter la fréquence de consommation de produits laitiers par rapport à celle des adultes (Anses, 2019a). D'autre part, l'Anses indique que pour augmenter les apports en fer, les aliments riches en fer (viandes, poissons, pains complets, légumineuses, fruits à coques et fruits secs) ne devraient pas être réduits au prorata de l'apport énergétique mais devraient se rapprocher de la portion des adultes.

Le HCSP s'est appuyé sur les avis de l'Anses concernant l'actualisation des recommandations du PNNS chez les adultes et les enfants (Anses, 2016c, 2019a), ainsi que sur les précédentes recommandations (Anses, 2015), les informations contenues dans le carnet de santé, la revue ciblée de la littérature scientifique et des auditions d'experts pour mettre à jour les recommandations alimentaires à destination des enfants, en distinguant les jeunes enfants (0 à 36 mois) des enfants et adolescents (3 à 17 ans) (HCSP, 2020). Ils ont passé en revue les recommandations alimentaires pour les adultes (HCSP, 2017) et les ont adaptées aux enfants. L'objectif principal des recommandations alimentaires destinées aux enfants est la mise en place d'habitudes alimentaires favorables à la santé, qui seront conservées toute la vie, et la prévention de l'obésité (HCSP, 2020). Dans l'ensemble, les recommandations sont similaires à celles destinées aux adultes (voir partie 1.1.2.1, « les recommandations alimentaires » et Tableau 2), à l'exception de deux groupes alimentaires :

- Les produits laitiers dont la fréquence recommandée est de trois par jour (deux pour les adultes).
- Le poisson et les œufs sont regroupés dans le groupe volaille-poissons-œufs-viande alors que chez les adultes, les poissons ont leur propre groupe et sont distincts des viandes, et les œufs ne font partie d'aucun groupe.

Le HCSP a également identifié, pour chaque groupe alimentaire, des points de vigilance spécifiques aux enfants (HCSP, 2020), qui sont regroupés dans la dernière colonne du tableau 4 ci-dessous. Le HCSP délivre également des conseils transversaux concernant la structure des repas et l'environnement des enfants, comme le fait par exemple de veiller au rythme régulier des repas, éviter les restrictions alimentaires, privilégier la diversité, éviter les comportements sédentaires ou respecter les rythmes de sommeil de l'enfant (HCSP, 2020). Les portions doivent être adaptées en fonction des portions adultes : entre 3 et 6 ans, la portion est la moitié de celle de l'adulte, entre 7 et 10 ans, un tiers plus faible que celle de l'adulte, entre 11 et 14 ans, la même que celle de l'adulte et entre 15 et 17 ans, plus élevée que celle de l'adulte.

La traduction des recommandations du HCSP sous forme de messages aux parents et aux enfants est en cours d'actualisation par Santé Publique France. En attendant, le précédent guide nutrition du PNNS est toujours valable. Le « guide nutrition des enfants et ados pour tous les parents », créé en 2004 et réédité en 2015, est un guide pratique pour l'alimentation des enfants de 0 à 17 ans à destination des parents expliquant les recommandations et comment les mettre en application (Anses, 2015). Il fournit également des exemples de menus et de recettes. Pour les nourrissons, les conseils portent sur l'allaitement et la diversification. Dans la partie consacrée aux enfants (3-11 ans), plusieurs grands thèmes répondant aux interrogations les plus courantes des parents sont abordés comme « Comment organiser les repas de la journée ? », « Faut-il laisser mon enfant manger ce qu'il veut ? », « Comment construire les goûts de mon enfant et lui donner le plaisir de manger ? », « Mon enfant n'aime pas les légumes. Que puis-je faire ? » ou « Mon enfant est en surpoids. Que puis-je faire ? ». Enfin, la partie sur les adolescents est plus axée sur les troubles de comportement alimentaire, le régime végétarien, le surpoids et la consommation d'alcool. Concernant le régime végétarien, le guide conseille de consommer chaque jour des légumes secs et des céréales, des œufs, et de respecter par ailleurs les fréquences sur les produits laitiers et les fruits et légumes. L'association de céréales et légumineuses est décrite comme bénéfique car « elles sont complémentaires et permettent ainsi un bon apport en protéines ». Le risque de carence en fer fait l'objet d'une attention supplémentaire chez les adolescentes qui ne mangeraient pas de viande et il leur est conseillé de consulter un médecin. On peut imaginer que, dans le prochain guide, la partie sur les plats végétariens sera actualisée avec les nouvelles connaissances scientifiques sur le sujet, comme par exemple le fait que l'association de céréales avec des légumineuses n'est pas forcément nécessaire pour assurer apport adéquat en protéines quand le régime est suffisamment diversifié par ailleurs (Mariotti & Gardner, 2019).

Tableau 4 : Les recommandations alimentaires pour la population française, actualisées en 2020 pour les enfants

Groupe alimentaire	Recommandation principale	Points de vigilances spécifiques aux enfants de 3 à 17 ans
Fruits et légumes	Au moins cinq fois par jour	Pas plus d'un verre (un demi-verre avant 11 ans) de jus de fruits sans sucres ajoutés par jour. Privilégier la diversité mais s'appuyer sur les fruits et légumes que l'enfant préfère.
Fruits à coque sans sel ajouté	Une petite poignée par jour	Chez les plus jeunes, ils ne doivent pas être consommés sous forme entière du fait du risque d'étouffement. Les fruits à coques salés ou enrobés de sucre ou de chocolat sont à proscrire. Attention à la consommation élevée chez les adolescents compte tenu de leur forte densité énergétique.
Légumineuses	Au moins deux fois par semaine	
Produits céréaliers	A consommer tous les jours, en privilégiant les produits complets ou peu raffinés par rapport aux produits raffinés	Chez les plus jeunes, adapter en fonction de la tolérance digestive pour les produits complets, Si intolérance, les produits semi-complets ou intermédiaires peuvent être utiles.
Produits laitiers	Trois par jour	Eviter une consommation trop élevée pour intégrer les « bonnes habitudes » alimentaires à l'âge adulte (deux par jour) Pour les enfants intolérants au lactose, privilégier yaourts et fromages ou sources alternatives végétales : légumineuses, légumes, fruits à coques (sauf pour les plus jeunes), eaux riches en calcium, boissons végétales enrichies en calcium. Pas de fromage au lait cru pour les enfants de moins de 5 ans.
Volaille-poisson-œufs-viande	Poisson deux fois par semaine Volaille et œufs en alternance les autres jours	Attention aux produits transformés à base de volaille (nuggets, cordons bleus) : privilégier ceux contenant le moins d'ingrédients et d'additifs et pouvant être cuits au four. Limiter les portions importantes de viande (type burger multiple) proposées par les fast-foods.
Charcuterie	Limiter la consommation	
Matières grasses ajoutés	Eviter les consommations excessives. Privilégier riches en ALA (colza et noix) et l'huile d'olive.	
Produit sucrés	Limiter la consommation	
Boissons	La seule boisson recommandée est l'eau (à volonté)	Limiter les boissons sucrées à un verre par jour (un demi-verre en dessous de 11 ans).
Sel	Limiter la consommation	Habituer les enfants à une alimentation peu salée

1.2.3.2 Recommandations spécifiques aux régimes végétariens chez les enfants

Bénéfices santé et risques nutritionnels des régimes végétaliens chez les enfants

Les données sur les bénéfices santé des régimes végétariens chez les enfants sont rares (Peretti et al., 2020) mais les conclusions des études épidémiologiques qui existent chez les adultes (voir partie 1.1.3.2) peuvent être appliquées aux enfants après 3 ans, dans la mesure où l'on considère qu'ils conservent le même régime alimentaire à l'âge adulte. De plus, le développement physique des enfants végétariens n'est pas significativement différent de celui des omnivores (Gorczyca, 2017).

Cependant, il faut s'assurer que les besoins en nutriments nécessaires à la croissance et au développement neurologique des enfants végétariens ou diminuant leur consommation de produits animaux soient satisfaits, en particulier concernant certains nutriments-clés (Dunham & Kollar, 2006; Gorczyca, 2017; Peretti et al., 2020) :

- Protéines : l'apport protéique des enfants dans les pays occidentaux est largement au-dessus de leurs besoins, y compris pour ceux qui consomment des régimes végétariens restrictifs (Mariotti & Gardner, 2019). De même que pour les adultes, les quantités et proportions de protéines végétales sont plus que suffisantes pour couvrir les besoins en acides aminés, sous réserve qu'elles soient diversifiées. La question des profils en acides aminés dans les régimes végétariens des enfants n'est donc pas préoccupante (Mariotti & Gardner, 2019).
- Vitamine B12 : il n'existe pas de sources végétales fiables de B12 et il y a peu d'aliments enrichis en B12 (Herrmann, 2017). Le risque de carence en vitamine B12 est donc réel pour les végétaliens ou les enfants consommant peu de produits animaux, qui ont besoin d'une supplémentation.
- Fer et zinc : le fer et le zinc sont moins bien absorbés quand ils sont apportés par des produits végétaux (Gibson, 2007). Il est donc important pour garantir l'adéquation des apports en ces nutriments de veiller à ce que l'alimentation des végétariens soit diversifiée (Perignon et al., 2018) et ne contienne pas des quantités trop importantes de phytates ou de fibres qui limitent l'absorption des minéraux (Gibson, 2007). La vitamine C, présente dans les fruits et légumes, au contraire, permet d'améliorer l'absorption du fer non héminique (Cook & Monsen, 1977). Cependant, le métabolisme du fer chez les enfants végétariens n'est pas encore bien connu (Gibson et al., 2014) et la prévalence d'anémie ne serait pas significativement différente entre les enfants végétariens et les non-végétariens (Dunham & Kollar, 2006; Gibson et al., 2014; Larsson & Johansson, 2002; Thane et al., 2003).
- Calcium et vitamine D : le calcium est principalement apporté par les produits laitiers et la vitamine D par les poissons gras et, dans une moindre mesure, les œufs. En l'absence de consommation de produits animaux, il est nécessaire de se tourner vers des boissons végétales supplémentées en vitamine D et si possible, en calcium également (Dunham & Kollar, 2006; Gorczyca, 2017). L'adéquation en vitamine D est sous-optimale dans toutes les populations, même chez les omnivores, si bien que la supplémentation est conseillée pour tous les enfants, qu'ils soient végétariens ou non (Gorczyca, 2017).

- Acides gras oméga-3 : les principales sources sont les poissons gras pour les acides gras oméga-3 à longue chaîne (EPA et DHA) et certaines huiles végétales pour les acides gras oméga-3 à courte chaîne (ALA). Ces derniers sont apportés par l'huile de colza et l'huile de noix et se trouvent aussi dans les graines comme les graines de lin (Dunham & Kollar, 2006; Gorczyca, 2017). L'acide linoléique (LA) et l'acide alpha-linolénique (ALA) sont des précurseurs des acides gras oméga-3 à longue chaîne EPA et DHA mais leur capacité à en synthétiser en quantité suffisante est discutée et dépend des sources de ces nutriments (Webster-Gandy et al., 2020). La consommation d'aliments contenant de l'EPA et du DHA (poissons gras et, dans une moindre mesure, œufs) est donc à privilégier (Gorczyca, 2017) par les végétariens.

Plus le degré de végétalisation de l'alimentation des enfants est élevé et plus le risque d'inadéquation nutritionnelle pour les nutriments listés ci-dessus l'est aussi. Les régimes végétaliens sont donc les plus à risques d'être associés à des inadéquations d'apports en vitamine B12, fer, zinc, calcium, vitamine D et acides gras oméga-3 et nécessitent une diversité de sources de protéines végétales ainsi qu'une supplémentation, au moins en vitamine B12 et vitamine D (Gorczyca, 2017).

Position des sociétés savantes sur les régimes végétariens chez les enfants

Face à l'émergence des régimes végétariens, des sociétés savantes (principalement des groupes de médecins ou de pédiatres) aux Etats-Unis et en Europe ont émis des avis sur l'alimentation végétarienne et végétalienne chez les enfants. Ces avis ne constituent pas des recommandations nationales officielles mais peuvent servir de repères pour les professionnels de santé.

Aux Etats-Unis, la déclaration de position de l'Académie de Nutrition et Diététique (AND) consiste à dire qu'une alimentation végétarienne, y compris végétalienne bien planifiée est « saine, adéquate sur le plan nutritionnel et peut être bénéfique pour la prévention et le traitement de certaines maladies. Cette alimentation est appropriée à toutes les périodes de la vie, notamment la grossesse, l'allaitement, la petite enfance, l'enfance, l'adolescence, le troisième âge, et pour les sportifs. Les alimentations végétales sont plus durables pour l'environnement que l'alimentation riche en produits animaux, car elles utilisent moins de ressources naturelles et ont un impact bien moindre sur l'environnement. » (Melina et al., 2016). Les arguments avancés sont qu'un apport faible en graisses saturées et une consommation élevée de produits végétaux contribuent à la réduction des risques de maladies non-transmissibles. L'AND spécifie toutefois dans son avis que les végétaliens ont besoin de consommer des aliments enrichis ou des compléments alimentaires en vitamine B12. La déclaration de position de l'AND est reprise par l'Association Végétarienne de France (AVF) et Greenpeace pour justifier que « il est tout à fait possible d'avoir une alimentation exclusivement basée sur les végétaux tout au long de la vie » (Association Végétarienne de France & Greenpeace, 2019). En page 3 de leur livret « Mon enfant a-t-il besoin de viande pour bien grandir ? », on peut lire en effet qu'« une alimentation principalement végétale, sans viande ni poisson voire sans aucun produit animal, peut tout à fait répondre aux nombreux besoins des enfants en pleine croissance », mais sans rappeler la nécessité d'une supplémentation en vitamine B12 (a minima).

Au contraire de l'AND et de l'AVF, l'Académie de Médecine de Belgique s'est récemment prononcée en défaveur du végétalisme chez les enfants (Royal Academy of Medicine of Belgium, 2019). Ils estiment que moins de 1% des enfants sont concernés (chiffres provenant des Etats-Unis) et pointent des déficits en vitamines ou minéraux essentiels dans le développement correct des enfants (voir partie précédente, « Bénéfices santé et risques nutritionnels des régimes végétaliens chez les enfants »). D'autre part, un excès en phytates, pouvant interférer avec l'absorption digestive des minéraux et du fer, peut subvenir lorsque les céréales et les légumineuses représentent une part trop importante de l'alimentation, comme c'est le cas dans les régimes végétaliens. Ils déconseillent de mettre un enfant sous un tel régime, à moins qu'il soit scrupuleusement suivi par un diététicien et un pédiatre. Leur publication a fait cependant face à de vives critiques, comme celle des médecins américains du « Physicians Committee for Responsible Medicine » qui citent la déclaration de position de l'AND pour signaler que les conclusions du rapport de l'Académie de Médecine de Belgique reposent sur des informations « erronées » et « trompeuses » (Physicians Committee for Responsible Medicine, 2019).

Le Groupe Francophone d'Hépatologie-Gastroentérologie et Nutrition Pédiatriques (GFHGNP), déconseille fortement le régime végétalien chez les enfants (Lemale et al., 2019). Les raisons évoquées sont les mêmes que celles de l'Académie de Médecine de Belgique, c'est-à-dire que ce régime ne permet pas de couvrir tous les besoins nutritionnels et expose les enfants à des carences, en particulier les plus jeunes, à un âge où leur développement physique et neurologique est important. Le GFHGNP estime qu'un suivi médical est nécessaire pour les enfants adoptant tout de même ce type de régime et préconisent une supplémentation systématique en vitamine B12 et vitamine D et d'autres nutriments au cas par cas.

IMPLICATIONS POUR LA THESE

Des habitudes alimentaires saines et, plus largement, durables, sont susceptibles de se maintenir à l'âge adulte quand elles sont instaurées dans l'enfance, notamment à l'âge où les enfants fréquentent l'école élémentaire (6-11 ans). Une alimentation capable de couvrir tous les besoins nutritionnels sans excès est indispensable à un âge où la croissance physique et le développement neurologique sont à l'œuvre. L'analyse de la situation alimentaire et nutritionnelle des enfants en France permet de faire émerger plusieurs points critiques prioritaires à prendre en compte dans les recommandations alimentaires spécifiques à cette population et celles spécifiques à la restauration scolaire :

- Une consommation insuffisante de fruits et légumes.
- Une consommation insuffisante et en baisse de poissons et produits de la pêche.
- Des apports en calcium insuffisants du fait d'une consommation insuffisante de produits laitiers.
- Des apports en glucides complexes et en fibres inférieurs à la recommandation et des apports en sucres simples supérieurs à la limite recommandée expliqués par une consommation insuffisante de céréales complètes, légumes secs et fruits et légumes et une consommation excessive de produits sucrés et sodas.
- Des apports en sodium trop importants et une consommation d'aliments préparés et snacks salés en hausse.
- Une prévalence de l'obésité et du surpoids infantiles préoccupante, couplée à une hausse de la sédentarité, en particulier chez les garçons.

Pour répondre aux besoins nutritionnels des enfants et améliorer leur santé, des recommandations ont été développées et actualisées en 2020 dans le cadre du PNNS en cours. Le guide alimentaire spécifique aux enfants de 3 à 17 ans est en cours d'actualisation, le précédent guide pour l'enfant datant de 2004. Les nouvelles recommandations alimentaires du HCSP serviront de base à l'actualisation des recommandations nutritionnelles en restauration scolaire (voir partie 1.3.3.3).

Les préférences et habitudes alimentaires acquises par les enfants au cours de leur croissance sont fortement influencées par leur environnement familial et socio-culturel. Les enfants issus de foyers de faible statut socio-économique (mesuré par le revenu et/ou le niveau d'études des parents) ont tendance à avoir des consommations alimentaires plus éloignées des recommandations et sont plus à risque d'obésité que les enfants issus de foyers de plus fort statut socioéconomique. De plus, l'environnement dans lequel vivent les enfants semble être plus déterminant chez les enfants d'ouvriers que chez les enfants de cadres. Il est donc important que les repas servis en restauration scolaire soient de bonne qualité nutritionnelle et accessibles, notamment financièrement, afin que tous les enfants scolarisés, y compris ceux issus de milieux défavorisés, aient accès à une alimentation saine et durable.

1.3 Evolution de la durabilité de l'offre alimentaire en restauration scolaire (incluant la Contribution 1 : chapitre de livre)

*Une forme synthétique de cette partie a fait l'objet du chapitre « Alimentation en collectivité » (**Contribution 1** : Chapitre de livre) dans l'ouvrage de Nutrition pédiatrique « Alimentation de l'enfant et l'adolescent » en cours de rédaction et coordonné par Christophe Dupont et Noël Peretti [à paraître à l'été 2022 dans la collection Pedia aux Editions Elsevier]. **Ce chapitre demandé** par la Société Française de Pédiatrie (SFP) est visible en Annexe 1.*

La restauration scolaire est un lieu privilégié pour améliorer la durabilité de l'alimentation des enfants. Soumise à une réglementation nutritionnelle stricte, elle permet à ceux qui la fréquentent d'avoir accès quotidiennement à des repas sains, diversifiés et nutritionnellement adéquats, et le plus souvent à coût abordable (notamment dans les villes où une tarification sociale est appliquée). Des mesures pour diminuer l'impact environnemental des repas proposés dans les écoles ont vu le jour récemment, notamment l'introduction d'un repas végétarien hebdomadaire, mais leur évaluation est encore limitée.

1.3.1 Histoire et organisation de la restauration scolaire en France

1.3.1.1 Histoire de la restauration scolaire en France

Les faits historiques sur la restauration scolaire étant compliqués à rassembler, l'essentiel des informations de ce paragraphe proviennent de l'article de Didier Nourrisson intitulé « Manger à l'école: une histoire morale » (Nourrisson, 2004). La restauration scolaire est apparue en France pour la première fois à Lannion (Côtes-d'Armor) en 1844, bien avant que l'instruction ne devienne obligatoire par les lois de Jules Ferry en 1881-82. L'objectif du maire de Lannion était de faire preuve de charité en offrant une ration quotidienne de soupe chaude et de pommes de terre dans une « salle d'asile et d'hospitalité » aux enfants les plus démunis. Les salles d'asiles, qui étaient des initiatives municipales, se sont multipliées jusqu'en 1869, date à laquelle une circulaire³ du ministère de l'Instruction Publique a demandé aux préfets de favoriser la distribution de plats chauds dans ces salles d'asile. Elles accueillaient exclusivement les enfants issus de familles nécessiteuses, nombreuses, ou n'ayant pas le temps d'aller manger chez eux le midi. Alors que les cantines désignaient jusqu'au début du XXème siècle le lieu où mangent les militaires, la définition est étendue aux ouvriers de chantier, aux prisonniers et aux écoliers. A Paris, les premières cantines datent de 1882. Les repas se composaient de pain et de lait ou d'un plat chaud (le plus souvent une soupe) apportés par les enfants eux-mêmes (Huc, 2006). L'Etat n'intervenait pas dans les cantines scolaires avant la désignation de Cécile Brunschvicg au poste de secrétaire d'Etat à l'Education Nationale en 1936 (Nourrisson, 2004). Cécile Brunschvicg a démarré son mandat par une enquête sur l'alimentation des élèves et les cantines scolaires, et elle conclut que « l'école publique est actuellement très loin de pouvoir donner aux

³ La circulaire est un texte qui permet aux autorités administratives (ministre, recteur, préfet...) d'informer leurs services (Vie-publique.fr, 2018). Elle ne revêt donc en rien un caractère obligatoire.

enfants une alimentation normale ». Le gouvernement a alors obligé chaque école à être pourvue d'une cantine et a affecté une subvention à chaque nouvelle création. En un an, 1500 nouvelles cantines ont été créées en plus des 8045 déjà existantes. Cependant, la situation nutritionnelle et sanitaire des cantines ne s'est pas améliorée et s'est même dégradée pendant et après la deuxième guerre mondiale, jusqu'à l'intervention du nutritionniste Raymond Paumier. Devenu instituteur de petit ville de Montgeron (actuellement en Essonne), Paumier a œuvré pour faire face aux carences alimentaires des enfants et améliorer grandement la situation des cantines scolaires en France (Parayre, 2017). En 1944, le conseil municipal de la ville a acheté une ancienne pouponnière, la Roseaie, dans laquelle Paumier a expérimenté le premier « restaurant scolaire » (Nourrisson, 2004). Paumier améliore alors l'environnement et l'alimentation des enfants : les préaux, les tables et bancs rustiques et les gamelles en aluminium sont remplacés par des petites salles à manger pastel, décorées et meublées de tables couvertes d'une nappe, des chaises et de la vraie vaisselle en porcelaine. La soupe populaire est remplacée par une alimentation saine et équilibrée, en accord à leur âge, la composition du repas étant surveillée par une diététicienne. Paumier recommandait que les repas contiennent une source de « sels minéraux et de vitamines » (crudités et fruits), une source de « sels minéraux, de vitamines, de cellulose et d'eau » (soupe de pâtes ou de céréales), une source de « protides animaux et une source de protides végétaux » (viande et légumes) (Paumier, 1967). Dans les restaurants scolaires de Paumier, le cidre et le vin, qui étaient jusqu'ici servis aux enfants, sont pour la première fois remplacés par du lait. Paumier se déplace dans la Sarthe puis partout en France pour reprendre son modèle et montrer l'importance des restaurants scolaires dans l'apprentissage du « bien manger » et l'éducation des enfants (Nourrisson, 2004). Après la seconde guerre mondiale, il devint alors le conseiller de Pierre Mendès-France, député de l'Eure. Ce dernier était connu pour avoir généralisé la distribution de lait en 1938 dans toutes les écoles des communes de l'Eure, ce qui avait contribué à améliorer le statut-pondéral des enfants mais l'initiative avait été stoppée par la seconde guerre mondiale (Nourrisson, 2002). Devenu président du Conseil des ministres (actuel Premier Ministre) en 1954, Mendès-France interdit la consommation d'alcool aux moins de 12 ans et la remplace par du lait à la rentrée 1956. Dans la fin des années 60, faute de soutien supplémentaire de l'Etat, le système des restaurants scolaires de Paumier peine à se développer dans le reste de la France. Les techniques de productions de repas en masse développent avec l'arrivée de l'agroalimentaire dans les années 1970 (Caisse des écoles du 9ème, 2014) et les cuisines centrales (voir partie 1.3.1.2), plus productives que les cuisines sur place, font leur apparition (FCPE Paris, 2016). La restauration scolaire prend de l'ampleur et devient l'un des premiers services publics territoriaux (Huc, 2006). En 1971, l'Education Nationale rédige la première circulaire concernant la restauration scolaire, ce qui marque le début de la réglementation nutritionnelle en restauration scolaire en France (voir partie 1.3.2.1).

1.3.1.2 Organisation de l'offre alimentaire à l'école

En France, les communes sont responsables du fonctionnement de la restauration scolaire dans les écoles maternelles et élémentaires publiques (Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports, 2020). Pour les collèges et lycées publiques, ce sont respectivement le département et la région qui en assurent le fonctionnement. Les restaurants universitaires sont gérés par le Centre Régional des Œuvres Universitaires et Scolaires (CROUS), sous tutelle de l'Etat. Quand

c'est la collectivité qui gère elle-même les repas, on parle de gestion « directe » (ou de « régie ») (Cour des comptes, 2020). Le fonctionnement en gestion directe concerne 59% des repas de la restauration collective publique et privée. Les collectivités doivent alors élaborer les menus et recruter le personnel pour la production, la distribution et la surveillance des repas. Elles sont également responsables de l'entretien des équipements, de la collecte des contributions des usagers, de l'approvisionnement (fonctionnant selon un marché public) et du respect des normes de sécurité alimentaire et de qualité nutritionnelle. Dans le cas où la gestion est déléguée à une société de restauration, il s'agit d'une gestion « concédée ». Le client est alors la collectivité, qui délivre un cahier des charges au prestataire choisi. Le prestataire prend en charge le personnel, la production des repas et le respect de la réglementation. La production des repas a lieu dans une cuisine appartenant soit à la collectivité, soit au prestataire. Dans certains cas, les collectivités passent par un marché public pour se fournir directement en plats déjà préparés et conçus par un tiers, les dispensant de cuisine et de la gestion de l'approvisionnement. En fonction des besoins et des équipements dont disposent les collectivités, les repas peuvent être soit cuisinés au sein de l'établissement dans une cuisine sur place, soit préparés en amont dans une cuisine centrale pour être distribués ensuite dans les cuisines des établissements, appelées cuisines satellites (FCPE Paris, 2016). A Paris, par exemple, il y a 113 cuisines sur place et 66 cuisines centrales. La livraison des repas jusqu'aux cuisines satellites se fait en « liaison chaude » à température supérieure à 63°C pour les repas à consommation immédiate ou en « liaison froide » pour les repas réfrigérés (jusqu'à +10°C pendant moins de 2h) destinés à être consommés jusqu'à trois jours après la production et remis à température au moment du service.

Dans le primaire, le service de restauration scolaire n'est pas obligatoire mais 80% des municipalités en sont pourvues (Cnesco, 2017). Lorsque l'établissement dispose d'une restauration scolaire, les élèves ne sont pas non plus obligés d'y manger le midi. Lorsqu'elle existe, la restauration scolaire doit toutefois fournir une égalité d'accès au service, quelle que soit la situation des enfants ou celle de leur famille (République Française, 2017). Les enfants ne sont pas autorisés à apporter leur propre panier repas, sauf ceux qui sont atteints de troubles de la santé nécessitant un régime particulier et qui ont besoin dans ce cas d'un projet d'accueil individualisé (PAI) (Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports, 2021b). Le PAI leur permet de disposer d'aménagements adaptés pour pouvoir poursuivre leur scolarité et déjeuner dans les restaurants scolaires. Il n'existe pas d'offre alimentaire alternative au déjeuner (ou au dîner dans les internats) proposée par l'établissement et les distributeurs automatiques sont interdits dans l'enceinte des établissements scolaires depuis la rentrée 2005 (République Française, 2004) mais dans certaines écoles, des repas alternatifs, différents du repas du jour, peuvent être proposés (sans porc, sans viande ou végétarien). D'après INCA3, 57,7 % des enfants français en maternelle et primaire fréquentent régulièrement la restauration scolaire (4 à 5 fois par semaine), 16,4% occasionnellement (1 à 3 fois par semaine) et 26% rarement ou jamais (Anses, 2021b). Entre 2007 et 2015, le pourcentage d'enfants fréquentant la restauration scolaire a augmenté de 10 points.

Le coût des repas en restauration scolaire dans le premier degré est pris en charge partiellement par la municipalité et le tarif est géré par la caisse des écoles. Le coût brut par repas servi dans les restaurants scolaires français est estimé en moyenne à 7,30 € mais il est très variable en

fonction des collectivités en raison des différences de performance dans la gestion des coûts (Cour des comptes, 2020). Le tarif facturé aux familles en moyenne est de 2,76 €, mais les écarts sont importants en fonction de la subvention allouée par les communes. A Villeneuve d'Ascq (Nord) par exemple, le tarif le plus bas est de 0,72 € alors qu'à Pont sur Sein (Aube), un seul tarif, de 3,85 €, est proposé. En moyenne, la participation de l'utilisateur au coût du repas est de seulement 23% (Délégation interministérielle à la prévention et à la lutte contre la pauvreté, 2021a). Dans les établissements privés, en revanche, les repas ne sont pas subventionnés par la municipalité.

Le goûter ou les autres collations ne sont habituellement pas distribués à l'école. L'Anses estime que c'est un facteur de modification des rythmes alimentaires et d'excès caloriques (Anses, 2019a). La collation ne doit pas être perçue comme une nécessité et ne devrait être proposée qu'en réponse à un réel signal de faim. La note n° 2004-0095 du 25 mars 2004 du ministère de l'Education nationale relative à la collation matinale et les autres prises alimentaires rappelle que : « La collation matinale à l'école n'est ni systématique, ni obligatoire et aucun argument nutritionnel ne justifie la collation matinale de 10 heures, qui aboutit à un déséquilibre de l'alimentation et à une modification des rythmes alimentaires des enfants » (Ministère de l'éducation Nationale, 2004).

En Italie, comme en France, où la gastronomie tient une place importante, les plats sont servis à table (Aliyar et al., 2015). Dans les autres pays, le « self » est plus courant (Aliyar et al., 2015; Harper et al., 2008; Polish Eurydice Unit, 2016). Le rapport européen Eurydice a fait d'ailleurs le point sur la restauration scolaire en Europe, où les modalités de la prise du repas varient (Polish Eurydice Unit, 2016). Il existe des pays, comme la Grèce, qui ne proposent pas de service de restauration scolaire. Aux Pays-Bas les restaurants scolaires sont peu communs. En Autriche et au Portugal, la fourniture de repas dépend des cours dispensés aux élèves et les écoles peuvent même proposer des petits déjeuners ou des diners. Dans la plupart des pays européens, les élèves sont autorisés à apporter leur propre nourriture alors que c'est interdit en Finlande et en France. En Finlande, les cantines sont qualifiées de restaurants où les enseignants déjeunent avec leurs élèves et leur apprennent les bonnes façons de se conduire à table (Harper et al., 2008). En Finlande et en Suède, les repas, comme l'école, sont gratuits pour tous les enfants (Harper et al., 2008; Polish Eurydice Unit, 2016). Le Programme Alimentaire Mondial des Nations unies (PAM, 2020) estime que dans le monde, 388 millions d'enfants bénéficient de repas scolaires. Au Japon, contrairement aux autres pays, il est habituel de déjeuner dans les salles de classes (Harper et al., 2008). Les programmes d'alimentation scolaire les plus importants se trouvent en Inde (90 millions d'enfants), au Brésil et en Chine (40 millions chacun), aux États-Unis (30 millions) et en Égypte (11 millions).

1.3.2 La réglementation relative à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire en France

Pour un élève demi-pensionnaire en France, la restauration scolaire représente environ 140 repas par an pendant presque quinze années de sa vie. Plus de la moitié des enfants vont à la cantine pour y partager un déjeuner représentant un tiers de leur apport énergétique journalier (Anses, 2021b). Chaque semaine, environ 8,5 millions d'enfants de la maternelle au lycée fréquentent la restauration scolaire.

1.3.2.1 Des recommandations à une réglementation en France



Figure 2 : Evolution de la recommandation et des réglementations relatives à la composition des repas scolaires en France

Les premières recommandations officielles relatives à la qualité nutritionnelle des repas en restauration scolaire apparaissent sous la forme d'une circulaire en 1971 (Figure 2), à la suite de plusieurs études montrant un contenu calorique insuffisant, un manque de protéines animales, une rareté ou une absence de produits laitiers ou de crudités (Ministère de la santé publique et de la sécurité sociale, 1971). Le but de la circulaire du 9 juin 1971 relative à la nutrition de l'écolier était

avant tout de lutter contre la dénutrition. Les recommandations portées par cette circulaire étaient les suivantes : les repas devaient apporter 40% des besoins journaliers en calories et entre 40% et 50% des besoins journalières en protéines animales (soit, pour les enfants de 6 à 9 ans par exemple, 850 kcal et entre 14 et 17 g de protéines animales par repas) ; le repas devait toujours comprendre une crudité (légumes crus, salade ou fruit en dessert) et le plat principal devait être composé d'une portion de viande, de poisson ou d'œuf, accompagnée par des légumes frais cuits deux fois par semaine et des pommes de terre, pâtes, riz ou légumes secs les autres jours ; il devait être complété par du lait ou du fromage tous les jours.

En 2000, l'Afssa (l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments, ancien nom de l'Anses) publiait un état des lieux de la nutrition en restauration scolaire, de la maternelle au lycée (Czernichow & Martin, 2000). Il était fait mention de la qualité nutritionnelle insuffisante des repas proposés en restauration scolaire, confirmée par l'analyse des repas consommés à l'école dans l'enquête INCA1 (Lafay et al., 2002). Les repas contenaient des teneurs inadéquates en calcium et en fer et des teneurs en lipides trop élevées au regard des ANC. De plus, les fruits et légumes et les produits laitiers n'étaient pas proposés suffisamment souvent au regard des recommandations de la circulaire de 1971 (Czernichow & Martin, 2000). L'Afssa préconisait le suivi des recommandations contenues dans le guide du Groupe permanent d'étude des marchés de denrées alimentaires (GPEM/DA), parues en 1999 (GPEM/DA, 1999) et l'actualisation de la circulaire de 1971 pour inclure les recommandations du GPEM/DA dans la réglementation. Le guide du GPEM/DA regroupe des recommandations pour aider les acheteurs publics de la restauration collective (restauration scolaire mais aussi crèches, halte-garderie, structures de soins (hôpitaux, EHPAD, ...), entreprises, portages à domicile et milieu carcéral) à élaborer le cahier des charges de leurs contrats de restauration collective précisant les objectifs visés pour améliorer la qualité nutritionnelle des repas, ainsi que les moyens de contrôle de leur mise en œuvre (GPEM/DA, 1999). Le premier PNNS a pris en compte les recommandations de l'Afssa (Ministère de l'Emploi et de la Solidarité, 2001) et, le 25 juin 2001, la circulaire relative à la composition des repas servis en restauration scolaire, dite « circulaire de l'écolier », reprenant les recommandations du GPEM/DA, a remplacé la circulaire précédente du 9 juin 1971 (Education nationale, 2001). Les principes de base reposaient sur le respect des règles de fréquence de service de douze types de plats dans une série de vingt repas consécutifs (par exemple, les entrées contenant plus de 15 g de lipides pour 100 g ne devaient pas être servies dans plus de huit repas sur vingt) pour augmenter les apports en fibres, fer, calcium et diminuer les apports en lipides, et rappelaient la réglementation en matière d'hygiène alimentaire.

En 2005-2006, une étude de l'Afssa réalisée auprès d'un échantillon national représentatif de collèges et lycées publics montrait que les recommandations nutritionnelles de la circulaire de 2001, qui n'étaient que facultatives, étaient insuffisamment connues et peu appliquées dans les établissements (Dubuisson et al., 2007). En 2006, le PNNS 2 recommandait d'ailleurs l'adoption d'un arrêté interministériel définissant les exigences pour la restauration scolaire (Ministère de la Santé et des Solidarités, 2006), comme le proposait également le conseil national de l'alimentation dans son avis de 2004 (CNA, 2004). Le Groupe d'Etude des Marchés de Restauration Collective et de Nutrition (GEMRCN, ancien GPEMDA) actualisa ses recommandations en 2007 : il introduisit des modifications

par rapport aux fréquences seuils de certains types de plats (par exemple le seuil pour les entrées à plus de 15 g de lipides pour 100 g passa de huit à quatre maximum sur vingt repas), il modifia les grammages précédemment recommandés par le GPEMDA, et il ajouta trois règles de fréquences sur les desserts et les laitages correspondant à deux objectifs supplémentaires : limiter la consommation de glucides simples ajoutés et rééquilibrer la consommation d'acides gras (GEMRCN, 2007). En 2011, les dernières recommandations du GEMRCN de 2007 devinrent obligatoires par décret et arrêté (Ministère de l'agriculture de l'alimentation de la pêche de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 2011b, 2011a). Les règles fréquentielles obligatoires en vigueur aujourd'hui figurent dans le Tableau 5. Depuis, le GEMRCN a mis à jour ses recommandations (Figure 2) :

- En juin 2011 pour s'assurer de la concordance entre recommandations et la réglementation
- En octobre 2011 pour tenir compte des spécificités des populations d'outre-mer en octobre 2011.
- En août 2013, pour assurer de la concordance entre leurs recommandations et le document de Questions/réponses destiné aux gestionnaires sur les règles nutritionnelles en restauration scolaire de la Direction générale de l'alimentation (DGAL) (Direction générale de l'alimentation & Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, 2012)
- En juillet 2015 pour prendre en compte les connaissances actualisées des besoins des convives de la restauration collective (GEMRCN, 2015).

Tableau 5 : Tableau des fréquences de service des plats à respecter en restauration scolaire (Ministère de l'agriculture de l'alimentation de la pêche de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 2011a)

Règle	Composante concernée	Fréquence
1. Entrées constituées de produits à teneur en matières grasses supérieure à 15%	Entrée	4/20 max
2. Crudités de légumes ou fruits (contenant au moins 50% de légumes ou de fruits)	Entrée	10/20 min
3. Produits frits ou pré-frits à teneur en matières grasses supérieure à 15%	Plat protidique, garniture	4/20 max
4. Plats protidiqes avec un rapport Protéines/Lipides (P/L) ≤ 1	Plat protidique	2/20 max
5. Poissons ou préparations contenant moins de 70% de poisson, et ayant un P/L ≥ 2	Plat protidique	4/20 min
6. Viandes non hachées de bœuf de veau ou d'agneau ⁴ et abats de boucherie	Plat protidique	4/20 min
7. Préparations ou plats prêts à consommer à base de viande, de poisson et/ou d'œuf, contenant moins de 70 % du grammage recommandé pour la portion de viande, poisson ou œuf ⁵	Plat protidique	3/20 max

⁴ « Viandes non hachées de bœuf de veau ou d'agneau » = viande non hachée de ruminant

⁵ 50 g en maternelle, 70 g en élémentaire et 100 g pour les adolescents et adultes

8. Légumes cuits autre que secs seuls ou en mélange, en contenant au moins 50%	Garniture	= 10/20
9. Légumes secs, pommes de terre ou céréales seules ou en mélange, en contenant au moins 50%	Garniture	= 10/20
10. Fromages contenant au moins 150 mg de calcium par portion	Entrée, produit laitier	8/20 min
11. Fromages contenant entre 100 mg et 150 mg de calcium par portion	Entrée, produit laitier	4/20 min
12. Laitages (produits laitiers, frais, desserts lactés contenant plus de 100 mg de calcium et moins de 5 g de matières grasses par portion)	Produit laitier, dessert	6/20 min
13. Desserts constitués de produits à teneur en matières grasses supérieure à 15%	Dessert	3/20 max
14. Produits contenant plus de 20 g de sucres simples totaux par portion et moins de 15% de matières grasses	Produit laitier, dessert	4/20 max
15. Desserts de fruits crus (100% fruits crus, sans sucres ajoutés)	Dessert	8/20 min

1.3.2.2 Les recommandations nutritionnelles relatives à la restauration scolaire à l'international

En Inde, le « Mid-day Meal Scheme » (programme de repas de mi-journée) est le programme d'alimentation scolaire le plus vaste du monde (PAM, 2020). L'objectif est d'améliorer l'état nutritionnel des écoliers, d'encourager les enfants pauvres à fréquenter l'école plus régulièrement en les aidant à se concentrer sur les activités en classe et d'apporter un soutien nutritionnel dans les zones touchées par la sécheresse pendant les vacances scolaires. Un repas de mi-journée cuisiné doit être fourni aux élèves des classes primaires, apportant entre 450 et 700 kcal et entre 12 et 20 g de protéines par enfant en fonction de leur âge. Au Brésil, le « Programa Nacional de Alimentação Escolar » (PNAE, Programme National de l'Alimentation Scolaire) est garanti et réglementé par une loi fédérale prévoyant une alimentation scolaire universelle pour tous les élèves brésiliens tout au long de l'année scolaire (PAM, 2020). La nourriture fournie doit contribuer à au moins 20% des besoins nutritionnels des enfants et des lignes directrices relatives à l'approvisionnement ont été mises en place. Par exemple, les municipalités s'engagent à utiliser au moins 30% des ressources financières pour acheter des aliments aux petits exploitants agricoles. Une des innovations importantes du PNAE est la mise en place du « e-PNAE », une plateforme en ligne permettant aux élèves, parents, enseignants et nutritionnistes de suivre et d'évaluer les repas scolaires offerts dans le pays. Elle communique également des informations sur les budgets scolaires et des conseils pour avoir une alimentation saine ainsi qu'un quiz interactif.

Aux Etats-Unis, le « National School Lunch Program » (Programme national de repas scolaires) permet à des enfants issus de ménages à faibles revenus qui fréquentent des écoles situées dans certaines zones à faibles revenus de bénéficier de repas gratuits ou à prix réduits (USDA, 2013b). Les enfants non éligibles à la gratuité ou la réduction peuvent également y accéder à plein tarif. En 2016, 30,4 millions d'enfants avaient bénéficié de ce programme (USDA, 2017). La loi « Healthy Hunger-Free

Act » de 2010 qui autorise le financement de programmes de nutrition à destination des enfants a permis à l'USDA (*United States Department of Agriculture*, Département de l'Agriculture des Etats-Unis) d'actualiser la réglementation nutritionnelle en restauration scolaire pour la première fois depuis 30 ans (USDA, 2013a) et de fournir des repas scolaires gratuits pendant 5 ans. La réforme était au centre de la campagne de Michelle Obama « Let's Move » pour lutter contre l'obésité infantile (Let's Move, 2010). Les règles définissent des quantités minimales d'aliments (fruits, légumes, produits céréaliers, ...) et des teneurs minimales et maximales en énergie, AGS, sodium et acides gras trans dans les déjeuners proposés dans le cadre du « National School Lunch Program » (USDA, 2013b). Le but des repas gratuits est aussi de faire concurrence à la vente aux produits alimentaires hors programme, généralement de moins bonne qualité nutritionnelle (Hirschman & Chriqui, 2013).

Des recommandations relatives à la composition des repas servis en restauration scolaire, qui suivent en partie ou totalement les recommandations nutritionnelles nationales, sont implémentés dans presque tous les pays d'Europe sauf à Chypre et en Grèce (Storcksdieck genannt Bonsmann et al., 2014). Cependant, le respect de règles nutritionnelles n'est obligatoire que dans les pays de l'Est (Bulgarie, Estonie, Hongrie, Lettonie, Lituanie, République Tchèque, Roumanie, Slovaquie, Slovénie), en Croatie, en Finlande, en France et au Royaume Uni. L'Angleterre a été un pays pionnier dans la réglementation nutritionnelle des repas scolaires, en imposant dès 1942 des quantités minimales et maximales d'énergie, de lipides et de protéines à respecter dans les déjeuners scolaires anglais (Le Maout, 2019). En 2014, le gouvernement du Royaume Uni a implémenté des repas gratuits pour les enfants en 1ère et 2ème années d'école maternelle (Webster-Gandy et al., 2020). Le « Healthy School Programm » (Programme pour une école saine) lancé en 1999 au Royaume-Uni inclut l'alimentation dans les programmes scolaires, la loi sur l'éducation de 2002 qui élargit les critères d'éligibilité aux repas gratuits, une boîte à outil pour l'alimentation à l'école et le « School Food Plan » (plan d'alimentation scolaire) publié par le département de l'éducation en 2013. Le « School Food Plan » regroupe les règles nutritionnelles pour les repas scolaires et la nourriture fournie en dehors de l'école (Dimpleby & Vincent, 2013). Le respect des règles est obligatoire dans les écoles publiques et les universités depuis 2013. Elles sont basées sur des fréquences de service journalières ou hebdomadaires de six groupes d'aliments : les féculents, les fruits et légumes, les viandes, poissons, œufs, haricots et sources de protéines autres que les produits laitiers, le lait et les produits laitiers, les aliments à fortes teneurs en matières grasses, sucre et sel et les boissons. Par exemple, une portion de féculents et de fruits et légumes doit être servie tous les jours et les pâtisseries ne doivent pas être servies plus de deux fois par semaine.

1.3.3 Les enjeux de durabilité (autres que nutritionnels) en restauration scolaire

La restauration scolaire ne se limite pas à sa seule fonction nutritive mais regroupe également de nombreux enjeux, qui ont été identifiés par le Conseil National de l'Alimentation dans son dernier avis sur la restauration scolaire (CNA, 2017).

1.3.3.1 Enjeu de justice sociale

L'accès à la cantine scolaire doit être garanti pour tous les enfants par l'article L. 131-13 du code de l'éducation depuis seulement le 27 janvier 2017 (République Française, 2017). En effet, « L'inscription à la cantine des écoles primaires, lorsque ce service existe, est un droit pour tous les enfants scolarisés. Il ne peut être établi aucune discrimination selon leur situation ou celle de leur famille. ». La tarification sociale de la restauration scolaire constitue un levier intéressant pour diminuer les inégalités de santé. En effet, si la tarification sociale était généralisée avec des modalités de mise en œuvre homogènes sur le territoire, elle pourrait répondre au principe d'universalisme proportionné (Inserm, 2014). L'approche de l'universalisme proportionné consiste à promouvoir des politiques et des interventions dont l'intensité est proportionnelle aux besoins des groupes dans la population (Inserm, 2014). La tarification sociale de la restauration scolaire peut donc en ce sens être considérée comme répondant au principe d'universalisme proportionné puisque, grâce à la tarification sociale, elle permet aux enfants de bénéficier de repas à un coût qui dépend du revenu de leurs parents. Cependant, les élèves issus de milieux défavorisés sont 40% à ne pas manger à la cantine contre 22% dans ceux issus de milieux favorisés et 17% issus de milieux très favorisés (Cnesco, 2017). De plus, dans INCA3, 8,7% des enfants interrogés qui ne déjeunaient pas à la cantine ne le faisaient pas car leurs parents déclaraient que le prix est trop élevé (Anses, 2021b). Une étude de l'Association des Maires de France (AMF) de 2020 montre que trois quarts des communes de moins de 10 000 habitants sont dépourvues de tarification sociale (AMF, 2020). Depuis avril 2019, une nouvelle politique a été enclenchée par l'état à ce sujet : pour chaque repas facturé 1€ ou moins aux familles des enfants en maternelle et élémentaire, l'Etat verse une subvention de 2€ aux communes éligibles à la fraction « Péréquation » de la dotation de solidarité rurale (liste disponible sur le site du gouvernement) qui en font la demande (Délégation interministérielle à la prévention et à la lutte contre la pauvreté, 2021a). La grille tarifaire de restauration scolaire doit prévoir au moins trois tranches dont une à moins de 1€ et une à plus de 1€ et une délibération doit fixer cette tarification sociale, avec une durée fixe ou illimitée. En janvier 2021, la subvention est passée de 2€ à 3€ par repas. Les repas à 1€ s'inscrivent dans le cadre de la stratégie de prévention de lutte contre la pauvreté, qui prévoit de conforter les droits fondamentaux des enfants et réduire les privations au quotidien. En mai 2021, une commune sur cinq avait mis en place une tarification sociale des cantines et 1,4 million de repas à 1€ ou moins ont été servis à 18 000 élèves dans 241 communes (Délégation interministérielle à la prévention et à la lutte contre la pauvreté, 2021b). Cette initiative connaît quelques freins dans les petites communes où la gestion peut être difficile et où les familles ne souhaitent pas toujours communiquer leurs revenus.

Dans les cas où les enfants n'ont pas pris de petit-déjeuner ou en ont pris un mais « très tôt ou très pauvre », des petits déjeuners gratuits peuvent leur être distribués (Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports, 2021a). Le dispositif « petit-déjeuner gratuit à l'école », qui a concerné 153 000 élèves de 400 écoles en zone d'éducation prioritaire sur l'année scolaire 2019/2020 va s'élargir à d'autres écoles dans les quartiers prioritaires. Bien que la collation soit vivement déconseillée en restauration scolaire (voir partie 1.3.1.2), les petits déjeuners gratuits sont équilibrés et sont réservés aux enfants n'ayant pas ou trop peu mangé le matin. La distribution est entre autres

permise par le programme « Fruits et légumes à l'école/Lait et produits laitiers à l'école » soutenu par l'Union Européenne. Ce programme favorise la distribution des fruits et légumes frais, et/ou du lait et produits laitiers, notamment sous signe officiel d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO), c'est-à-dire sous appellation d'origine, indication géographique, sous Label rouge ou issus de l'agriculture biologique (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2021). La distribution s'effectue le matin à l'occasion des petits déjeuners gratuits, au déjeuner ou à l'occasion d'un goûter en sortie scolaire.

La restauration scolaire permet également aux parents une meilleure insertion professionnelle car ils n'ont pas à s'occuper du repas de leurs enfants pendant l'heure de midi. Parmi les enfants qui déjeunent rarement ou jamais à la cantine, les plus nombreux sont ceux dont le représentant est inactif. La principale raison évoquée par les parents des enfants interrogés dans INCA3 pour ne jamais inscrire leur enfant à la cantine est qu'une personne de leur foyer prépare le déjeuner à domicile (Anses, 2021b).

1.3.3.2 Enjeu de citoyenneté et d'éducation à l'alimentation durable

La restauration scolaire en France fournit aux enfants et à leurs parents des repères de qualité, de diversité et de quantité (Darmon & Huc, 2021). Le moment du repas peut être aussi une source de bien être car c'est un moment de récupération et de ressourcement. Or, d'après une enquête de 2015 en France, 42% des écoliers et collégiens considèrent que la cantine scolaire n'est pas un lieu agréable (Guimard et al., 2016). Pour améliorer le bien-être des enfants en restauration scolaire et leur appréciation des repas, le programme « Plaisir à la Cantine » par exemple, a pour but de rendre plus attractive l'offre alimentaire au collège en proposant des ateliers à destination des collégiens pour « redonner du sens à l'acte alimentaire et restaurer une complicité entre l'aliment, celui qui le produit, celui qui le cuisine et celui qui le mange » (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2018).

La restauration scolaire permet l'éducation alimentaire des enfants qui passe notamment par l'apprentissage au goût, la compréhension des bénéfices et risques des comportements alimentaires, la connaissance du patrimoine alimentaire, et la sensibilisation aux enjeux environnementaux, grâce à la lutte contre le gaspillage notamment (CNA, 2017; Darmon & Huc, 2021). Elle contribue à construire de futurs citoyens avertis. L'importance de l'éducation alimentaire, en particulier l'éducation au goût, aux connaissances culinaires et au patrimoine alimentaire, est rappelée dès la circulaire de 1971 (voir partie 1.3.2.1). La circulaire de l'écolier de 2001 souligne l'intérêt de l'éducation alimentaire chez les jeunes enfants qui peuvent acquérir tôt des notions simples sur les principaux aliments, en même temps qu'un « bon » comportement alimentaire (Education nationale, 2001). Le Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports définit l'éducation alimentaire sous le prisme de quatre dimensions : la dimension nutritionnelle qui consiste à apprendre comment équilibrer son alimentation pour être en bonne santé, la dimension sensorielle qui est l'éducation au goût, la dimension environnementale et écologique qui permet de responsabiliser les enfants par rapport à l'impact environnemental de leurs choix et comportements alimentaires, et la dimension patrimoniale et culturelle qui est formée des connaissances des éléments matériels et immatériels qui constituent le patrimoine alimentaire et culinaire français (Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports, 2021c). La restauration scolaire s'inscrit dans la continuité pédagogique de l'éducation

alimentaire proposée dans les programmes scolaires (Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports, 2021c). La question de l'alimentation est présente dans tous les programmes d'enseignement de l'école au lycée. Le code de l'éducation précise qu'« une information et une éducation à l'alimentation et à la lutte contre le gaspillage alimentaire, cohérentes avec les orientations du programme national relatif à la nutrition et à la santé [...] et du programme national pour l'alimentation [...] sont dispensées dans les établissements d'enseignement scolaire » (Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports, 2021c). Par exemple, le dispositif des classes du Goût, né à l'initiative de l'Institut Français du Goût de Jacques Puisais en 1975 dans la région Centre a été repris nationalement en 2010 pour les élèves du cycle 3 (CM1-6^{ème}). Il comprend huit séances de 1h30 sur les cinq sens, les saveurs, l'olfaction, la vue, le toucher et l'ouïe, le goût au sens large, le patrimoine alimentaire et l'étiquetage, les signes d'identification de la qualité et de l'origine (CNA, 2017).

La lutte contre le gaspillage alimentaire (dimension environnementale de l'éducation alimentaire) est inscrite depuis 2018 dans le code de l'éducation (République Française, 2018). La restauration scolaire joue en effet un rôle majeur dans la prise de conscience environnementale des enfants, en les incitant par exemple à réduire leur gaspillage alimentaire et en leur faisant découvrir l'origine et la qualité des produits qui leur sont proposés (CNA, 2017; Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports, 2021c). Le gaspillage en restauration collective et commerciale (donc en incluant les adultes) est quatre fois plus important qu'à domicile (ADEME, 2016b) et représentait plus spécifiquement dans les établissements scolaires français, en moyenne 110 g par élève en 2020 (ADEME, 2020). Le dispositif « 1000 écoles et collèges contre le gaspillage » mis en place par l'ADEME entre 2016 et 2018 a permis d'accompagner 567 écoles et 451 collèges dans 40 collectivités françaises dans des diagnostics et actions de lutte contre le gaspillage alimentaire (ADEME & Gouthière, 2018). Les actions de sensibilisation autour du gaspillage alimentaire consistaient par exemple à l'utilisation d'un « gachimètre » ou de tables de tri pour visualiser les quantités d'aliments jetées, des animations auprès des enfants, des visites de cuisines et de producteurs, la création de spectacles ou d'un livret de recettes. L'éducation alimentaire, dans toutes ses dimensions, est primordiale à l'école, de la maternelle au lycée. C'est pour cela qu'il est prévu de la renforcer par le développement d'outils pédagogiques dédiés à l'éducation à l'alimentation (voir partie 1.3.3.3).

Enfin, l'approvisionnement des restaurants scolaires soutenant les productions sous signe de qualité permet de structurer les filières locales d'approvisionnement et participe en ce sens au développement et à la dynamique du tissu local (CNA, 2017; Darmon & Huc, 2021). La restauration scolaire répond à de nombreux enjeux de durabilité que la réglementation tente de plus en plus d'intégrer.

1.3.3.3 Récente évolution de la réglementation relative à la restauration scolaire en France, au regard des enjeux de la durabilité (2019-2021)

Quelques années après l'adoption de la relative à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire en France (voir partie 1.3.2.1), les Etats Généraux de l'Alimentation (EGalim) lancés le 20 juillet 2017 et achevés le 21 décembre 2017 ont conclu à un ensemble de recommandations et à la loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations

commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous, dite loi « EGalim » (République Française, 2018) dont certaines mesures concernent la restauration collective. La promulgation de la loi EGalim marque le début des règles visant à réduire l'impact environnemental et plus généralement à améliorer la durabilité des repas servis en restauration scolaire (Figure 2). La réglementation en vigueur concernait jusqu'alors uniquement l'aspect sanitaire et nutritionnel des repas. En effet, en plus des règles nutritionnelles, la restauration scolaire est soumise à des règles d'hygiène très strictes pour assurer la sécurité sanitaire des repas, issues de la réglementation européenne, en particulier les règlements CE n° 178/2002 et CE n° 853/2004 (« paquet hygiène »), et en France, les arrêtés du 21 décembre 2009 et du 13 octobre 2013 (ADEME et al., 2021). La mesure principale de la loi « EGalim » concernant la nutrition en restauration scolaire est l'expérimentation des repas végétariens hebdomadaires pour deux ans à partir du 1^{er} novembre 2019 dans tous les restaurants scolaires (voir partie 1.3.5). Les autres mesures sur la restauration collective concernent l'approvisionnement, la lutte contre le gaspillage alimentaire et le plastique.

Le PNA, piloté par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, a été créé en 2010 pour faciliter la mise en place de la politique de l'alimentation 2018-2022 (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2019b). La politique de l'alimentation a pour finalité « d'assurer à la population l'accès à une alimentation sûre, saine, diversifiée, de bonne qualité et en quantité suffisante, produite dans des conditions économiquement et socialement acceptables par tous, favorisant l'emploi, la protection de l'environnement et des paysages et contribuant à l'atténuation et à l'adaptation aux effets du changements climatiques » (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2019b). Le nouveau Programme National pour l'Alimentation (PNA3 2019-2023) décline et rend opérationnelles les principales mesures concernant l'alimentation issues de la loi « EGalim ». Le PNA3 s'inscrit donc pleinement dans un objectif d'alimentation durable et forme, avec le PNNS4 (voir parties 1.1.2.1, « les recommandations alimentaires » et 1.2.3.1), le Programme National de l'Alimentation et de la Nutrition (PNAN). Le PNA s'oriente autour de trois axes thématiques fondamentaux qui sont la justice sociale, la lutte contre le gaspillage alimentaire, l'éducation alimentaire et deux leviers transversaux : les Projets Alimentaires Territoriaux (PAT⁶) et la restauration collective. Les axes et les leviers regroupent trente actions, dont dix concernent l'alimentation dans les établissements scolaires :

- Action 14 : en 2020, étendre les dispositions de la loi Garot⁷ aux secteurs de la restauration collective et agro-alimentaire ;
- Action 16 : dès 2020, créer un défi national « zéro gaspi » dans les collèges et les lycées ;

⁶ « Créés par la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014¹, les PAT s'appuient sur un diagnostic partagé de la production agricole et alimentaire locale, du besoin alimentaire des habitants et des atouts et contraintes sociales, économiques et environnementales du territoire. Ils participent à la déclinaison des objectifs du PNA dans les territoires et à leur conciliation avec les enjeux locaux » (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2019b)

⁷ La loi relative à la lutte contre le gaspillage alimentaire, promulguée le 11 février 2016, dite loi Garot prévoit l'obligation, pour les magasins alimentaires de plus de 400 m² de proposer une convention de don à des associations pour la reprise de leurs invendus alimentaires encore consommables et l'interdiction, pour les distributeurs alimentaires, de rendre impropres à la consommation des invendus encore consommables (Ministère de la Transition Écologique, 2021)

- Action 18 : dès 2019, l'éducation à l'alimentation de la maternelle au lycée sera renforcée par le développement d'outils pédagogiques dédiés à l'éducation à l'alimentation (voir partie 1.3.3.2) ;
- Action 20 : poursuivre les « Classes du goût » et agir en faveur de l'éveil du goût chez les jeunes (voir partie 1.3.3.2) ;
- Action 21 : dès 2019, promouvoir le programme scolaire « Fruits et légumes à l'école /Lait et produits laitiers à l'école » (voir partie 1.3.3.1) ;
- Action 23 : dès 2019, mobiliser la restauration collective pour assurer un approvisionnement de 50 % de produits biologiques, dits « de qualité ou durables » (liste des mentions disponibles dans le décret n°2019-351 du 23 avril 2019 (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2019a)) d'ici 2022 ;
- Action 24 : dès 2019, promouvoir les protéines végétales en restauration collective ;
- Action 25 : entre 2019 et 2021, seront publiées puis diffusées les nouvelles recommandations nutritionnelles pour les menus de restauration collective, notamment scolaire ;
- Action 26 : dès 2019, déployer la formation « Plaisir à la cantine » dans les établissements scolaires (voir partie 1.3.3.2) et en 2020 l'adapter aux EHPAD ;
- Action 28 : dès 2019, soutenir les collectivités et les acteurs économiques pour aller vers la substitution du plastique dans les cuisines centrales.

Depuis le 13 mars 2019, le Conseil National de la Restauration Collective (CNRC) est chargé de mettre en œuvre les dix actions concernant la restauration scolaire définies dans le PNA concernant la restauration collective (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2019b). Sur la base des nouvelles recommandations alimentaires du HCSP (voir partie 1.2.3.1), les recommandations nutritionnelles en restauration scolaire mais aussi à destination de la petite enfance, des personnes âgées (dont les personnes en EHPAD) et des adultes en entreprise seront mises à jour par le CNRC (action 25). Ces recommandations seront fondées sur les travaux d'un groupe d'experts sans liens d'intérêt. Pour la restauration scolaire, l'arrêté et le décret du 30 septembre 2011 (Ministère de l'agriculture de l'alimentation de la pêche de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 2011b, 2011a) seront revus.

Le 24 août 2021, la loi dit « Climat et Résilience » a été promulguée (République Française, 2021). Parmi les mesures concernant la restauration scolaire, on peut noter la pérennisation du menu végétarien hebdomadaire (initialement prévu pour 2 ans jusqu'au 31 octobre 2021). Les cantines de l'Etat et des universités qui proposent déjà plusieurs menus devront pour leur part proposer une option végétarienne dès le 1^{er} janvier 2023. Les collectivités volontaires pourront expérimenter le menu végétarien quotidien et ainsi venir enrichir l'évaluation qui sera conduite par l'Etat. Dès la promulgation de la loi, il est par ailleurs prévu de mettre en place une éducation à l'environnement dans tous les établissements scolaires.

1.3.4 La restauration scolaire, un levier d'action pour concevoir des repas plus durables

L'OMS, dans son rapport de 2006 sur les politiques nutritionnelles et alimentaires à l'école dans la région de l'Europe, promeut des politiques visant à la généralisation de la restauration scolaire dans tous les pays d'Europe (WHO, 2006). La restauration scolaire se doit de répondre aux besoins physiologiques et nutritionnels de l'enfant et contribue aussi à prévenir l'obésité infantile et à instaurer des bonnes habitudes qui seront conservées à l'âge adulte (WHO, 2006).

1.3.4.1 Consommations alimentaires et apports nutritionnels en restauration scolaire en France

Les consommations alimentaires et les apports réels en restauration scolaire sont difficiles à estimer car les enfants ne mangent pas forcément tout ce qui est proposé. Cependant l'Anses a pu différencier, sur la base des résultats des enquêtes INCA2 et INCA3, les consommations déclarées des enfants de maternelle et élémentaire en France métropolitaine à domicile de celles en restauration hors foyer (restauration scolaire, restauration traditionnelle et restauration rapide) (Anses, 2021b; Dubuisson et al., 2009, 2012, 2015). D'après les données de l'étude INCA2 (2006-2007), les enfants en école maternelle ou élémentaire fréquentant la restauration scolaire avaient des habitudes alimentaires plus saines, caractérisées par un score de diversité alimentaire plus élevé et une plus faible sédentarité, caractérisée par un temps d'écran plus faible, que les autres élèves (Dubuisson et al., 2012). En restauration scolaire, certaines consommations étaient conformes aux recommandations alimentaires (consommation suffisante de fruits et légumes, de poissons, de produits laitiers et limitée de sandwiches, de BRSA, et sucreries) mais d'autres nécessitaient d'être diminuées (trop de biscuits et pâtisseries, crèmes glacées, desserts lactés, pizzas et pâtisseries salées) (Dubuisson et al., 2015). Ce travail avait fait l'objet d'une thèse financée par l'Anses, qui conseillait de réviser les règles de fréquence de services des produits laitiers, desserts, produits gras et féculents et de favoriser l'accès des enfants issus des milieux modestes en restauration scolaire (Dubuisson, 2013).

D'après les résultats de l'étude INCA3 (2014-2015), la proportion de légumes dans les quantités totales consommées est deux fois plus élevée lorsque le repas est pris en restauration scolaire que lorsqu'il est pris en restauration traditionnelle ou à domicile et dix fois plus élevée que lorsqu'il est pris en restauration rapide (Anses, 2021b). La proportion de fruits en restauration scolaire est 1,5 fois plus élevée qu'à domicile et six fois plus élevée que dans les autres types de restauration (Anses, 2021b). Cette plus forte consommation de fruits et légumes ne se traduit pourtant pas par une consommation plus élevée au total chez les forts consommateurs de restauration scolaire (les individus dont la contribution des repas pris en restauration scolaire aux apports énergétiques est supérieure à celle du dernier tertile, parmi tous les consommateurs de restauration scolaire) car leurs consommations issues d'autres lieux compensent la différence observée entre les repas. Comme observé dans INCA2, par rapport aux non-consommateurs de restauration scolaire, les forts consommateurs de restauration scolaire consommaient davantage de pain, de fromage, de poisson et moins de sucreries mais contrairement à INCA2, ils consommaient également moins de sandwiches, pizzas, tartes, pâtisseries et biscuits salés, glaces, desserts glacés et sorbets. Les consommations en restauration scolaire dans INCA3 sont donc plus en conformité avec la réglementation (Ministère de l'agriculture de l'alimentation de la pêche de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 2011a,

2011b) que dans INCA2, soulignant l'intérêt des règles fréquentielles de service pour améliorer l'offre. Les meilleures consommations observées en restauration scolaire sont compensées par de moins bons apports dans les autres repas mais permettent de limiter tout de même la dégradation qualitative des apports totaux (Anses, 2021b). Par ailleurs, avec un déjeuner moyen solide de 431 g, la portion moyenne totale du repas est 100 g plus élevée en restauration scolaire qu'à domicile et 130 g plus élevée qu'en restauration traditionnelle, mais 100 g moins élevée qu'en restauration rapide. Les portions sont souvent inférieures à celles précisées dans la réglementation, notamment sur les plats complets.

L'apport énergétique total moyen par repas en restauration scolaire est estimé à 590 kcal contre 487 kcal à domicile chez les élèves de maternelle et élémentaire (Anses, 2021b). Pour une même quantité de repas, les apports moyens en protéines, glucides et fibres sont plus élevés et ceux en sel sont moins élevés en restauration scolaire que dans les autres types de restauration. Chez les forts consommateurs de restauration scolaire, la restauration scolaire représente en moyenne 26,7%, soit presque un tiers de leurs apports énergétiques journaliers. Les apports journaliers en fibres sont plus élevés chez tous les consommateurs de restauration scolaire que chez les non-consommateurs de restauration scolaire mais les apports journaliers en énergie, protéines et glucides sont identiques. Ces résultats montrent que les consommations des repas à l'école primaire permettent également d'améliorer les apports en fibres chez les élèves de maternelle et d'élémentaire. Cependant, un meilleur accompagnement, par une meilleure éducation nutritionnelle (voir partie 1.3.3.2) pourrait contribuer à étendre à la journée entière le bénéfice nutritionnel apporté par le déjeuner en restauration scolaire.

1.3.4.2 Qualité nutritionnelle en restauration scolaire et impact de la réglementation

La qualité nutritionnelle de l'offre alimentaire en restauration scolaire a fait l'objet de nombreuses études, notamment depuis l'implémentation d'une réglementation nutritionnelle en France, au Royaume Uni et aux Etats-Unis.

Etudes à l'international

En dehors de la France, les études ont surtout porté sur les repas scolaires aux Etats-Unis et en Angleterre. Les initiatives menées à l'école pour améliorer l'état nutritionnel des enfants dans les différents pays d'Europe et aux Etats-Unis sont plus efficaces si elles combinent plusieurs actions qui se renforcent mutuellement, notamment la fourniture de repas sains, la réduction de la disponibilité d'aliments de moins bonne qualité nutritionnelle, la restriction de la commercialisation d'aliments en dehors des repas (par l'interdiction des distributeurs automatiques par exemple) et la promotion de l'éducation (Driessen et al., 2014; Kovacs et al., 2020; Van Cauwenberghe et al., 2010). En Norvège, la consommation de repas scolaires, qui sont gratuits pour tous les enfants scolarisés dans ce pays, était associée à une augmentation du Healthy food score (basé sur les teneurs en treize groupes d'aliments à limiter ou à favoriser) en un an chez des enfant de 10 à 12 ans par rapport à d'autres enfants qui ne consommaient pas les repas scolaires (Vik et al., 2019). Aux Etats-Unis, la majorité des études portant sur le « Healthy, Hunger-Free Kids Act » (voir partie 1.3.2.2) conduites entre 2006 et 2016 ont conclu

à une amélioration des comportements alimentaires (augmentation de la consommation d'aliments de meilleure qualité nutritionnelle et diminution du gaspillage alimentaire) à la suite de l'implémentation des règles nutritionnelles pour les repas scolaires américains (Mansfield & Savaiano, 2017). Concernant les élèves de 6 à 20 ans consommant les repas du « National School lunch Program » (NSLP, voir partie 1.3.2.2) aux Etats-Unis, une diminution des apports en matières grasses et sucres ajoutés et une diminution de la prévalence de l'obésité ont été attribuées à ce programme, mais aucun changement dans la consommation de fruits et légumes n'a été observé (Jia et al., 2020). D'après les résultats d'une étude nationale aux Etats-Unis, le HEI (voir partie 1.1.2.1, « Indicateurs de qualité nutritionnelle à l'échelle du régime alimentaire ») pour 1000 kcal des repas consommés à l'école était plus élevé que celui des repas apportés par les élèves (78,4% pour les repas du programme contre 54,1% pour les repas apportés par les élèves) (Forrestal et al., 2021). De même, au Royaume-Uni, les paniers apportés par les enfants de 6 à 8 ans sur un jour dans 44 écoles anglaises étaient de moins bonne qualité que les repas proposés à l'école car ils présentaient de plus fortes teneurs en sucres et sodium et moins de légumes (Evans et al., 2016). Un scénario modélisant le respect de plus de la moitié des règles du guide alimentaire du « School Food Plan » permettait d'atteindre les teneurs exigées en protéines, fer, calcium, et vitamine A mais pas de diminuer les teneurs des repas en sel, AGS et sucres libres en comparaison avec les repas moyens servis dans une étude datant de 2009 sur 136 écoles primaires (Wickramasinghe et al., 2017). Les actions doivent donc être renforcées pour contribuer à l'amélioration de l'alimentation des enfants au cours des repas scolaires et tout au long de leur journée.

La distribution de repas scolaires gratuits ou à tarif réduit permet d'améliorer la fréquentation de la cantine chez les enfants issus de familles à faibles revenus, comme le démontrent plusieurs études sur les repas gratuits aux Etats-Unis (Cohen et al., 2021), en Suède (Eustachio Colombo et al., 2020b) ou en Norvège (Vik et al., 2019). Une revue systématique de la littérature sur les repas gratuits aux Etats-Unis a montré que la combinaison du petit-déjeuner et du déjeuner gratuit garantissait la sécurité sanitaire des repas, améliorait les apports nutritionnels des enfants ainsi que leurs performances académiques (Cohen et al., 2021). L'effet du déjeuner seul n'a cependant pas été analysé, les deux repas étant toujours servis ensemble. Les repas scolaires gratuits permettraient également aux foyers qui en bénéficient de réinvestir l'argent économisé mais des études supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre comment est réaffecté cet argent. En Suède, les aliments et boissons consommées sur un à trois jours de la semaine ont été autodéclarés par pour les enfants de 6 à 8 ans dans 79 écoles (Eustachio Colombo et al., 2020b). Les repas consommés dans les écoles publiques permettaient de couvrir les besoins en nutriments protecteurs des enfants, surtout ceux issus de foyers de faible statut socioéconomique. Au Brésil, une étude a également montré que la consommation de repas scolaires était associée à une meilleure alimentation, en particulier chez les enfants de 8 à 12 ans issus de catégories socio-économiques défavorisées car ils avaient de meilleurs apports en vitamine C et consommaient plus de fruits et légumes que ceux qui ne prenaient pas de repas scolaires (Horta et al., 2019). Une enquête nationale de 2014-2015 sur les enfants de 6 à 19 ans fréquentant les écoles publiques américaines montrait que les enfants en situation d'insécurité alimentaire modérée ou élevée étaient plus susceptibles de fréquenter les écoles offrant des déjeuners du « National School Lunch Program » que les enfants qui

n'étaient pas en situation d'insécurité alimentaire. Les repas scolaires contribuaient à hauteur de 20 à 22% de l'apport énergétique chez les enfants en situation d'insécurité alimentaire contre seulement 13% chez les autres enfants. Le HEI moyen des déjeuners des participants au NSLP était significativement plus élevé que celui des non-participants, quels que soient les revenus de leur foyer. Le HEI moyen sur la journée était également plus élevé chez les participants au NSLP mais seulement chez les élèves issus de familles à forts revenus (Gearan et al., 2020).

Etudes en France

En France, une enquête nationale a permis de récolter 707 séries d'au moins quinze repas servis dans des établissements du second degré de France métropolitaine et des départements d'Outre-mer entre novembre 2005 et avril 2006 (voir partie 1.3.2.1) (Dubuisson et al., 2007). Les établissements interrogés respectaient en moyenne la moitié des recommandations nutritionnelles du GEMRCN de 2007 et des efforts restaient à faire sur certaines fréquences concernant les plats protidiques et les produits laitiers, soulignant la nécessité de rendre ces règles obligatoires en restauration scolaire (Bertin et al., 2011; Dubuisson et al., 2009). Le non-respect des recommandations était en partie dû à une non-connaissance de ces règles, qui n'étaient pas encore d'application obligatoire (Bertin et al., 2011). Les menus à cinq composantes permettaient mieux de se rapprocher des recommandations que les menus à quatre composantes (Bertin et al., 2011). Quand les recommandations étaient appliquées, l'offre en restauration scolaire présentait de plus faibles teneurs en lipides et de plus fortes teneurs en protéines, calcium, vitamine C et fer, mettant en évidence l'intérêt du suivi des recommandations du GEMRCN pour améliorer la qualité nutritionnelle des repas servis (Bertin et al., 2012). En 2010, une étude a permis d'estimer l'impact de la réactualisation des recommandations (passage des règles du GPEMDA à celles du GEMRCN en 2007) sur le coût des matières premières des repas scolaires (Vieux et al., 2013a). Un premier volet, descriptif, a consisté à analyser, à partir de séries de vingt repas servis en 2009 dans des établissements scolaires, la relation entre le niveau de respect du GEMRCN, mesuré par le nombre de règles de fréquences de service respectées, et le coût des repas. Les résultats indiquaient que le niveau de respect n'était associé à aucune différence de coût. Un second volet, analytique, a consisté à chiffrer, sur la base de tarifs datant du dernier trimestre 2008, le coût de séries de repas publiées depuis 1997 dans des revues professionnelles (120 séries) respectant soit les pratiques en vigueur avant 2001, soit le GEMRCN de 2007. Quand le GEMRCN était totalement respecté, le respect des fréquences était associé à un léger surcoût largement compensé par une forte baisse de coût associée au respect des grammages. Il est vraisemblable que la limitation des quantités de viande ou de poisson à 50—70 g par assiette ait contribué à cet effet. Ces résultats, ont contribué à lever les réticences contre l'obligation d'application de ces règles. Elles sont donc devenues obligatoires à la suite de la promulgation de l'arrêté du 30 septembre 2011. En mars 2013, une étude de l'UFC-Que Choisir sur 606 communes et établissements scolaires en France a mis en évidence une nette amélioration de l'investissement des collectivités dans le respect des règles de fréquences de services des plats en restauration scolaire dans des écoles primaires publiques, qu'il s'agisse de gestion directe ou concédée (UFC-Que choisir, 2013).

Une étude plus récente avait pour objectif d'analyser l'impact des règles fréquentielles sur la qualité nutritionnelle de séries de repas réellement servies dans des écoles élémentaires en France métropolitaine en 2015, soit quatre ans après l'instauration de la réglementation nutritionnelle en restauration scolaire (Vieux et al., 2018a). La qualité nutritionnelle et le respect des règles fréquentielles ont été analysés à partir de 40 séries de 20 repas servis à l'école puis cinq scénarios de respect ou non-respect des critères fréquents ont été simulés. La qualité nutritionnelle a été estimée avec le MAR (voir partie 1.1.2.1, « Indicateurs de qualité nutritionnelle à l'échelle du régime alimentaire »). Le MAR était exprimé pour 2000 kcal afin de comparer les séries en faisant abstraction des différences liées à une différence d'apport énergétique total. Les quinze règles n'étaient pas totalement respectées mais aucun éloignement majeur n'était à signaler. Le MAR augmentait avec le nombre de règles respectées, atteignant un plateau à partir de dix règles respectées sur quinze. La simulation de plusieurs scénarios de 1600 séries de vingt repas a montré que le respect total des critères s'accompagnait d'une meilleure qualité nutritionnelle moyenne (MAR plus élevé, teneurs en lipides et AGS plus faibles) et permettait d'éviter les séries de faible MAR. Un scénario « catastrophe » simulant un non-respect total de la réglementation dégradait la qualité nutritionnelle des séries. Enfin, Le retrait du plat protidique ou le remplacement des plats avec viande ou poisson par des plats végétariens dégradaient également la qualité nutritionnelle (MAR plus faible, plus de lipides et d'AGS).

1.3.4.3 Analyse de l'impact environnemental des repas scolaires

Le rôle de la restauration scolaire n'est plus consacré uniquement à proposer des repas équilibrés aux enfants mais s'élargit aussi à la protection de l'environnement en proposant des repas plus durables (Oostindjer et al., 2017). La restauration collective est un levier important pour améliorer la durabilité des systèmes alimentaires. Dans son rapport « Healthy and sustainable diets » de 2021, la division européenne de l'OMS identifiait dix axes pour contribuer à l'amélioration de la durabilité de l'alimentation (WHO, 2021). Le troisième axe, "Healthy and sustainable public food procurement", consiste à développer un guide pour aider les institutions publiques (écoles, hôpitaux, prisons, ...) à établir des appels d'offres pour l'achat d'ingrédients et d'aliments considérés par les auteurs comme « sain et durables ». Un kit de formation destiné aux responsables des achats est également en cours d'élaboration par l'OMS. L'ADEME, dans son guide « Vers une alimentation plus durable en restauration collective » identifie quatre leviers pour améliorer la durabilité des repas en restauration scolaire : les approvisionnements, les pratiques alimentaires (composition des repas), la lutte contre le gaspillage alimentaire et la formation du personnel (ADEME, 2021). Une récente revue de la littérature portant sur l'amélioration de la durabilité dans le secteur alimentaire a déduit que les interventions qui concernent l'approvisionnement, en diminuant la part de produits animaux au profit de produits végétaux par exemple seraient les plus efficaces car c'est à l'étape de production agricole que les impacts environnementaux sont majoritaires (Takacs & Borrion, 2020). Les interventions qui se situent aux autres stades (stockage, préparation des repas, gaspillage alimentaire) ont aussi un intérêt, mais il serait de moindre ampleur (Takacs & Borrion, 2020)..

L'indicateur le plus couramment utilisé pour évaluer l'impact environnemental de l'alimentation en restauration collective sont les EGES liées à la production d'un repas (= empreinte carbone du repas). D'après une étude de l'ADEME sur 12 établissements, l'empreinte carbone d'un

repas moyen en restauration collective pour un adulte en France est de 2,65 kg CO₂ eq, soit légèrement plus élevé que le repas moyen d'un français à domicile qui est de 2,27 kg CO₂ eq (ADEME, 2016a). En restauration scolaire en France, l'empreinte carbone moyenne des repas a été estimée par certaines collectivités mais pas nationalement. D'après une étude de Eco2 Initiative en 2018, elle serait égale à 1,8 kg CO₂ eq dans les cantines maternelles et élémentaires du 9^{ème} et du 10^{ème} arrondissement de Paris et d'après une autre étude réalisée dans les cantines maternelles et élémentaires de Rennes entre mars 2015 et octobre 2016, chaque repas générerait en moyenne 1,4 kg CO₂ eq (Flament, 2017). A Turin, en Italie, l'empreinte carbone du repas moyen est similaire à celles de Paris et de Rennes avec 1,67 kg CO₂ eq. (Cerutti et al., 2017). En Angleterre, l'empreinte carbone d'un repas pris sur place serait de seulement 1,02 kg CO₂ eq (De Laurentiis et al., 2017).

En 2010, une étude s'est intéressée pour la première fois à la contribution des différents repas sur l'impact environnemental des repas scolaires. Un repas standard (hot-dog, croquettes de pommes de terre, fruits en conserve et lait à la framboise) était comparé à un repas alternatif (haricots, courges, pain de maïs, salade, pomme cuite et eau) dans une école de Baltimore, aux Etats-Unis (Demas et al., 2010). Le repas alternatif contenait plus d'ingrédients de saisons et locaux, moitié moins de calories, moins de sodium, de lipides, et plus de fibres. De plus, il nécessitait trois fois moins de ressources en énergie que le repas standard. Depuis, plusieurs études ont évalué l'impact environnemental des repas selon leur composition en ingrédients, en Europe ou aux Etats-Unis. De la même façon que dans les régimes alimentaires des adultes (voir parties 1.1.3 et 1.1.4), plus les repas contenaient de produits animaux et plus les indicateurs environnementaux étaient élevés. En Angleterre, les plats à base de viande, qui ne représentaient que 10% du poids moyen du repas, étaient responsables de 52% des EGES des repas en moyenne (bœuf : 52%, agneau : 21%, porc : 15% et volaille : 13%) et de 38% de l'épuisement des ressources en eau (19% pour les desserts au chocolat car la culture du cacao nécessite beaucoup d'eau) (De Laurentiis et al., 2019). Dans une étude sur dix écoles de Stockholm, deux groupes d'écoles étaient distingués : les écoles « basses émissions » dont les approvisionnements alimentaires atteignaient 1,6 kg CO₂ eq. par kg d'aliment en moyenne, et les écoles à « hautes émissions » dont les approvisionnements alimentaires atteignaient 3,43 kg Co2 eq par kg d'aliment en moyenne. Les écoles « basses émissions » servaient très peu de bœuf (0,05% du total) mais plus de soja, légumineuses ou champignons que les écoles « hautes émissions » qui servaient 2,7 à 7,3 % de bœuf (représentant entre 23,3% et 31,6% des EGES) et plus de porc, de poisson et de volaille (Hedin et al., 2018). Dans une école maternelle en Espagne, les menus riches en bœuf avaient l'empreinte carbone (2,24kg CO₂ eq/repas) la plus élevée et l'épuisement des ressources en eau (1271 L/repas) était respectivement 3,7 et 3,5 fois plus élevé qu'avec les menus sans viande (mais avec poisson). Les produits végétaux comme les légumes, fruits, céréales, légumineuses contribuaient peu à l'empreinte carbone. La comparaison de différents types de menus respectant les recommandations nutritionnelles pour les repas scolaires des enfants de 3 à 8 ans en Espagne, ajustés par calorie, a confirmé que les repas sans viande avaient la plus faible empreinte carbone et permettraient de diminuer de 27% les EGES par rapport à un repas standard omnivore (Martinez et al., 2020).

En restauration scolaire comme dans l'alimentation en général (voir partie 1.1.2.5), qualité nutritionnelle et réduction de l'impact environnement ne vont pas toujours de pair (Cooreman-Algoed

et al., 2020; Wickramasinghe et al., 2017). Rapporté à une référence de 530 kcal, la modélisation de repas scolaires anglais respectant les règles du « School Food Plan » aboutissaient à des repas avec une empreinte carbone plus élevée (0,79 kg CO₂/repas) que les repas servis en 2009 (0,72 kg CO₂/repas) (Wickramasinghe et al., 2017). En Belgique, des repas universitaires observés ont été évalués par un score combinant la dimension environnementale (score Recipe) et nutritionnelle (score de densité nutritionnelle regroupant protéines, fibres, AGS, acides gras insaturés, sucres ajoutés et sodium) (Cooreman-Algoed et al., 2020). Les repas à base de poisson obtenaient le meilleur score total et les repas à base de viande de ruminant, le moins bon score total (et à la fois le moins bon score nutritionnel et environnemental). Quant aux repas végétariens, ils obtenaient le meilleur score environnemental, mais un score nutritionnel similaire à celui des repas à base de viande de ruminant.

Augmenter la part de plats végétariens en privilégiant les protéines végétales de qualité comme les légumineuses et substituer la viande de ruminants par de la viande blanche ou du poisson permettrait de réduire significativement l'impact environnemental des repas scolaires tout en garantissant une qualité nutritionnelle adéquate, d'après des études dans des restaurants scolaires en Italie, Angleterre, Espagne ou Suède (Cerutti et al., 2017; De Laurentiis et al., 2017; Fairchild & Collins, 2011; González-García et al., 2020; Hedin et al., 2018). Bien qu'ils soient de bonne qualité nutritionnelle, les plats à base de poisson ou de viande, viande de ruminant en particulier, contribuent fortement aux EGES des repas en restauration scolaire (De Laurentiis et al., 2017; González-García et al., 2020). Au cours de l'année scolaire 2020-2021, la municipalité de Barcelone a introduit des repas « bas carbone » privilégiant les aliments de saison, biologiques, produits localement, réduisant la proportion de viande rouge, volaille et poisson et augmentant celle de légumineuses par rapport aux repas habituels (Batlle-Bayer et al., 2021). Un repas moyen « bas carbone » était simulé et comparé à d'autres repas moyens à base d'œufs, de volaille, de poisson, de porc ou de bœuf. Les repas étaient représentatifs des repas servis sur une semaine dans sept écoles de Barcelone. Les repas « bas carbone » permettaient de réduire de 60% l'utilisation d'eau, de 46% l'utilisation de ressources énergétiques, de 48% l'usage de terres, de 53% les EGES et d'augmenter de 6 à 47% le score nutritionnel (« Rich Meal index », basé sur les teneurs en protéines, fibres, vitamines A et C, calcium, fer, magnésium, potassium par rapport aux recommandations nutritionnelles pour les enfants de 12 à 16 ans, et en AGS, sucres ajoutés et sodium par rapport aux valeurs maximales recommandées). L'utilisation d'énergies renouvelables, les économies d'énergie et la diminution du gaspillage alimentaire permettaient de diminuer encore plus ces impacts.

1.3.4.4 Amélioration des repas scolaires par optimisation : applications à l'international

La programmation linéaire en nombres entiers est une approche d'optimisation tout à fait adaptée à la génération de séries de repas plus durables en restauration collective (Benvenuti & De Santis, 2020). Le principe est le même que la programmation linéaire en nombre réels (voir partie 1.1.4.2, « Approches multicritères basées sur l'optimisation »), à l'exception que les variables sont des plats (en France, entrée, plat principal, garniture, produit laitier ou dessert), le plus souvent issus d'une base de données de plats habituellement servis, dont la portion est fixe. La résolution du modèle d'optimisation permet d'obtenir des séries de repas, caractérisées par la sélection de certains plats issus de la base de plats, minimisant une fonction objectif (par exemple le prix ou les EGES totaux) et

respectant toutes les contraintes établies sur un repas (par exemple, la teneur en calories d'un repas), plusieurs repas (par exemple, la proportion de plats végétariens sur 5 repas), ou la série entière (par exemple, le respect des règles de fréquence de service des plats imposé par la réglementation française). L'utilisation de la programmation linéaire nécessite néanmoins l'ajout de contraintes de diversité pour limiter la répétition ou contraindre l'apparition d'un plat au moins une fois dans la série, pour éviter que le plat dont la variable minimisée (prix, EGES,...) est la plus faible soit systématiquement sélectionné (Ramos-Pérez et al., 2021; Segredo et al., 2020; Szeremeta Spak & Colmenero, 2021). Il est également possible d'intégrer l'acceptabilité par les élèves en pondérant les plats en fonction de leurs préférences quand cette information est disponible (Szeremeta Spak & Colmenero, 2021). Récemment, des études en Suède ou en Italie ou en Espagne ont utilisé la programmation linéaire pour réduire l'impact environnemental de séries de repas tout en respectant les besoins nutritionnels des enfants scolarisés (Benvenuti et al., 2016; Eustachio Colombo et al., 2019, 2020a; Ribal et al., 2016; Rossi et al., 2021) .

En Espagne, une base de données de vingt entrées, vingt plats principaux et sept desserts (soit 2800 combinaisons possibles) a été utilisée pour générer des un cycle de vingt repas par programmation linéaire (Ribal et al., 2016). Les séries optimisées selon différents objectifs d'EGES ou de prix étaient associées à des EGES entre 13% et 24% et à un prix entre 10 et 15% moins élevés qu'une série moyenne (moyenne des 2800 combinaisons). En Italie, deux séries d'un mois de repas pour les écoles de Rome minimisant les EGES ou la consommation d'eau, tout en étant variées et respectant les recommandations nutritionnelles pour les enfants ont été obtenues par optimisation (Benvenuti et al., 2016). En moyenne, les séries étaient associés à 13,81 kg CO₂ eq d'EGES et à 21,61 m³ d'utilisation des ressources en eau sur un mois. Les deux séries avaient un impact environnemental plus faible que les séries servies, et étaient équivalentes en termes de nutrition. Les EGES et l'utilisation d'eau atteignaient respectivement 7,77 kg CO₂eq et 16.64 m³ dans la série avec les EGES minimales et 10,85 kg CO₂eq et 13.72 m³ dans celle avec l'utilisation d'eau minimale. Cette étude de cas a été élargie à l'Italie et montrait que dans la séries de repas minimisant les EGES, les légumes et légumineuses étaient très présents et les plats à base de volaille étaient plus souvent sélectionnés que ceux à base de viande rouge, malgré une contrainte imposant un minimum sur la fréquence de plats à base de bœuf (Rossi et al., 2021). Les EGES des séries optimisées s'élevaient à seulement 0,53 kg CO₂ eq. pour 718 kcal.

En Suède, une étude terrain basée sur l'optimisation de l'approvisionnement montrait des résultats encourageants (Eustachio Colombo et al., 2020a). L'approche était légèrement différente des études précédentes puisque la programmation linéaire en nombres réels était utilisée dans un premier temps pour optimiser l'approvisionnement (liste d'aliments utilisés pour confectionner les repas) de trois écoles (Eustachio Colombo et al., 2019). Le modèle consistait à minimiser l'écart relatif aux quantités d'aliments dans la liste observée (147 aliments) tout en respectant les recommandations nutritionnelles suédoises pour les repas scolaires, en diminuant les EGES de 40% et en limitant la diminution d'un aliment à 75% et son augmentation à 100%. La liste optimisée avait un écart de 15,2% à la liste de base sur les quantités d'aliments et un prix 11% plus faible mais restait à calories constantes par rapport à la liste observée. Elle était ensuite transmise à des diététiciens pour constituer une série

de vingt repas à servir à partir de la liste optimisée des approvisionnements, en ajustant les quantités d'aliments si besoin (Eustachio Colombo et al., 2020a). Les repas résultaient en une réduction de 40,2% des EGES, de 14% du prix, un écart de 16,2% des quantités d'aliments à l'observé. Des changements marginaux de l'adéquation nutritionnelle pour les calories (97% de la recommandation), le fer (97%), le sélénium (99%) et le zinc (98%) étaient observés à la suite de l'adaptation des approvisionnements en séries de repas par les diététiciens. Les quantités de deux groupes d'aliments, les matières grasses et les huiles (+ 5%) et les légumes et tubercules (+ 7%) augmentaient dans la liste optimisée alors que les quantités des autres groupes diminuaient (viande : -32%; poisson et fruits de mer : -13% ; produits laitiers : -13%; sauces et assaisonnements : -26%; fruits et baies : -54%; et céréales : -5%). Ainsi, la série optimisée comptait six plats végétariens sur quarante plats au total, contre quatre dans la série observée. Finalement, les nouveaux repas servis dans les trois écoles pilotes ne généraient pas plus de gaspillage alimentaire et ne changeaient pas la satisfaction des élèves par rapport aux repas de base. Il était donc possible de réduire significativement l'impact environnemental (-40 % d'EGES) des repas servis en Suède tout en garantissant leur adéquation nutritionnelle et leur acceptabilité et sans augmenter leur coût.

1.3.5 L'offre végétarienne en restauration scolaire en France

Les études menées dans des restaurants scolaires en Europe (voir parties 1.3.4.3 et 1.3.4.4) ont montré que la réduction des produits animaux au profit des produits végétaux en restauration scolaire était un levier indispensable pour améliorer la durabilité des repas scolaire et passait par l'intégration de plus de plats et de repas végétariens. En France, l'expérimentation du repas végétarien hebdomadaire encouragée par la loi « EGALIM » (République Française, 2018) et la loi « Climat et Résilience » (République Française, 2021) a récemment impulsé une dynamique vers une meilleure prise en compte de la durabilité en restauration scolaire. Les établissements de restauration publique ont en effet un rôle important à jouer dans la promotion des protéines végétales, autant avec les plats végétariens qu'avec des plats combinant viande et protéines végétales. Le fait de proposer des plats végétariens dans le menu des cantines scolaires a pour objectif de familiariser les élèves et leurs parents activement avec les plats végétariens et de développer une image positive de ces plats. Des changements graduels permettraient en effet de faire évoluer l'alimentation des Français vers plus de protéines végétales (de Gavelle et al., 2020).

A l'automne 2020, l'AMF a recueilli le retour de 3000 communes ayant une école publique et des intercommunalités gestionnaires sur l'expérimentation du repas végétarien hebdomadaire dans les restaurants scolaires initiée le 1^{er} novembre 2019. La majorité des communes interrogées de moins de 2 000 habitants (58%) et presque la moitié des communes de 2 000 à 9 999 habitants ne proposaient aucune offre de repas végétarien avant la mise en place de l'expérimentation. Un an après, l'expérimentation a été instaurée par 89 % des collectivités sondées par l'AMF. Pourtant, les règles de fréquence de service imposées par la réglementation sont compatibles avec le service de douze plats protidiques végétariens sur vingt (les huit autres étant soit des plats à base de poisson, soit des plats à base de viande de ruminants) et vingt entrées végétariennes sur vingt, soit douze repas totalement végétariens (Tableau 5). D'après la cartographie des menus végétariens réalisée en juillet 2020 par

Greenpeace dans les écoles primaires, le taux de non-application de la loi sur l'instauration d'au moins un repas végétarien par semaine était plus élevé dans les petites villes de moins de 100 élèves en primaire : seules 53% d'entre elles respectaient la loi contre 81% des grandes villes (plus de 1000 élèves) (Greenpeace, 2020a).

Les bénéfices environnementaux de la mise en place d'un repas végétarien hebdomadaire en France ont été estimés dans une étude de Greenpeace France (Greenpeace, 2020b) avec deux repas théoriques : un repas végétarien avec des produits laitiers et des œufs et un repas végétalien qu'ils ont comparé aux repas théoriquement servis avant l'introduction de la loi EGalim. Les quantités d'aliments dans chaque repas étaient établies à partir des résultats de trois principales études (Chen et al., 2019; Springmann et al., 2018a; WWF & Eco2 Initiative, 2017). D'après l'étude de Greenpeace France, instaurer un repas végétarien par semaine permettrait de réduire de 14% (repas végétarien) à 19% (repas végétalien) les EGES, de 8 à 11% l'épuisement des ressources en eau et de 16% à 18% l'occupation des terres par rapport aux repas servis avant l'introduction de la loi EGALIM. Une alimentation plus végétale sans pour autant exclure les produits animaux, mais avec deux repas végétariens hebdomadaires était recommandée par Greenpeace France pour les cantines scolaires (Greenpeace, 2020b). Cependant, les repas moyens proposés dans l'étude semblaient très peu réalistes car ils contenaient entre 10 à 20 fois plus de fruits à coques, et entre 15 à 30 fois plus de légumineuses que les repas servis avant la loi EGalim. Or, les fruits à coques sont déconseillés pour les jeunes enfants (voir partie 1.2.3.1) et sont coûteux. L'acceptabilité d'une telle quantité de légumineuses dans les repas des enfants n'a pas été évaluée et le risque est qu'elle génère un fort gaspillage alimentaire. De plus, même si les auteurs ont indiqué avoir vérifié l'équilibre nutritionnel des repas, la méthode utilisée n'était pas précisée. Les perspectives de réduction des impacts environnementaux semblaient donc surestimées, même si de précédentes études en Europe ont démontré l'impact significatif des plats végétariens dans la diminution des impacts environnementaux des repas en restauration scolaire (comme indiqué dans les parties 1.3.4.3 et 1.3.4.4).

Alors que plusieurs études (non académiques) se sont attachées à quantifier le gain, en termes d'impact environnemental, de l'introduction de repas végétariens à la cantine en France, à notre connaissance une seule étude s'est attachée à en évaluer les effets sur le plan nutritionnel. Il s'agit de l'étude de Vieux et al., dans laquelle un scénario de substitution des plats protidiques contenant de la viande ou du poisson par des plats n'en contenant s'accompagnait d'une dégradation de la qualité nutritionnelle des séries (Vieux et al., 2018a). Cependant, il était difficile de tirer des conclusions de cette étude quant à la pertinence de l'introduction de plats végétariens en restauration scolaire. En effet, un seul scénario, extrême (génération de séries entièrement végétariennes), avait été simulé. De plus, les plats végétariens utilisés dans cette étude en remplacement de la viande et du poisson étaient ceux proposés en 2015 par les cantines comme substituts des plats à base de viande et il s'agissait surtout de plats à base d'œuf et/ou de fromage et rarement de mélanges de céréales et de légumes secs.

En mars 2019, le groupe Restauration Collective et Nutrition (GRCN), essentiellement formé d'anciens membres du GEMRCN à la suite de sa dissolution en 2018, a publié une annexe synthétique à la recommandation nutrition du GEMRCN (GEMRCN, 2015) pour faire le point sur l'état des

connaissances sur la qualité nutritionnelle des aliments sources de protéines et apporter un éclairage pratique aux responsables de la restauration sur le terrain pour la diversification des sources de protéines (GRCN, 2019). Cette fiche reprécisait notamment les portions recommandées par le GEMRCN pour les plats végétariens et les règles de fréquences de service des plats protidiqes. Il était recommandé de garantir une teneur en protéines d'au moins 10 g/100 g pour les plats protidiqes végétariens (par ex. galette de céréales et légumineuses) et d'au moins 5 g/100 g pour les plats complets végétariens (type lasagnes végétariennes, ...), et de choisir des recettes variées avec un rapport protéines/lipides supérieur à 1 afin de maintenir des apports en protéines satisfaisants. Cependant, le GRCN n'étant pas une instance officielle, ces recommandations n'ont qu'une valeur informative. En décembre 2020, le CNRC, dont le statut est officiel, publiait un guide de recommandations pour le repas végétarien hebdomadaire (CNRC, 2020) en s'appuyant sur un document de l'Anses intitulé « note d'appui scientifique et technique de l'Anses relative aux recommandations nutritionnelles pour la mise en place d'une expérimentation en milieu scolaire de menus végétariens » (Anses, 2019c). Des recommandations de fréquences de service de certains types de plats végétariens sur quatre ou cinq repas végétariens dans une série de 20 repas (correspondant à un repas végétarien par semaine de cinq ou quatre jours) ont ainsi été établies (CNRC, 2020), et sont présentées Tableau 6. Il n'est pas forcément nécessaire d'associer céréales et légumineuses pour garantir des apports adéquats en acides aminés (voir partie 1.1.3.1) mais les plats végétariens constitués d'aliments sources de protéines végétales comme les céréales et les légumineuses sont considérés comme un levier pour augmenter la consommation de fibres et sont donc à favoriser (au moins deux sur quatre ou cinq repas végétariens). Les plats à base de fromage sont de forts contributeurs aux AGS et, compte tenu de la présence obligatoire de produits laitiers dans les repas scolaires, ils sont à limiter à un sur quatre ou cinq repas végétariens. Les plats dont la principale source de protéines est l'œuf sont également à limiter à un sur quatre ou cinq repas végétariens afin de préserver la diversité des repas. Enfin, à titre de précaution et en l'attente d'études supplémentaires, les plats à base de soja et les plats transformés ne devraient pas être servis plus d'une fois chacun sur quatre ou cinq repas végétariens. En juillet 2020, les repas végétariens étaient globalement diversifiés et respectaient dans l'ensemble déjà ces recommandations car d'après l'enquête de Greenpeace, en moyenne seul un repas sur cinq était composé d'omelettes ou d'œufs durs, un quart seulement comportait des produits a priori transformés, et plus de la moitié était composée de protéines végétales (Greenpeace, 2020a).

Tableau 6 : Tableau de fréquences de service des plats végétariens recommandées en restauration scolaire (CNRC, 2020)

Sur les 4 ou 5 repas végétariens au minimum par 20 repas successifs :	
1. Plat protidique ou plat complet dont les sources principales de protéines sont les céréales et/ou les légumes secs (hors soja)	2/4 (ou 2/5) min
2. Plat protidique ou plat complet dont la source principale de protéines est l'œuf	1/4 (ou 1/5) max
3. Plat protidique ou plat complet dont la source principale de protéines est le fromage	1/4 (ou 1/5) max
4. Plat protidique transformé à base de protéines végétales	1/4 (ou 1/5) max
5. Plat protidique ou plat complet contenant du soja	1/4 (ou 1/5) max

Une étude publiée récemment dans une revue de diététique pratique a analysé la qualité nutritionnelle de plats protidiqes végétariens industriels (directement préparés par des entreprises agro-alimentaires tels que les steaks, galettes, boulettes et plats préparés) sélectionnés entre janvier et décembre 2018, en particulier sur quatre nutriments jugés déterminants : les protéines, le rapport protéines/lipides, le sel et les fibres (Bordmann & Huc, 2019). La moitié des plats protidiqes à base de céréales et légumineuses n'atteignaient pas les 10 g /100 g de protéines lorsqu'ils n'étaient pas associés à des œufs et/ou du fromage ; ces plats étaient en revanche riches en fibres. Un tiers des produits affichait un rapport protéines/lipides inférieur ou égal à 1, en particulier les plats à base de céréales et légumineuses. Cependant, l'apport en protéines chez les enfants français étant déjà largement supérieur à leurs besoins, ces moindres teneurs protéines peuvent tout à fait s'équilibrer sur les autres repas. Les produits simili-carnés semblaient beaucoup plus salés que leurs équivalents, ce qui mérite une vigilance quant à l'ajout de sel à la cuisson. Enfin, les portions de plats protidiqes végétariens industriels semblaient trop copieuses pour les enfants de classes maternelles et élémentaires mais pas assez pour les plus âgés. Les plats végétariens qui peuvent être proposés en restauration scolaire semblent donc de bonne qualité nutritionnelle dans l'ensemble. Cette étude était la seule portant sur la qualité nutritionnelle des repas végétariens proposés en restauration scolaire mais se limitait au plats industriels seulement et à quelques nutriments. Une étude plus approfondie des caractéristiques des plats végétariens proposés en restauration scolaire reste nécessaire en France.

L'évaluation de l'expérimentation du repas végétariens a récemment été rendue par la mission du Conseil général de l'alimentation de l'agriculture et des espaces ruraux (CGAAER). Le CGAAER a consulté plus d'une cinquantaine d'interlocuteurs (professionnels de la restauration collective, nutritionnistes et diététiciens, syndicats des secteurs agricoles et alimentaires, associations de parents d'élèves, collectivités territoriales et associations environnementales, experts indépendants, chefs, ethnologue, journaliste...). En raison des circonstances sanitaires liées à l'épidémie de COVID19, ils n'ont pu cependant réaliser qu'une visite de terrain, dans un grand lycée public d'Île de France. L'évaluation a montré un accueil plutôt favorable des repas végétariens hebdomadaires par les élèves,

leurs parents ou les élus qui permet d'envisager sa pérennisation (Bardon & Feigner, 2021). L'impact quantitatif de l'expérimentation sur la fréquentation le jour du menu végétarien, sur le prix de revient et sur le gaspillage n'a pourtant pas pu être établi de façon précise à la date de production du rapport par manque de données chiffrées. La mission a émis sept recommandations : mener l'expérimentation à son terme et l'assortir de mesures de suivi et de contrôle, former et accompagner les chefs de cuisine, reconnaître leur responsabilité grandissante dans les cantines scolaires, faciliter l'approvisionnement en produits végétaux de qualité et favoriser une cuisine « de cuisinier » plutôt qu'une cuisine d'assemblage⁸, assurer l'accompagnement pédagogique de la mesure, stabiliser la situation autour d'un repas végétarien hebdomadaire, sans s'interdire de la faire évoluer et enfin envisager l'extension du repas végétarien hebdomadaire à d'autres domaines de la restauration collective.

⁸ La cuisine d'assemblage consiste à réaliser une production culinaire (hors d'œuvre, plats garnis, dessert), à partir de produits achetés dans un état déjà plus ou moins élaboré, en les assemblant dans le cadre de la recette, avec ou sans cuisson (Energie Plus, 2007)

IMPLICATIONS POUR LA THESE

L'offre alimentaire en restauration scolaire a été initialement développée pour vaincre la dénutrition chez les enfants. Au-delà de la couverture des besoins nutritionnels, les différents enjeux de la restauration scolaire montrent qu'elle constitue un véritable levier sociétal pour améliorer la santé des enfants, quelle que soit leur origine sociale, pour développer leur goût et leurs connaissances alimentaires, et pour les sensibiliser à l'impact environnemental de leur alimentation. Avec environ 8,5 millions de repas servis par semaine de la maternelle au lycée en France, le choix de la composition des repas est aussi primordial dans le développement du tissu économique local et peut avoir un impact significatif sur l'environnement.

Des règles spécifiques aux repas en restauration scolaire et basées sur les recommandations nutritionnelles nationales pour les enfants visent à assurer la qualité nutritionnelle des repas proposés aux élèves. En France, la restauration scolaire est soumise à une réglementation nutritionnelle exigeant le respect de quinze règles de fréquences de services de quinze différents types de plats dans une série de vingt repas. Depuis novembre 2019, la dimension environnementale est aussi prise en compte dans la réglementation, notamment avec l'obligation de proposer au moins un repas végétarien par semaine, soit l'équivalent d'au moins quatre à cinq repas végétariens sur une série de vingt repas. La réglementation nutritionnelle relative à la restauration scolaire est en cours d'actualisation par le CNRC, sur la base des recommandations alimentaires du HCSP spécifiques aux enfants, actualisées en 2020 (HCSP, 2020)

Des études ont porté sur la qualité nutritionnelle et le coût des repas proposés en restauration scolaire en France mais la relation entre la dimension nutritionnelle et la dimension environnementale n'a à ce jour jamais été étudiée. L'analyse des dimensions nutritionnelle et environnementale des repas en restauration scolaire, et en particulier l'intégration de nouvelles métriques environnementales constituera donc le principal enjeu de ce travail de thèse. Il n'est pas aisé de tenir compte pleinement de la dimension socio-culturelle de la durabilité en restauration scolaire, mais nous tenterons de ne pas la laisser de côté en utilisant une base de données de plats effectivement servis aux enfants en France. Des études internationales ont montré que la diminution des repas à base de viande, en particulier celle de ruminants, et l'augmentation des repas végétariens permettrait de réduire significativement l'impact environnemental des repas scolaires. Il est toutefois nécessaire de veiller à ce que la végétalisation de l'alimentation des enfants ne s'accompagne pas de déficits d'apports en certains nutriments. Malgré l'importance du sujet et l'attention croissante dont il bénéficie de la part de la société civile et des instances politiques, cette revue de la bibliographie a montré que les études académiques sur le sujet en France sont quasiment inexistantes.

CHAPITRE 2: OBJECTIFS SPECIFIQUES

L'alimentation durable, qui comprend des exigences sur quatre dimensions qui sont la nutrition, l'environnement, l'économie et la dimension socioculturelle, concerne aussi la restauration scolaire. Ainsi, une restauration scolaire durable serait nutritionnellement adéquate pour les enfants, prenant en compte leurs habitudes et leurs goûts, à un coût abordable et équitable, et respectueuse de l'environnement. L'amélioration de la durabilité en restauration scolaire repose essentiellement sur quatre leviers : les approvisionnements, les pratiques alimentaires (composition des repas), la lutte contre le gaspillage alimentaire et la formation du personnel (ADEME, 2021). Le travail réalisé dans le cadre de cette thèse a porté sur la composition des repas scolaires. Pour assurer la bonne qualité nutritionnelle des repas qui y sont proposés, la restauration scolaire est soumise à plusieurs lois et recommandations en France. Il n'est pas toujours facile de concilier bonne qualité nutritionnelle et faible impact environnemental dans les repas scolaires. Pour diminuer l'impact environnemental des repas scolaires, l'introduction d'au moins un repas végétarien par semaine est en cours d'expérimentation dans toutes les cantines françaises depuis novembre 2019. Pour s'accorder avec l'actualisation des recommandations alimentaires du PNNS pour les enfants, la réglementation nutritionnelle en restauration scolaire va prochainement être mise à jour.

L'objectif de la thèse est d'identifier dans quelle mesure l'offre végétarienne peut améliorer la durabilité des repas servis en restauration scolaire en France, en particulier dans ses dimensions nutritionnelle et environnementale.

La restauration scolaire se doit de donner la possibilité aux enfants scolarisés de bénéficier les jours d'école d'un déjeuner en adéquation avec leurs besoins nutritionnels. Dans la troisième partie de l'introduction bibliographique, dont une version synthétique a fait l'objet de la **Contribution 1** (Chapitre de livre), nous avons dressé un état des lieux de l'alimentation des enfants en restauration scolaire. L'objectif était notamment d'évaluer l'impact de la réglementation actuelle (règles de fréquence de service et plats végétariens) sur la qualité nutritionnelle de l'offre alimentaire en restauration scolaire. Il était par ailleurs nécessaire de comprendre les enjeux de la restauration scolaire afin que les nouvelles recommandations pour améliorer la durabilité des repas y répondent au mieux. En France, les études existantes au moment de l'expérimentation du menu végétarien hebdomadaire étaient toutefois insuffisantes pour évaluer la qualité nutritionnelle des plats végétariens qui pourraient être proposés aux enfants. Nous disposions d'une base de données de presque 2000 plats servis en restauration scolaire en 2015, dont la composition nutritionnelle avait été précédemment calculée à partir de leurs fiches techniques, mais cette base comprenait peu de plats végétariens, et il s'agissait essentiellement de plats à base d'œufs et/ou de fromage relativement peu diversifiés. C'est pourquoi nous avons fait appel au collectif EnScol pour récolter des fiches techniques de plats végétariens supplémentaires. Le collectif EnScol, créé à l'occasion de cette thèse en 2019, est composé de chercheurs et professionnels de la restauration scolaire. Grâce au collectif, 225 plats végétariens supplémentaires ont été ajoutés à la base de données et analysés dans la **Contribution 2**. L'objectif de ce travail était d'évaluer et de comparer la qualité nutritionnelle de plats principaux non-végétariens et de trois sous-catégories de plats principaux végétariens (catégorisés selon leur composition en ingrédients d'origine animale) actuellement proposés dans les écoles élémentaires en France, sur la base de leur adéquation nutritionnelle en plusieurs nutriments et des algorithmes sous-

jacents aux systèmes Nutri-Score et SAIN,LIM. Nous souhaitons par ailleurs savoir si ces algorithmes étaient suffisants pour permettre aux professionnels de s'assurer de la qualité nutritionnelle des plats végétariens proposés dans les menus des cantines. La force de cette étude est qu'elle reposait sur une base de données unique contenant un nombre important de plats dont la composition provenait de fiches techniques détaillées et non de recettes standard. Cependant, des travaux supplémentaires étaient nécessaires pour analyser l'offre végétarienne à l'échelle des séries de repas. L'impact environnemental des séries de repas scolaires et les possibilités pour le réduire sans altérer leur qualité nutritionnelle étaient jusqu'alors peu explorés en France. Pour la **Contribution 3**, nous avons pu utiliser la base de données AGRIBALYSE, disponible depuis peu, pour faire correspondre les valeurs d'indicateurs environnementaux qu'elle contient aux ingrédients de tous les plats de notre base de données. En plus de l'introduction de repas végétariens, trois leviers supplémentaires pour améliorer la qualité nutritionnelle et/ou l'impact environnemental des séries de repas ont été identifiés : réduire la quantité d'aliments consommés en réduisant le nombre de composantes du repas, respecter les règles de fréquence de service de plats imposées par la réglementation française en restauration scolaire, et éviter la viande de ruminant dans les repas non-végétariens. L'objectif était d'identifier le meilleur compromis entre nutrition et environnement en appliquant ces quatre leviers seuls ou combinés. Les résultats de cette étude contribueront à éclairer le débat sur la nécessaire évolution de la restauration scolaire vers une meilleure prise en compte de la durabilité, notamment en France où des modifications réglementaires et législatives sont en cours de discussion.

CHAPITRE 3: RESULTATS

3.1 Contribution 2 : Qualité nutritionnelle des plats végétariens et non-végétariens en restauration scolaire : Les systèmes de profilage nutritionnels sont-ils suffisamment informatifs ?

3.1.1 Résumé

La restauration scolaire est un vecteur privilégié d'éducation alimentaire et contribue à faciliter l'accès à une alimentation saine et plus durable. En 2019, l'introduction d'au moins un repas végétarien par semaine (défini comme un repas sans viande ni poisson) est devenue obligatoire (République Française, 2018). Il est clairement établi qu'une transition vers une alimentation plus végétale contribuerait à réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à l'alimentation. Une étude antérieure sur les repas scolaires français a suggéré que le remplacement systématique de la viande et du poisson par des plats végétariens aurait un impact négatif sur plusieurs indicateurs de qualité nutritionnelle (Vieux et al., 2018a). Cependant, à cette époque, les plats végétariens proposés par les cantines scolaires en France étaient peu nombreux et manquaient de diversité. Les systèmes de profilage nutritionnels comme le Nutri-Score (Julia & Hercberg, 2017) ou le SAIN, LIM (Darmon et al., 2009) permettent de classer les aliments en fonction de leur teneur en certains nutriments et d'autres composants (par exemple, les fruits et les légumes). Les profils nutritionnels peuvent être utilisés par les gouvernements dans le cadre de la restauration scolaire pour établir des nouvelles recommandations nutritionnelles (Labonté et al., 2018) ou des critères d'approvisionnement (McColl & Tim Lobstein, 2015; WHO, 2011).

L'objectif de cette étude était d'évaluer la qualité nutritionnelle de plats principaux végétariens ou non végétariens proposés dans des écoles primaires en France sur la base de l'adéquation nutritionnelle en plusieurs nutriments et des algorithmes sous-jacents aux systèmes Nutri-Score et SAIN,LIM.

Cette étude a été initiée et co-développée par les membres du réseau EnScol ("Ensemble, poser les bases d'une évolution des pratiques pour une restauration Scolaire plus durable"), un réseau français de chercheurs et de professionnels de la restauration scolaire créé en 2019 en lien avec cette thèse. La présente étude a porté sur les plats principaux servis aux enfants en classe élémentaire. Un plat principal peut être soit un plat protidique servi avec un accompagnement (par exemple, un steak servi avec des haricots verts), soit un plat complet dans lequel le plat protidique et l'accompagnement sont incorporés dans le même plat principal (par exemple, lasagnes, gratins, chili con carne, etc.). Une base de données, basée sur les fiches techniques de plats servis en restauration scolaire en 2015 avait été développée à l'occasion d'une précédente étude (Vieux et al., 2018a). Elle a été enrichie en 2019 avec des plats végétariens supplémentaires grâce aux professionnels d'EnScol. Les teneurs en nutriments des plats étaient calculées par rapprochement entre fiches techniques et tables de composition des aliments CALNUT, Nutrinet-Santé ou CIQUAL 2013. Chaque plat protidique seul a été combiné avec un plat accompagnement "moyen" à base de légumes ou de féculents pour former un

plat principal. Chaque plat principal de la base de données a été attribué à l'une des 5 classes de Nutri-Score (A,B,C D, E) et, lorsque les informations disponibles étaient suffisantes, à l'une des 4 classes de SAIN,LIM (1,2,3, 4). Les plats principaux ont été répartis en deux catégories : les plats végétariens et les plats non végétariens. Afin d'établir une typologie des plats végétariens, ceux-ci ont ensuite été divisés en 3 sous-catégories :

- « FRO (et autre PL et/ou ŒUF) » : plats végétariens définis par la présence de fromage, pouvant également contenir des produits laitiers autres que le fromage, ou des œufs.
- « ŒUF et/ou PL (excl. FRO) » plats végétariens définis par la présence d'œufs et l'absence de fromage, mais pouvant contenir d'autres produits laitiers.
- « VEGETAL » : plats végétariens définis par l'absence de produits animaux (œufs, fromage ou autres produits laitiers).

Les catégories et sous catégories ont été comparées en se basant sur les ratios d'adéquation nutritionnelle en nutriments « protecteurs » (protéines, fibres, vitamines, minéraux, acides gras essentiels), les teneurs en nutriments à limiter (AGS, sodium, sucres totaux et sucres libres), et le profil nutritionnel Nutri-Score et SAIN,LIM de chaque plat.

Les plats principaux végétariens et non-végétariens servis aux enfants des écoles primaires en France présentaient généralement de bons profils SAIN,LIM et Nutri-Score, malgré leurs faibles teneurs en acides gras oméga-3 (acide alpha-linolénique-ALA et acide docosahexaénoïque-DHA) et en vitamine D. Parmi les plats végétariens, ceux de la catégorie « VEGETAL » avaient les teneurs en AGS les plus faibles et les teneurs en fibres les plus élevées des trois sous-catégories, et ils présentaient de bons profils nutritionnels. Néanmoins, ni le Nutri-Score, ni le système SAIN,LIM ne permettaient de détecter les niveaux insuffisants de vitamine B2, vitamine B12 et calcium ou le manque de vitamine D et de DHA des plats « VEGETAL ». Les plats « ŒUF et/ou PL (excl. FRO) » présentaient un bon compromis nutritionnel par rapport aux deux autres catégories de plats végétariens, car ils apportaient les nutriments « protecteurs » associés aux œufs et aux produits laitiers frais (calcium, vitamines B2, B12 et D) sans les AGS associés au fromage.

Une analyse complémentaire dans les plats végétariens à base de fromage (voir Working-paper MOISA 2020-3 en Annexe 2) a montré que la quantité de fromage pour 100 g était corrélée positivement au Nutri-Score (+0,37) et au score LIM (+0,63). Le score LIM avait tendance à dépasser le seuil de 7,5 (« mauvais » LIM) lorsque la teneur en fromage atteignait 12,7 g/100, ce qui suggère qu'il serait judicieux de limiter la quantité de fromage dans les plats principaux à 12 g pour 100 g au maximum, et/ou de choisir les variantes de fromages les moins grasses et/ou les moins salées car le fromage est une source importante de calcium. Bien que les systèmes de profilage nutritionnel soient réputés utiles pour une évaluation rapide de la qualité nutritionnelle des aliments, résumer la qualité nutritionnelle en un seul score ou une seule note peut conduire à des interprétations erronées. Il est donc conseillé de conserver une approche critique à l'égard de l'utilisation de ces algorithmes en restauration scolaire dans le but de garantir une nutrition adéquate aux enfants.

Une analyse plus complète de l'offre en restauration scolaire reste nécessaire puisque, dans cette étude, la qualité nutritionnelle a été estimée uniquement à l'échelle des plats principaux. De plus, des

travaux supplémentaires sont nécessaires pour déterminer la fréquence optimale des plats végétariens et des plats non végétariens dans des séries de repas scolaires.

3.1.2 Messages-clés

- Les systèmes de profilage nutritionnel comme le Nutri-Score ou le SAIN,LIM ne sont pas suffisamment informatifs pour estimer la qualité nutritionnelle des plats servis en restauration scolaire.
- La quantité de fromage dans les plats végétariens et la fréquence de service des plats contenant du fromage doit faire l'objet d'une attention particulière car ils peuvent présenter des teneurs en AGS élevées.
- Bien qu'ils soient riches en fibres et pauvres en AGS, les plats végétaliens (sans produits animaux) ont des teneurs insuffisantes en nutriments protecteurs comme les vitamines B2 et B12, le calcium et les acides gras oméga 3 ALA et DHA.
- Les plats végétariens à base d'œufs mais sans fromage présentent le meilleur compromis nutritionnel, par rapport aux deux autres sous-catégories de plats végétariens (plats végétariens contenant du fromage et d'autres produits laitiers et/ou des œufs et plats végétaliens).
- Il est nécessaire d'assurer un équilibre entre les trois sous-catégories de plats végétariens.

3.1.3 Article publié

Contribution 2 sous forme d'article intitulé « Nutritional Quality of Vegetarian and Non-Vegetarian Dishes at School: Are Nutrient Profiling Systems Sufficiently Informative? » publié dans *Nutrients* le 28 juillet 2020.

Voir également le **Working-paper** MOISA 2020-3 « Composition nutritionnelle des plats complets végétariens et non-végétariens proposés en restauration scolaire : une étude du collectif EnScol » en **Annexe 2**. *Nb : le terme « plats complets » dans le working-paper correspond à celui de « plats principaux » utilisé dans la thèse.*

Article

Nutritional Quality of Vegetarian and Non-Vegetarian Dishes at School: Are Nutrient Profiling Systems Sufficiently Informative?

Romane Poinot ^{1,2}, Florent Vieux ² , Christophe Dubois ³, Marlène Perignon ¹,
Caroline Méjean ¹ and Nicole Darmon ^{1,*}  on behalf of the EnScol Network

¹ MOISA, Université de Montpellier, CIRAD, CIHEAM-IAMM, INRAE, Institut Agro, 34060 Montpellier, France; romane.poinot@ms-nutrition.com (R.P.); marlene.perignon@inrae.fr (M.P.); caroline.mejean@inrae.fr (C.M.)

² MS-Nutrition, Faculté de Médecine La Timone, 13385 Marseille, France; florent.vieux@ms-nutrition.com

³ Trophis, 13170 Les Pennes Mirabeau, France; cdubois.nutrition@free.fr

* Correspondence: nicole.darmon@inrae.fr

Received: 2 July 2020; Accepted: 27 July 2020; Published: 28 July 2020



Abstract: In France, school canteens must offer a vegetarian meal at least once per week. The objective was to evaluate the nutritional quality of school main dishes. A database of main dishes served in primary schools was first split into non-vegetarian ($n = 669$) and vegetarian ($n = 315$) categories. The latter has been divided into three sub-categories: vegetarian dishes containing cheese, vegetarian dishes containing eggs and/or dairy products but no cheese and vegetarian dishes without any eggs, cheese or other dairy products (vegan). Categories and sub-categories were compared based on nutrient adequacy ratios for “protective” nutrients (proteins, fibres, vitamins, minerals, essential fatty acids), the contents of nutrients to be limited (saturated fatty acids (SFA), sodium, free sugars) and on two nutrient profiling systems (SAIN,LIM and Nutri-Score). The vegetarian category and the non-vegetarian category displayed “adequate” levels ($\geq 5\%$ adequacy for 100 kcal) on average for almost all “protective” nutrients. The three sub-categories of vegetarian dishes displayed good SAIN,LIM and Nutri-Score profiles on average, although key nutrients were lacking (vitamin B12, vitamin D and DHA) or were present in insufficient amounts (vitamin B2 and calcium) in the vegan sub-category. The sub-category containing eggs and/or dairy products other than cheese was a good compromise, as it provided protective nutrients associated with eggs and fresh dairy products, while the sub-category containing cheese provided higher levels of SFA. Nutrient profile algorithms are insufficiently informative to assess the nutritional quality of school dishes.

Keywords: children; sustainability; France; school catering; vegetarian; vegan; omega-3 fatty acids; SAIN,LIM; Nutri-Score

1. Introduction

School catering is a privileged vector for food education and contributes to facilitating access to healthy and more sustainable food [1]. In France, children are not allowed to bring their own lunch (except for medical reasons) and there is always a set meal proposed to all children. To ensure the good nutritional quality of meals school catering is subject to several laws and recommendations. According to the French regulations [2], a school meal must include four or five components (a protein dish, a side dish, a dairy product, a starter and/or a dessert), and school dishes must comply with service frequencies for fifteen types of dishes in a series of 20 consecutive meals (e.g., side dishes made of vegetables must be served exactly 10 times out of 20) [3]. In addition, in 2019, the introduction of at least one vegetarian meal per week (defined as a meal without meat or fish) became mandatory [4].

To comply with this new law, school canteen managers (dietitians, cooks, etc.) have to adapt their food plan in order to include the weekly vegetarian meal, while still observing the other compulsory service frequencies. At the same time, agri-food industries have anticipated the needs of managers by offering on the market ready-to-eat vegetarian products that can replace meat and fish products, such as soya “steak” or wheat nuggets.

The consumption of meat and seafood facilitates the coverage of requirements for nutrients that are missing or lacking in plant-based products (long-chain omega-3 fatty acids, iodine, vitamins D and B12) and for nutrients such as iron and zinc. Moreover, the bioavailability of iron and zinc is low when they come from plant-based products [5]. However, it is recommended to avoid excessive consumption of red and processed meats to maintain good health [6,7], as they have been associated with an increased risk of cardiovascular disease, type 2 diabetes and colorectal cancer [8]. In the same vein, seafood, and especially fish, are major vectors of contaminants such as methylmercury, arsenic and persistent organic pollutants. Therefore, seafood consumption should be guaranteed to ensure adequate omega-3 fatty acids, vitamin D, selenium and iodine intake but has to be limited to minimize possible detrimental health effects [9]. Plant-based products are rich in fibre, vitamins C and B, magnesium, carotenoids, polyphenols and antioxidants, which contribute to the prevention of chronic diseases [10]. In France, as in most Western countries, the average animal-protein intake is about twice as high as plant-protein intake [11]. In a recent study on a representative French national dietary survey conducted in 2014–2015, simulations on the substitution of animal-protein foods with plant-protein foods in the French diet have shown nutritional benefits, but only when the plant-protein foods were highly diversified (mix of legumes, nuts, seeds and vegetables) [11]. There is clear evidence that a transition towards more plant-based diets will help to reduce diet-related greenhouse gas emissions [12]. However, the total removal of meat is not necessary to ensure nutritional adequacy while reducing the environmental impact of diets [12,13].

Nutrient profiling systems were created to assess the overall nutritional quality of individual foods. They allow foods to be classified, according to their content in some nutrients and other components (e.g., fruit and vegetables) [14]. Two validated nutrient profiling systems were shown to be consistent with French food-based dietary recommendations [15]: the Nutri-Score [16] and SAIN,LIM [17] algorithms. It has been advocated that nutrient profiles could be used by governments in the context of school catering to establish food standards [15] or criteria for food supplies [18].

A previous study on French school meals [19] suggested that the systematic substitution of meat and fish with vegetarian dishes would have a detrimental impact with regard to several indicators of nutritional quality. The data for this previous study had been collected in 2015. However, there were few vegetarian dishes offered by school canteens in France at that time, and they lacked diversity. They mainly contained egg- and/or cheese-based dishes, and, more rarely, dishes made exclusively of plant-based ingredients.

The aim of the present study was to assess the nutritional quality of non-vegetarian main dishes and three sub-categories of vegetarian main dishes currently offered in primary schools in France, based on nutrient adequacy ratios and the Nutri-Score [16] and SAIN,LIM [17] algorithms.

2. Material and Methods

The study was initiated and co-developed by the members of the EnScol network (“Ensemble, poser les bases d’une évolution des pratiques pour une restauration Scolaire plus durable” (“Together, laying the foundations for a shift in practices towards more sustainable school catering”)), a French network of researchers and school catering professionals created in 2019.

2.1. Collection of Data

The present study focused on main dishes served to children in primary school (commonly corresponding to 6 to 11 years in France). A main dish can either be a protein dish served with a side dish (e.g., a steak served with green beans) or it can be a complete dish. A complete dish is a dish

where the protein “dish” and the side “dish” are incorporated into the same main dish (e.g., lasagne, gratins, chili con carne, etc.) An existing database, based on technical files for all dishes from 40 series of 20 meals, was available thanks to the previous study by Vieux et al. [19] This previous database also contained 40 additional vegetarian dishes (complete dishes, protein dishes and side dishes). All complete dishes and protein dishes were extracted from this database ($n = 683$). The technical files provided the recipes (i.e., the ingredients and quantities used) and, for industrial dishes, the mandatory labelled nutrient contents and the ingredients list.

In 2019, in order to expand the initial database, professionals from the EnScol network were asked to provide technical files for new vegetarian dishes. The latter were provided by four partners: the city of Montpellier; Sodexo, which is a French catering services company; the Association Française des Diététiciens Nutritionnistes (AFDN (French Association of Dieticians, Paris, France)); and the Association pour le Développement de l’Hygiène et de l’Équilibre Nutritionnel (ADHEN (Association for the Development of Health and Nutritional Balance, Saint-Jean-le-Blanc, France)), a French association of dieticians in mass catering.

The ingredient content of the new vegetarian dishes ($n = 225$) provided by EnScol partners was computed following the same procedure applied previously [19]. Their nutritional content was based on CALNUT [20], Nutrinet-Santé [21] or CIQUAL 2013 [22] food composition tables. Duplicate technical files were excluded from the analysis.

2.2. Combination of Side Dishes and Protein Dishes to Obtain Main Dishes

Nutritional quality was assessed at the “main dish level”. Complete dishes were thus analysed as such, and protein dishes had to be combined with a side dish. However, technical files of vegetarian protein dishes (except those coming from the 40 series of 20 meals) were not provided with their actual side dish. Therefore, each individual protein dish was combined with an “average” side dish (see Figure 1).

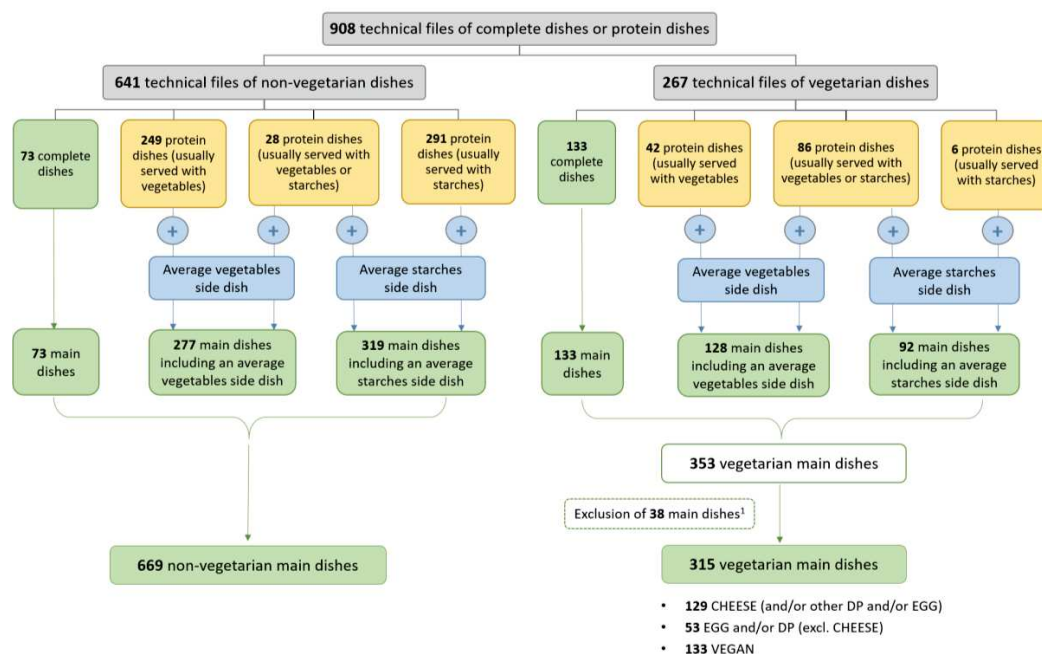


Figure 1. Overview of the distribution of main dishes according to their category (vegetarian or non-vegetarian), the type of side dish (“no side dish”, “vegetables” or “starches”) and, for vegetarian dishes, the sub-category (“CHEESE and/or DP and/or EGG”, “EGG and/or DP (excl. CHEESE)”, “VEGAN”). ¹ SAIN and LIM scores were not estimated for 38 industrial main dishes because their technical file was incomplete, labelled information on nutrients was insufficient and no matching food was found in the ingredient database.

In accordance with the 2011 regulations, vegetable side dishes must be served at the same frequency as starch side dishes (i.e., 10 times out of 20). Two average side dishes (a “vegetables” side dish and a “starches” side dish) were created based on the nutritional content of all the “vegetables” side dishes (containing at least 50% vegetables) and of all the “starches” side dishes (containing at least 50% starch) extracted from the initial 40 series of 20 meals [19]. Their average nutritional content was calculated, weighted by their average recommended portion size, determined by a dietician in the previous study.

Next, the type of side dish usually served with each protein dish was identified. This could be either a “vegetables” side dish, a “starches” side dish, or both if the protein dish was served as often with vegetables or starches. For protein dishes previously collected from the 40 series of meals, the type of side dish was determined directly, according to the composition of the meals in which the dishes were present. For example, if a protein dish was served with rice, the average side dish corresponding to this protein dish was “starches”. If, in another meal, the protein dish was served with green beans, it was combined with both a “starches” and a “vegetables” side dish and the two options were calculated separately. For the vegetarian protein dishes collected, their combination with side dishes was determined according to the expertise of EnScol partners: vegetables, starches or both.

The minimum recommended portion size of the protein source in a main dish is 70 g for all children in primary schools [3]. On average, the recommended portion sizes in the 40 series of meals were 113 g for “vegetables” side dishes and 170 g for “starches” side dishes. These portion sizes were used for the associations of each protein dish (70 g) with its corresponding average side dish(es) (113 g for vegetables and 170 g for starches). The nutritional content of each main dish was calculated for 100 g of the final dish. Below, the term “main dish” is indifferently shortened to “dish” or kept as “main dish”.

2.3. Categorisation of Vegetarian Dishes

Main dishes were split into two categories: vegetarian and non-vegetarian dishes. In order to establish a typology of vegetarian dishes, they were then divided into 3 different sub-categories according to the presence or absence of cheese, eggs and dairy products other than cheese (milk, yoghurt, butter, etc.) The amounts of eggs, cheese and dairy products (DP) other than cheese were estimated from recipes:

- All the vegetarian dishes containing cheese were included in the sub-category “CHEESE (and/or other DP and/or EGG”. Dishes from this sub-category could also contain dairy products other than cheese and eggs.
- All the vegetarian dishes containing eggs and/or dairy products but no cheese were included in the sub-category “EGG and/or DP (excl. CHEESE)”.
- All the vegetarian dishes without any eggs, cheese or other dairy products were included in the sub-category “VEGAN”.

2.4. Evaluation of the Nutritional Quality of Main Dishes

2.4.1. Nutritional Content of Main Dishes

Energy, fibres, macro- and micronutrient contents were assessed for each main dish in each category and sub-category. Nutrient adequacy ratios were calculated for each “protective” nutrient in each dish, as the percentage of the daily recommended value per 100 kcal of main dish. The so-called “protective” nutrients are protein, fibres vitamins B1, B2, B6, B9, B12, C, D, E and A, calcium, potassium, iron, magnesium, zinc, copper, iodine, selenium, linoleic acid (LA), alpha-linolenic acid (ALA) and docosahexaenoic acid (DHA). The recommended values used in the computation of nutrient adequacy ratios are those in Table A1. Daily recommended values have been calculated taking into account the age and sex distribution of primary school children in France, according to a previously described methodology [19]. The level of each nutrient was considered “adequate” if the median nutrient

adequacy ratio was greater than or equal to 5%/100 kcal. A threshold of 5% was used because 5% adequacy for 100 kcal is equivalent to 100% for 2000 kcal (considered a reference energy intake). Contents in nutrients to be limited and energy density were calculated for 100 g of dish. The so-called nutrients “to be limited” are sodium, saturated fatty acids (SFA), total sugars and free sugars [23].

2.4.2. Nutri-Score System

The Nutri-Score algorithm is a five-colour nutrition label derived from the Nutrient Profiling System of the British Food Standards Agency (modified version) [24]. Nutri-Score is based on a positive sub-score P and a negative sub-score N [16]. The P sub-score includes protein and fibre contents in 100 g of product and the percentage of “fruits, vegetables, legumes, nuts as well as (since 2019 [25]) colza, walnuts and olive oils” incorporated in the recipe. The N sub-score includes energy, total sugars, sodium and SFA per 100 g of final product. The final score, obtained by subtracting P from N, is submitted to 4 thresholds defining 5 classes. The five Nutri-Score classes are associated with 5 colours and 5 letters, from dark green (A) for “good nutritional quality” to dark orange (E) for “lower nutritional quality”. Each main dish from the database was allocated to one of the 5 possible Nutri-Score classes.

2.4.3. SAIN,LIM System

The SAIN,LIM algorithm is based on the SAIN (score of nutritional adequacy of individual foods) and the LIM (score of nutrients to be limited) sub-scores, which reflect the favourable and unfavourable aspects of foods, respectively [17]. The SAIN score is an unweighted arithmetic mean of the percentage adequacy for five positive nutrients (plus one optional nutrient): proteins, fibres, calcium, iron and vitamin C (plus vitamin D) in 100 kcal of final food. The LIM score is the mean percentage of the maximal recommended values (MRV) for three nutrients to be limited in a healthy diet: sodium, SFA and free sugars in 100 g of final food. The threshold for the SAIN is 5, corresponding to 5% adequacy for 100 kcal, i.e., 100% for a reference daily energy intake of 2000 kcal. The threshold for the LIM is 7.5, corresponding to 7.5% adequacy for 100 g, i.e., 100% for a reference daily intake quantity of 1333 g. Attributing a threshold to each score enables the definition of four classes: class 1 (the most favourable profile), $SAIN \geq 5$ and $LIM < 7.5$; class 2, $SAIN < 5$ and $LIM < 7.5$; class 3, $SAIN \geq 5$ and $LIM \geq 7.5$; and class 4, $SAIN < 5$ and $LIM > 7.5$ (the least favourable profile). Where enough information was available, each main dish from the database was allocated to 1 of the 4 possible SAIN,LIM classes.

2.5. Statistical Analysis

Quantitative variables (e.g., nutrient adequacy ratios) were compared between categories (vegetarian and non-vegetarian) using the Wilcoxon test and between the three vegetarian sub-categories using the Kruskal–Wallis test. Where the difference between the three sub-categories was significant, a post hoc comparison (Dunn’s test) was performed. Nutrient adequacy ratios were also compared to the theoretical 5% threshold using the Wilcoxon–Mann–Whitney test for one sample. Where the median and the mean were not convergent, a one-sided test was used to determine whether the nutrient level was significantly lower or higher than 5%. The distribution of dishes in the Nutri-Score and SAIN,LIM classes between the two categories, and then between the three sub-categories, was compared with chi-squared tests of χ^2 . Where the number of dishes per class did not allow the test to be carried out, class grouping was performed. Agreement between Nutri-Score and SAIN,LIM was measured with Cohen’s kappa test. Correlations between total Nutri-Score and LIM and between total Nutri-Score and SAIN were measured with Spearman’s coefficient test. Finally, the probability of classification in the best nutrient profiling class according to the category of main dish or the sub-category of vegetarian dish was assessed by binary logistic regression adjusted for the production method (industrial or not) and the type of side dish (“vegetables”, “starches” or “none”).

Statistical analyses were performed with R software version 3.6. The level of significance was set to 5% for all of the tests.

3. Results

3.1. Database Constitution

The city of Montpellier provided technical files of locally prepared ($n = 3$) and industrial ($n = 11$) vegetarian dishes that were offered at least once in the public schools of Montpellier. Sodexo provided all technical files for all of the non-industrial vegetarian dishes ($n = 79$) in their database in April 2019 and for industrial vegetarian products ($n = 13$) presented by suppliers but not necessarily served in school canteens run by the company. The AFDN provided a list of 75 industrial technical files, originating from a regular inventory of new industrial vegetarian products offered by manufacturers to French school caterers from January to December 2018 [26], as well as 5 technical files for non-industrial vegetarian dishes served in the canteen of a small town in western France. The ADHEN extracted non-industrial technical files for vegetarian dishes ($n = 39$) from their “Menu-Co” database software, excluding incomplete files and the files that had already been provided for the previous study by Vieux et al. [19].

Overall, 225 new technical files were collected from professional members of EnScol in 2019. When added to protein dishes and complete dishes from the previous study, a total of 267 vegetarian dishes and 669 non-vegetarian dishes were counted (Figure 1). A total of 73 non-vegetarian and 133 vegetarian main dishes were complete dishes. After the association of protein dishes with their corresponding average side dish(es), 277 non-vegetarian and 128 vegetarian main dishes composed of one protein dish and the average “vegetables” side dish and 319 non-vegetarian and 92 vegetarian main dishes composed of one protein dish and the average “starches” side dish were obtained. It was not possible to calculate the SAIN,LIM profile of 38 industrial vegetarian dishes, owing to a lack of sufficient information in the original data provided. The final database contained a total number of 984 main dishes, including 669 non-vegetarian dishes and 315 vegetarian dishes, the latter containing 129 “CHEESE and/or DP and/or EGG” dishes, 53 “EGG and/or DP (excl. CHEESE)” dishes and 133 “VEGAN” dishes.

3.2. Comparisons Between Non-Vegetarian and Vegetarian Dishes

Non-vegetarian and vegetarian dishes had the same energy density (Table 1). Most “protective” nutrients were present in “adequate” amounts (i.e., adequacy ratio not lower than 5%) on average in each of the two categories of main dishes. For those nutrients present in “adequate” amounts, their adequacy ratios were either: not significantly different between the two categories (vitamins B1, C and E, iodine and selenium); higher in non-vegetarian dishes (vitamins B2, B3, B6 and B12, potassium and zinc); or higher in vegetarian dishes (fibres, vitamins B9 and A, iron, magnesium, copper and LA). For proteins, their nutrient adequacy ratios were well above the 5% threshold: 24.9% and 17.2% on average for non-vegetarian and vegetarian dishes, respectively. The average calcium content was “adequate” in vegetarian dishes but not in non-vegetarian dishes. Vitamin D and DHA were present at insufficient levels in both categories, and the levels were significantly lower in vegetarian dishes than in non-vegetarian dishes. ALA was also present at insufficient levels in both categories, and the average level was significantly lower in non-vegetarian dishes than in the vegetarian dishes.

The contents of SFA and sodium were in the same order of magnitude between vegetarian and non-vegetarian dishes, yet slightly but significantly lower in vegetarian dishes. The content of free sugars was negligible in both categories of dishes.

Whatever the category, most dishes were classified in classes A and B of the Nutri-Score, and in classes 1 and 2 of the SAIN,LIM. No dishes were classified in the least favourable class of the Nutri-Score (i.e., class E) and very few were in class D (0.9% and 1.0% of non-vegetarian and vegetarian dishes, respectively). In contrast, 7.6% of non-vegetarian dishes and 4.8% of vegetarian dishes were in the least favourable class of the SAIN,LIM, i.e., class 4 (Figure 2). Given that the number of dishes per class was sometimes too low to perform χ^2 tests, Nutri-Score classes B, C and D were grouped, as well as classes 2, 3 and 4 of the SAIN,LIM, and they were compared to the respective best classes (i.e., Nutri-Score

class A and SAIN,LIM class 1). The proportion of dishes classified in the best class of the SAIN,LIM (class 1) was significantly higher for vegetarian dishes than for non-vegetarian dishes (65.7% vs. 40.4%, $p < 0.001$). With the Nutri-Score, the difference between the two categories followed the same trend as with the SAIN,LIM, but was smaller (66.2% and 59.2% of vegetarian and non-vegetarian dishes were in class A, respectively, $p = 0.029$).

Table 1. Energy density and other nutritional characteristics of non-vegetarian ($n = 669$) and vegetarian ($n = 315$) main dishes (Med = Median; M = Mean; SD = Standard Deviation).

	Non-Vegetarian Main Dishes ($n = 669$)			Vegetarian Main Dishes ($n = 315$)			p^1
	Med	M	SD	Med	M	SD	
Energy density (kcal/100 g)	136	134	33.0	128	133	38.1	0.160
Carbohydrates (g/100 g)	17.7	12.9	6.97	13.3	14.8	7.66	<0.001
Fats (g/100 g)	4.76	5.22	2.13	4.78	5.03	2.19	0.619
Proteins (g/100 g)	7.80	7.98	1.98	5.51	5.65	1.94	<0.001
Proteins (%/100 kcal) ²	22.8	24.9	8.14	16.7	17.4	5.49	<0.001
Fibres (%/100 kcal) ²	9.29	10.3	3.44	15.1	16.9	9.27	<0.001
Vitamin B1 (%/100 kcal) ²	8.10	9.54	5.26	8.06	8.76	3.88	0.298
Vitamin B2 (%/100 kcal) ²	5.00	5.57	3.28	4.76 ³	5.49	3.63	0.017
Vitamin B3 (%/100 kcal) ²	12.9	16.3	9.68	5.53	5.85	2.47	<0.001
Vitamin B6 (%/100 kcal) ²	10.9	11.9	4.85	7.50	8.19	3.61	<0.001
Vitamin B9 (%/100 kcal) ²	6.21	10.1	6.44	15.2	16.7	10.7	<0.001
Vitamin B12 (%/100 kcal) ²	16.7	22.3	19.0	3.36 ³	6.51	7.85	<0.001
Vitamin C (%/100 kcal) ²	3.48 ⁴	5.70	4.17	4.36 ³	5.51	4.58	0.136
Vitamin D (%/100 kcal) ²	1.67 ⁵	3.65	6.16	0.71	1.66	2.30	<0.001
Vitamin E (%/100 kcal) ²	7.36	8.83	5.31	7.92	9.47	6.52	0.674
Vitamin A (%/100 kcal) ²	5.18	14.4	13.4	9.13	16.9	20.0	0.026
Calcium (%/100 kcal) ²	2.33	2.96	1.83	4.84 ³	5.52	3.31	<0.001
Potassium (%/100 kcal) ²	5.77	6.39	2.01	5.56	6.04	2.69	0.001
Iron (%/100 kcal) ²	7.33	8.01	3.72	9.59	10.4	5.34	<0.001
Magnesium (%/100 kcal) ²	8.28	8.82	2.46	10.4	12.3	6.75	<0.001
Zinc (%/100 kcal) ²	5.75	7.43	5.12	5.40	5.70	1.99	0.008
Copper (%/100 kcal) ²	6.62	6.68	1.76	8.43	9.04	4.15	<0.001
Iodine (%/100 kcal) ²	6.10	8.66	7.75	6.37	8.20	8.30	0.862
Selenium (%/100 kcal) ²	8.83	11.4	8.26	8.54	10.1	5.50	0.191
LA ⁷ (%/100 kcal) ²	5.26	5.98	3.13	5.85	7.48	5.47	0.017
ALA ⁸ (%/100 kcal) ²	2.12	3.01	2.10	3.22	4.10	3.38	<0.001
DHA ⁹ (%/100 kcal) ²	0.62 ⁶	13.1	29.5	0.21	1.67	3.68	<0.001
SFA ¹⁰ (g/100 g)	1.50	1.8	1.01	1.21	1.60	1.16	<0.001
Sodium (mg/100 g)	259	287	101	249	258	190	<0.001
Total sugars (g/100 g)	1.20	1.3	0.75	1.85	1.95	1.11	<0.001
Free sugars (g/100 g)	0.07	0.109	0.2	0.07	0.115	0.35	0.005

¹ Wilcoxon–Mann–Whitney test. ² Nutrient adequacy ratio of recommended intake for children aged 4–13 years attending primary school [19], expressed per 100 kcal of dish. ³ Not significantly different from 5%/100 kcal. ⁴ One-sided test: significantly higher than 5%. ⁵ All nutrient adequacy ratios significantly lower than 5%/100 kcal are shown in **bold**. ⁶ One-sided test: significantly lower than 5%. ⁷ Linoleic acid. ⁸ Alpha-linolenic acid. ⁹ Docosahexaenoic acid. ¹⁰ Saturated fatty acids.

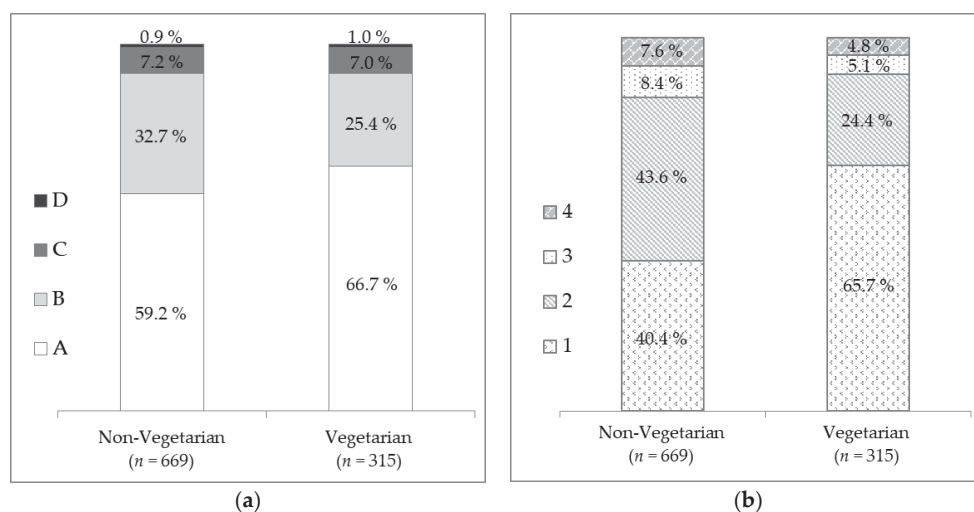


Figure 2. Nutrient profile of non-vegetarian ($n = 669$) and vegetarian ($n = 315$) main dishes according to (a) Nutri-Score classes (A, B, C and D); (b) SAIN,LIM classes (1, 2, 3 and 4).

3.3. Comparisons between the Three Sub-Categories of Vegetarian Dishes

On average, nutrient contents were “adequate” in all three sub-categories of vegetarian dishes for fibres, vitamins B1, B3, B6, B9, A and E, potassium, iron, magnesium, copper, iodine, selenium and LA (Table 2). The “VEGAN” sub-category had the lowest SFA content and the highest adequacy ratios for fibres, vitamin B3 and copper. However, vitamin B2, calcium and ALA were present at insufficient levels and vitamins B12 and D and DHA were almost absent (less than 1%/100 kcal) in the “VEGAN” sub-category. The two other sub-categories had adequate contents of calcium and vitamins B2 and B12, and higher vitamin D and DHA contents than the “VEGAN” sub-category. On average, the “EGG and/or DP (excl. CHEESE)” category had adequate levels of ALA and DHA. The “CHEESE (and/or other DP and/or EGG)” category had the highest calcium content, but contained more SFA than the other two categories.

Table 2. Energy density and other nutritional characteristics of the three sub-categories of vegetarian main dishes: CHEESE (and/or other DP and/or EGG) ($n = 129$), EGG and/or DP (excl. CHEESE) ($n = 53$) and VEGAN ($n = 133$) (Med = Median; M = Mean; SD = Standard Deviation).

	CHEESE (and/or Other DP and/or EGG) ($n = 129$)			EGG and/or DP (excl. CHEESE) ($n = 53$)			VEGAN ($n = 133$)			p^1
	Med	M	SD	Med	M	SD	Med	M	SD	
Energy density (kcal/100 g)	130 ^{a,2}	136	39.0	116 ^b	116	33.5	133 ^a	136	37.5	0.003
Carbohydrates (g/100 g)	12.3 ^a	13.9	6.81	9.86 ^b	10.	6.04	18.0 ^c	17.1	8.23	<0.001
Fats (g/100 g)	5.33 ^a	5.83	2.39	4.86 ^a	5.12	2.07	4.40 ^b	4.23	1.69	<0.001
Proteins (g/100 g)	5.87	5.89	1.86	5.39	5.27	1.67	5.08	5.56	2.08	0.148
Proteins (%/100 kcal) ³	16.9 ^a	17.6	4.39	17.9 ^a	18.5	5.52	15.3 ^b	16.7	6.33	0.008
Fibres (%/100 kcal) ³	12.3 ^a	12.9	6.38	14.6 ^a	16.3	8.03	18.4 ^b	20.7	10.3	<0.001
Vitamin B1 (%/100 kcal) ³	6.87 ^a	7.57	3.56	8.06 ^b	9.37	4.22	8.90 ^b	9.67	3.76	<0.001
Vitamin B2 (%/100 kcal) ³	5.45 ^a	6.18	3.42	7.57 ^a	8.04	5.12	3.31^{5,b}	3.80	1.91	<0.001
Vitamin B3 (%/100 kcal) ³	4.76 ^{4,a}	5.22	2.52	5.35 ^{a,b}	5.66	1.84	6.25 ^b	6.53	2.48	<0.001
Vitamin B6 (%/100 kcal) ³	6.96 ^a	7.25	3.12	8.34 ^b	9.22	4.24	8.05 ^b	8.71	3.59	<0.001
Vitamin B9 (%/100 kcal) ³	11.8 ^a	13.5	7.90	18.3 ^b	20.7	12.2	16.6 ^b	18.1	11.6	<0.001
Vitamin B12 (%/100 kcal) ³	7.76 ^a	10.0	7.77	6.67 ^a	9.85	10.2	0.71^b	1.75	2.69	<0.001
Vitamin C (%/100 kcal) ³	4.36 ⁴	5.12	3.94	6.08 ⁴	6.62	5.30	3.52 ⁴	5.45	4.81	0.238
Vitamin D (%/100 kcal) ³	1.38^a	2.11	2.21	1.97^a	3.38	3.49	0.40^b	0.53	0.63	<0.001
Vitamin E (%/100 kcal) ³	6.97 ^a	8.61	6.24	11 ^b	11.8	7.41	7.55 ^{a,b}	9.36	6.23	0.010
Vitamin A (%/100 kcal) ³	8.99 ^a	16.3	15.4	19.3 ^a	24.5	32.0	6.42 ^b	14.5	17.1	0.001
Calcium (%/100 kcal) ³	6.76 ^a	7.46	3.61	5.04 ^{4,b}	5.25	2.49	3.21^c	3.74	2.00	<0.001
Potassium (%/100 kcal) ³	4.82 ^{4,a}	5.19	2.34	6.04 ^b	6.90	3.04	5.99 ^b	6.53	2.64	<0.001
Iron (%/100 kcal) ³	7.64 ^a	8.54	4.95	11.0 ^b	11.6	5.04	10.4 ^b	11.8	5.30	<0.001
Magnesium (%/100 kcal) ³	8.26 ^a	10.2	5.80	10.4 ^b	12.2	5.69	12.8 ^b	14.3	7.43	<0.001
Zinc (%/100 kcal) ³	5.72	5.93	1.91	5.30 ⁴	5.58	1.87	4.98 ⁶	5.54	2.11	0.122
Copper (%/100 kcal) ³	6.87 ^a	7.36	3.54	7.85 ^b	9.24	4.90	10.1 ^c	10.6	3.75	<0.001
Iodine (%/100 kcal) ³	7.07 ^a	9.19	11.5	10.4 ^b	11.0	6.87	5.74 ^c	6.13	2.92	<0.001
Selenium (%/100 kcal) ³	8.55	9.82	4.82	9.54	10.7	4.83	8.08	10.2	6.34	0.454
LA (%/100 kcal) ³	4.59 ^{4,a}	6.20	5.14	9.47 ^b	9.74	5.59	6.41 ^c	7.83	5.44	<0.001
ALA (%/100 kcal) ³	2.60^a	3.33	2.38	4.44 ^{4,b}	4.45	2.24	3.21^b	4.69	4.33	0.009
DHA (%/100 kcal) ³	0.42^a	1.75	3.25	1.16 ^{4,a}	4.83	6.30	0.01^b	0.33	0.71	<0.001
SFA (g/100 g)	1.94 ^a	2.35	1.37	1.23 ^b	1.37	0.59	0.92 ^c	0.87	0.44	<0.001
Sodium (mg/100 g)	249	275	268	251	254	85.0	248	244	98.3	0.394
Total sugars (g/100 g)	1.93	1.96	1.20	1.98	2.06	1.03	1.74	1.91	1.06	0.526
Free sugars (g/100 g)	0.05	0.12	0.43	0.07	0.15	0.39	0.04	0.10	0.21	0.274

¹ Wilcoxon–Mann–Whitney test. ² Same index letters (e.g. a and a) indicates that there is no significant difference between the two sub-categories and different index letters (e.g. a and b) indicate that the difference is statistically significant between the two sub-categories (Dunn’s test with Bonferroni correction). ³ Nutrient adequacy ratio of recommended intake for children aged 4–13 years attending primary school [19], expressed per 100 kcal of dish. ⁴ Not significantly different from 5%/100 kcal. ⁵ All nutrient adequacy ratios significantly lower than 5%/100 kcal are shown in **bold**. ⁶ One-sided test: significantly higher than 5%.

With the Nutri-Score, “VEGAN” dishes were more often classified in class A than “EGG and/or DP (excl. CHEESE)” dishes (86.5% vs. 64.2%, $p = 0.001$) and than “CHEESE (and/or other DP and/or EGG)” dishes (86.5% vs. 47.3%, $p < 0.001$). The difference between the “EGG and/or DP (excl. CHEESE)” category and the “CHEESE (and/or other DP and/or EGG)” category did not reach significance ($p = 0.057$) (Figure 3). With the SAINLIM, “VEGAN” dishes were more often classified in class 1 than “CHEESE (and/or other DP and/or EGG)” dishes (70.7% vs. 55.8%, $p = 0.018$), but the

proportion of dishes in class 1 was not significantly different between the “VEGAN” and the “EGG and/or DP (excl. CHEESE)” sub-categories (70.7% vs. 77.4%, $p = 0.459$).

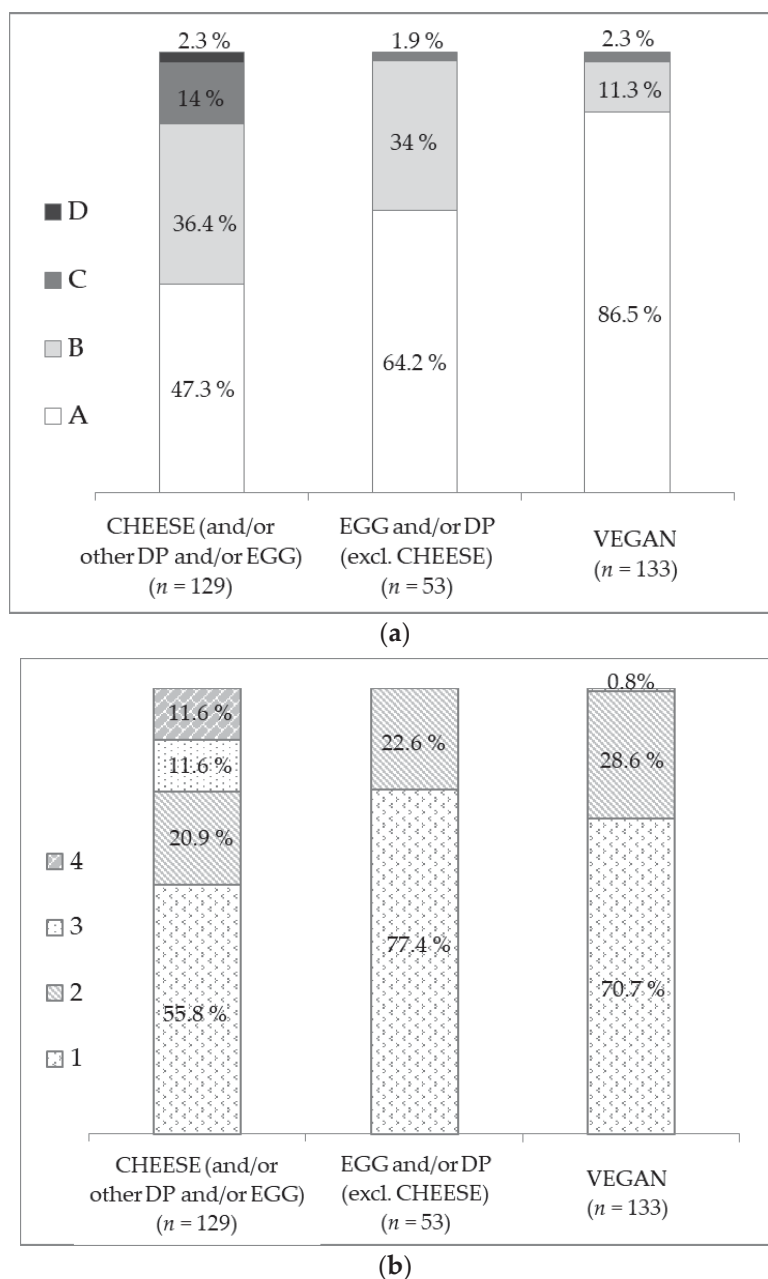


Figure 3. Nutrient profile of the three sub-categories of vegetarian main dishes: “CHEESE (and/or other DP and/or EGG)” ($n = 129$), “EGG and/or DP (excl. CHEESE)” ($n = 53$) and “VEGAN” ($n = 133$), according to (a) Nutri-Score classes (A, B, C and D); (b) SAIN,LIM classes (1, 2, 3 and 4).

4. Discussion

Vegetarian and non-vegetarian main dishes served to children in primary schools in France generally showed good SAIN,LIM and Nutri-Score profiles on average, despite low omega-3 fatty acids and vitamin D levels. Among the vegetarian dishes, the vegan dishes (i.e., without any ingredients of animal origin) had the lowest SFA and the highest fibre contents of the three sub-categories, and they displayed good Nutri-Score and SAIN,LIM profiles, but this was hiding inadequate levels of vitamins B2 and B12 and calcium as well as the lack of vitamin D and DHA. Vegetarian dishes containing eggs and/or dairy products other than cheese showed a good nutritional compromise between vegan dishes

and cheese-containing vegetarian dishes because they provided the “protective” nutrients associated with eggs and fresh dairy products (calcium, vitamins B2, B12 and D) without cheese-associated SFA.

To the best of our knowledge, this was the first time that the nutritional quality of vegetarian dishes in schools has been assessed for a wide spectrum of dishes. A Belgian study [27] compared five meat components of conventional main courses and five vegetarian components of main courses served for “Thursday Veggie Day” in primary schools in Belgium, and it only focused on macronutrients and fibres. In accordance with our results, it found that meat components were lower in fibres than vegetarian components and that a specific vegetarian component containing cheese sauce was too high in SFA.

The agreement between the SAIN,LIM and Nutri-Score was low ($\kappa = 0.45$) and only 60.9% of the dishes were similarly classified with both systems (Appendix B). In particular, among the vegetarian sub-categories, the vegan sub-category was the best according to the Nutri-Score system, but not according to the SAIN,LIM system (which similarly classified dishes from the two sub-categories of vegetarian dishes without cheese). In addition, neither the Nutri-Score nor the SAIN,LIM were able to detect the nutritional defects of the vegan dishes. The inadequate contents in vitamins B2, B12 and D, calcium and DHA in vegan dishes were not captured by the nutrient profiling assessments. Therefore, although it is claimed that nutrient profiling systems are helpful to assess the nutritional quality of foods at first sight, summarising nutritional information in a single score or grade can lead to misinterpretations [28]. For example, in a study conducted on Dutch products, the Nutri-Score system failed to properly classify all ready meals, more than half of them being classified in class A or B even when they contained high values of salt [29]. The present study suggests that the SAIN,LIM and the Nutri-Score are insufficiently informative to be used alone as reliable criteria for choosing school food supplies or establishing school dietary guidelines.

The protein contents were well above the 5%/100 kcal threshold for the three sub-categories of vegetarian dishes. In fact, protein deficiency is almost impossible with regard to children at primary school, even with vegetarian or vegan dishes, since the protein recommendation for children is relatively low compared to their energy needs [30]. The level of amino acids has not been estimated, but given that protein content is high, it can be assumed that amino acid requirements are easily met by vegetarian dishes, despite a less optimal distribution profile of amino acids in plant-based foods [30]. Iron was present at an “adequate” level in vegetarian dishes, but with a necessarily lower content of haem iron (only present in animal-based foods, better absorbed and better available than non-haem iron) and, a higher content of non-haem iron than in non-vegetarian dishes. However, assuming that the respective absorptions of iron and zinc from vegetarian dishes are only 5% and 15%, respectively (instead of 10% and 30% in an omnivorous diet, the respective assumption percentages used to define iron and zinc recommendations [31]), this would double the biological requirements for iron and zinc and, therefore, halve the percentage coverage in 100 kcal. In this respect, it should be noted that the bioavailability of iron (especially non-haem iron) and zinc is altered by the presence of phytates, which are present in certain fibre-rich plants such as whole grains and pulses [31,32]. The very high level of fibres in vegan dishes should therefore be given special attention. In children, an excessive intake of fibres may reduce energy intake and cause nutrient deficiencies [33].

There are essential nutrients that are critical to children’s health but that are not included in the computation of the nutrient profiling systems. Vitamin D and DHA levels were low in all sub-categories of vegetarian dishes and almost absent in vegan dishes, because these two soluble nutrients are mostly provided by fatty fish and, to a lesser extent, by eggs. This must remain a point of vigilance, given that the French diet is already deficient in these two nutrients [34]. Moreover, the calcium level was below 5% in vegan dishes but the highest (i.e., 6.8%) in vegetarian dishes containing cheese. Dairy products are important contributors of calcium, iodine and vitamins D and B12 for French children aged 1 to 10 years [34], however, between 2010 and 2016, the proportion of French children aged 6 to 10 years meeting the calcium recommendation decreased from 67% to 55% [35]. It is therefore important that school meals provide sufficient amounts of calcium.

In 2016, a position paper of the American Dietetic Association (ADA) stated that “appropriately planned vegetarian diets, including vegan diets, are healthful, nutritionally adequate, and may provide health benefits in the prevention and treatment of certain diseases. These diets are appropriate for all stages of the life cycle, including [. . .] childhood” [36]. However, at the same time, the paper acknowledged that for several key nutrients, such as DHA, vitamin D, vitamin B12, calcium, zinc, iron and iodine, meeting the requirements may be challenging with exclusively plant-based diets, and that recourse to fortified foods and supplementation may prove useful, if not necessary. Nonetheless, potential associations between serious risks in terms of brain and body development in children and vegetarian diets were not discussed by the ADA [37]. In Europe, the German Society for Pediatric and Adolescent Medicine does not encourage vegetarian diets in childhood without paediatric supervision and nutrient supplementation [38]. In France and Belgium, medical societies are more radical with regard to vegan diets [39,40], arguing that they would expose children to severe nutritional deficiencies at a key period of their development [39]. Vegetarian diets in adults are associated with protective effects, such as a reduction in the total cancer incidence and the incidence and/or mortality of ischemic heart disease [41], but existing studies do not provide conclusive evidence to decisively declare that “appropriately planned” vegetarian diets are as healthy as “appropriately planned” omnivorous diets [37,42,43].

Environmental and health aspects of food are strongly linked [44]. In French primary schools, main dishes were found to account for 60% of total meal waste, while being the greatest contributors to the cost and environmental impact of the meal [45]. Therefore, the replacement of main dishes (and more particularly the protein dish containing fish or meat) appears to be a favourable option to improve the sustainability of school lunches. Studies showed that it is possible to decrease the carbon [46–50] and water [47] impacts of school meals while maintaining their nutritional adequacy by combining all categories of food including meat and fish, showing that diversified and omnivorous meals have a full place in sustainable school lunches. However, more work is needed to determine the optimal frequency of vegetarian dishes and non-vegetarian dishes in school catering. Furthermore, the multicriteria optimisation of existing dishes to simultaneously improve their nutritional content and their environmental impact under cost constraints is a promising approach to developing more sustainable school meals [50].

One strength of this study is its use of a unique database of a considerable number of main dishes usually served in primary schools [19], completed with recent vegetarian dishes specifically collected for this study. Except for a few industrial dishes, recipes were based on specific information, and not on standard recipes or generic products. There are limitations to this work, which provide a roadmap for future work. First of all, the database of main dishes used for this study cannot claim to be representative of all dishes served by school caterers in France. The database is not homogeneous since technical files of non-vegetarian and most of the vegetarian dishes were obtained in 2015 and 2019, respectively. Nevertheless, both sets of technical files were collected and analysed following the same methodology. In addition, they reflect current practices, as they were provided by the major stakeholders in the sector. Another limitation is that the average side dishes constituted more than half of most of the main dishes studied and were only divided into two types: “starches” or “vegetables”. Moreover, main dishes could be industrially produced or not. Binary logistic regressions with adjustment for the type of side dish and the production method (industrial or not) were performed. They confirmed that the probabilities of classification in Nutri-Score class A or SAIN,LIM class 1 were significantly higher for vegetarian dishes than for non-vegetarian dishes (Supplementary Tables S1 and S2). Similarly, the differences between the three sub-categories of vegetarian dishes (Supplementary Tables S3 and S4) were still significant with adjustments. Dishes served with a “vegetables” average side dish were more likely to be classified in class A and class 1 than those served with a “starches” average side dish. In terms of practical implications, this indicates that it would be necessary to improve the overall nutritional quality of “starches” side dishes, perhaps using refined cereals less often, and whole grains and legumes more often, but this requires specific exploration that could not be carried out within

the framework of this study. The bioavailability of nutrients was not considered in the nutritional assessment. To properly consider the bioavailability of nutrients, it would be more relevant to assess each dish as part of an entire meal, and more broadly as part of a series of meals.

5. Conclusions

The overall nutritional quality of the main dishes offered in primary schools in France, whether vegetarian or not, was generally good based on the nutrient profiling system assessment. However, in all categories and sub-categories of main dishes, omega-3 fatty acids and vitamin D were present in inadequate amounts on average, especially in the vegan sub-category. Main dishes from the cheese-containing vegetarian sub-category were too high in SFA and more often classified in the least favourable Nutri-Score and SAIN,LIM classes than main dishes from the two other vegetarian sub-categories. Neither the Nutri-Score, nor the SAIN,LIM systems were able to detect the insufficient amounts of calcium, vitamin B2 and ALA, and the lack of vitamin B12, vitamin D and DHA in the sub-category of vegan dishes.

The present study demonstrates that nutrient profiling systems algorithms were not sufficient to determine the nutritional adequacy of school dishes, since they did not cover all “protective” nutrients. It is therefore advisable to maintain a critical approach towards these algorithms with the aim to ensure adequate nutrition for children.

Supplementary Materials: The following are available online at <http://www.mdpi.com/2072-6643/12/8/2256/s1>, Table S1: Proportion of dishes in Nutri-Score class A and Nutri-Score classes B, C, D and probability of classification in class A according to the type of side dish, production method and category of main dish, Table S2: Proportion of dishes in SAIN,LIM class 1 and SAIN,LIM classes 2, 3, 4 and probability of classification in class 1 according to the type of side dish, production method and category of main dish, Table S3: Proportion of dishes in Nutri-Score class A and Nutri-Score classes B, C, D and probability of classification in class A according to the type of side dish, production method and sub-category of vegetarian dish, Table S4: Proportion of dishes in SAIN,LIM class 1 and SAIN,LIM classes 2, 3, 4 and probability of classification in class 1 according to the type of side dish, production method and sub-category of vegetarian dish.

Author Contributions: Conceptualisation and methodology, N.D., F.V., R.P., C.D., M.P. and C.M.; formal analysis, R.P.; resources, C.D. and N.D.; data curation, R.P.; writing—original draft preparation, R.P.; writing—review and editing, N.D., F.V., R.P., C.D., M.P. and C.M.; visualisation, R.P.; supervision, N.D. and F.V.; funding acquisition, N.D., F.V. and R.P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the CO3 (“CO-Construction des Connaissances pour la transition écologique et solidaire” (“Co-Creation of Knowledge for the Transition towards Ecology and Solidarity”)) participatory research support scheme of ADEME, the Fondation de France, Agropolis Fondation, the Daniel & Nina Carasso Foundation and the Charles Léopold Mayer Foundation-FPH as part of the EnScol network.

Acknowledgments: We thank Narjess Dridi (internship student) for data entry. We thank the members of the EnScol network, namely Carole Galissant (Sodexo, France), Marie-Line Huc (CENA and AFDN, France), Brice Lacombe (ADHEN and Restau’Co, France), Luc Lignon (Mairie de Montpellier, France) and Delphine Le Gonidec (Mairie de Montpellier, France) for data collection, as well as other members, namely, Lugdivine Cocchiello (Aix Marseille Provence Metropole, France), Constance De Alexandris (Ecoceaty, France), Sandrine Monnery-Patris (INRA, France), Sophie Nicklaus (INRA, France), Angélique Rodhain (Montpellier Research in Management, France) and Maxime Sebbane (Institut Paul Bocuse Research Center, France) for valuable advice and feedback.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the study design, data collection and analysis, decision to publish or preparation of the manuscript.

Appendix A

Table A1. Recommended daily intakes of “protective” nutrients (proteins, fibres, essential fatty acids, vitamins and minerals) for French children of primary school age.

	Recommended Daily Intake [19]
Proteins	25 g
Fibres	13 g
Vitamin B1	0.8 mg
Vitamin B2	1.2 mg
Vitamin B3	9 mg
Vitamin B6	1 mg
Vitamin B9	201 µg
Vitamin B12	1.4 µg
Vitamin C	89 mg
Vitamin D	5 µg
Vitamin E	9.1 mg
Vitamin A	501 µg
Calcium	924 mg
Potassium	2892 mg
Iron	8.2 mg
Magnesium	203 mg
Zinc	9.2 mg
Copper	1.2 mg
Iodine	120 µg
Selenium	39 µg
LA	8.9 g
ALA	2.2 g
DHA	152 mg

Appendix B. Choice of Nutrient Profiling Systems to Assess the Nutritional Quality of Main Dishes: Nutri-Score and SAIN,LIM

None of the main dishes belonged to Nutri-Score class E, so dishes were divided into four classes regardless of the nutrient profiling system considered. Non-vegetarian and vegetarian dishes were plotted on the SAIN,LIM plane and marked with four different colours according to their Nutri-Score class on Figure A1. Equating class A to class 1, class B to class 2, class C to class 3 and class D to class 4, the majority (60.9%) of main dishes were similarly classified according to Nutri-Score and SAIN,LIM. However, 35.3% of dishes had a difference of one class, 3.9% had a difference of two classes and none had a difference of three classes. Cohen’s kappa test showed significant agreement between Nutri-Score and SAIN,LIM, but of low magnitude ($\kappa = 0.45$, $p < 0.001$). Furthermore, total Nutri-Score was highly correlated with LIM ($r_s = 0.69$, $p < 0.001$) and less correlated with SAIN ($r_s = -0.58$, $p < 0.001$). These figures corroborate the results ($\kappa = 0.45$, $r_s = 0.78$ for LIM and $r_s = -0.42$ for SAIN) obtained in a previous study comparing SAIN,LIM and 5-C (former name of the Nutri-Score, of which the algorithm has since been slightly modified) nutrient profiling systems [51].

The SAIN,LIM system can be represented graphically (LIM on the x -axis and SAIN on the y -axis), thus allowing the display of the nutritional positions of the products:

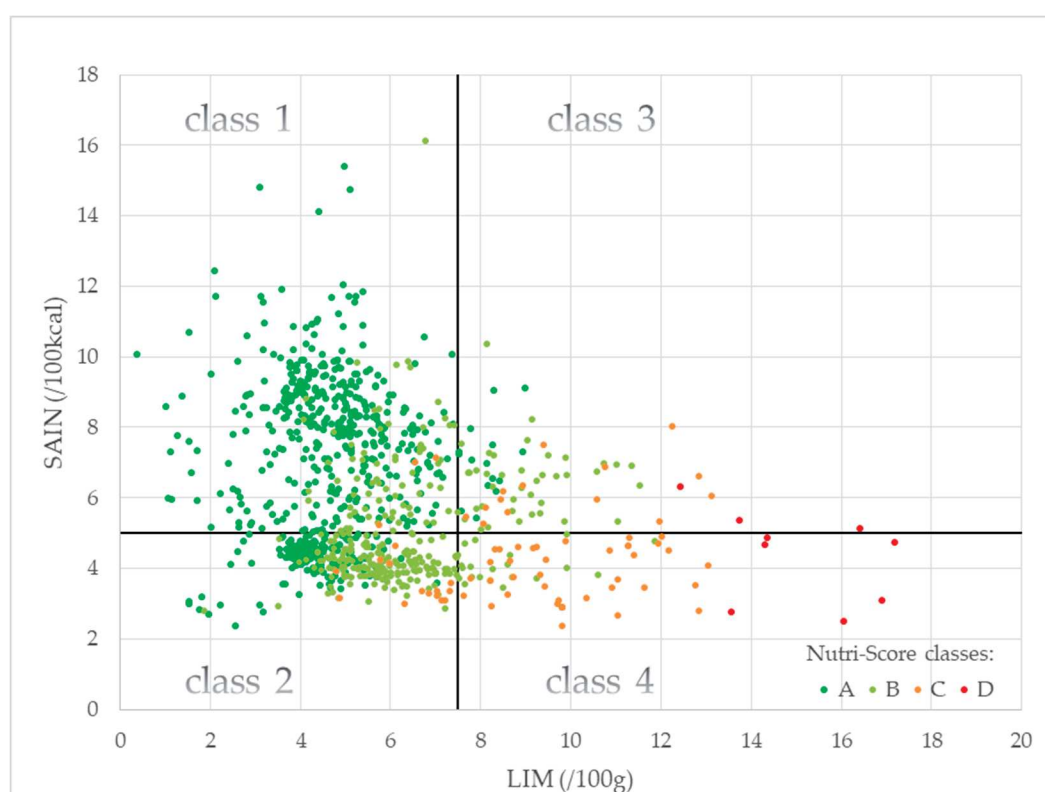


Figure A1. Projection of non-vegetarian and vegetarian main dishes ($n = 984$) on the SAIN,LIM plane, represented with the colours of their class according to the Nutri-Score.

References

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Nutrition-Sensitive Agriculture and Food Systems in Practice: Options for Intervention*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2017.
2. République Française Décret n° 2011-1227 du 30 septembre 2011 relatif à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire. Available online: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2011/9/30/AGRG1032342D/jo/texte> (accessed on 14 February 2019).
3. République Française Arrêté du 30 septembre 2011 relatif à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire. Available online: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2011/9/30/AGRG1032380A/jo/texte> (accessed on 14 February 2019).
4. République Française Loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous. Available online: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2018/10/30/AGRX1736303L/jo/texte> (accessed on 22 January 2020).
5. Gibson, R.S. The role of diet- and host-related factors in nutrient bioavailability and thus in nutrient-based dietary requirement estimates. *Food Nutr. Bull.* **2007**, *28*, S77–S100. [CrossRef] [PubMed]
6. World Cancer Research Fund, American Institute for Cancer Research. *Continuous Update Project Expert Report 2018. Recommendations and public health and policy implications*; World Cancer Research Fund International: London, UK, 2018.
7. Johnston, B.C.; Zeraatkar, D.; Han, M.A.; Vernooij, R.W.M.; Valli, C.; El Dib, R.; Marshall, C.; Stover, P.J.; Fairweather-Tait, S.; Wójcik, G.; et al. Unprocessed red meat and processed meat consumption: Dietary guideline recommendations from the nutritional recommendations (NUTRIRECS) consortium. *Ann. Intern. Med.* **2019**, *171*, 756–764. [CrossRef] [PubMed]
8. Boutron-Ruault, M.C.; Mesrine, S.; Pierre, F. *Meat Consumption and Health Outcomes. Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2017; pp. 197–214.
9. Sirot, V.; Leblanc, J.C.; Margaritis, I. A risk-benefit analysis approach to seafood intake to determine optimal consumption. *Br. J. Nutr.* **2012**, *107*, 1812–1822. [CrossRef] [PubMed]

10. Ahnen, R.T.; Jonnalagadda, S.S.; Slavin, J.L. Role of plant protein in nutrition, wellness, and health. *Nutr. Rev.* **2019**, *77*, 735–747. [CrossRef]
11. Salomé, M.; de Gavelle, E.; Dufour, A.; Dubuisson, C.; Volatier, J.-L.; Fouillet, H.; Huneau, J.-F.; Mariotti, F. Plant-Protein Diversity Is Critical to Ensuring the Nutritional Adequacy of Diets When Replacing Animal With Plant Protein: Observed and Modeled Diets of French Adults (INCA3). *J. Nutr.* **2019**, *150*, 536–545. [CrossRef] [PubMed]
12. Magkos, F.; Tetens, I.; Bügel, S.G.; Felby, C.; Schacht, S.R.; Hill, J.O.; Ravussin, E.; Astrup, A. A Perspective on the Transition to Plant-Based Diets: A Diet Change May Attenuate Climate Change, but Can It Also Attenuate Obesity and Chronic Disease Risk? *Adv. Nutr.* **2019**, *11*, 1–9. [CrossRef]
13. Perignon, M.; Vieux, F.; Soler, L.-G.; Masset, G.; Darmon, N. Improving diet sustainability through evolution of food choices: Review of epidemiological studies on the environmental impact of diets. *Nutr. Rev.* **2017**, *75*, 2–17. [CrossRef]
14. World Health Organization (WHO). *Nutrient Profiling*; World Health Organization (WHO): London, UK, 2011.
15. Labonté, M.E.; Poon, T.; Gladanac, B.; Ahmed, M.; Franco-Arellano, B.; Rayner, M.; L'Abbé, M.R. Nutrient profile models with applications in government-led nutrition policies aimed at health promotion and noncommunicable disease prevention: A systematic review. *Adv. Nutr.* **2018**, *9*, 741–788. [CrossRef]
16. Julia, C.; Hercberg, S. Development of a new front-of-pack nutrition label in France: The five-colour Nutri-Score. *Public Health Panor.* **2017**, *3*, 712–725.
17. Darmon, N.; Vieux, F.; Mailliot, M.; Volatier, J.-L.; Martin, A. Nutrient profiles discriminate between foods according to their contribution to nutritionally adequate diets: A validation study using linear programming and the SAIN, LIM system. *Am. J. Clin. Nutr.* **2009**, *89*, 1227–1236. [CrossRef]
18. McColl, K.; Lobstein, T. *Nutrient Profiling: Changing the Food of Britain*; Coronary Prevention Group and World Obesity Federation: London, UK, 2015.
19. Vieux, F.; Dubois, C.; Duchêne, C.; Darmon, N. Nutritional Quality of School Meals in France: Impact of Guidelines and the Role of Protein Dishes. *Nutrients* **2018**, *10*, 205. [CrossRef]
20. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety. ANSES-CIQUAL French Food Composition Table for Nutritional Intakes Calculation CALNUT. Available online: <https://ciqual.anses.fr/> (accessed on 10 April 2020).
21. Arnault, N.; Caillot, L.; Castetbon, K.; Coronel, S.; Deschamps, V.; Fezeu, L.; Figuet, M.; Galan, P.; Guénard-Charpentier, F.; Hercberg, S. *Table de Composition des Aliments Nutrinet-Santé*; Economica: Paris, France, 2013.
22. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety. ANSES-CIQUAL French Food Composition Table. Available online: <https://ciqual.anses.fr/> (accessed on 12 February 2018).
23. World Health Organization (WHO). *WHO Guideline: Sugars Intake for Adults and Children*; World Health Organization (WHO): Geneva, Switzerland, 2015.
24. Deschasaux, M.; Huybrechts, I.; Murphy, N.; Julia, C.; Hercberg, S.; Srouf, B.; Kesse-Guyot, E.; Latino-Martel, P.; Biessy, C.; Casagrande, C.; et al. Nutritional quality of food as represented by the FSAm-NPS nutrient profiling system underlying the Nutri-Score label and cancer risk in Europe: Results from the EPIC prospective cohort study. *PLoS Med.* **2018**, *15*. [CrossRef] [PubMed]
25. Santé Public France Reglement d'usage du logo «Nutri-Score». Available online: <https://www.santepubliquefrance.fr/media/files/02-determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/nutri-score/reglement-usage> (accessed on 13 January 2020).
26. Bordmann, M.; Huc, M. Plats protidiques végétariens: Quelle qualité nutritionnelle dans l'assiette des convives de la restauration collective? Analyse de la valeur nutritionnelle des produits proposés. *Inf. Diététique* **2019**, *2*, 32–40.
27. De Keyser, W.; Van Caneghem, S.; Heath, A.L.M.; Vanaelst, B.; Verschraegen, M.; De Henauw, S.; Huybrechts, I. Nutritional quality and acceptability of a weekly vegetarian lunch in primary-school canteens in Ghent, Belgium: “Thursday Veggie Day”. *Public Health Nutr.* **2012**, *15*, 2326–2330. [CrossRef]
28. Van Kleef, E.; Dagevos, H. The Growing Role of Front-of-Pack Nutrition Profile Labeling: A Consumer Perspective on Key Issues and Controversies. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2015**, *55*, 291–303. [CrossRef] [PubMed]

29. Van Tongeren, C.; Jansen, L. Adjustments Needed for the Use of Nutri-Score in the Netherlands: Lack of Selectivity and Conformity with Dutch Dietary Guidelines in Four Product Groups. *Int. J. Nutr. Food Sci.* **2020**, *9*, 33–42. [CrossRef]
30. Mariotti, F.; Gardner, C.D. Dietary protein and amino acids in vegetarian diets—A review. *Nutrients* **2019**, *11*, 2661. [CrossRef]
31. World Health Organization (WHO); Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Vitamin and Mineral Requirements in Human Nutrition*; World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations: Geneva, Switzerland, 2004.
32. Hallberg, L.; Brune, M.; Rossander, L. Iron absorption in man: Ascorbic acid and dose-dependent inhibition by phytate. *Am. J. Clin. Nutr.* **1989**, *49*, 140–144. [CrossRef]
33. Aggett, P.J.; Agostoni, C.; Axelsson, I.; Edwards, C.A.; Goulet, O.; Hernell, O.; Koletzko, B.; Lafeber, H.N.; Micheli, J.L.; Michaelsen, K.F.; et al. Nondigestible carbohydrates in the diets of infants and young children: A commentary by the ESPGHAN committee on nutrition. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* **2003**, *36*, 329–337. [CrossRef]
34. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety Third Individual and National Survey on Food Consumption (INCA3 survey). Available online: <https://www.anses.fr/en/content/opinion-anses-third-individual-and-national-survey-food-consumption-inca3-survey> (accessed on 10 April 2020).
35. Tavoularis, G. Calcium: Entre 6 et 10 ans, près d'un enfant sur deux est en dessous des recommandations. In *Crédoc: Consommation et Modes de Vie*; Crédoc: Paris, France, 2019; Volume 304, pp. 1–4.
36. Melina, V.; Craig, W.; Levin, S. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *J. Acad. Nutr. Diet.* **2016**, *116*, 1970–1980. [CrossRef]
37. Cofnas, N. Is vegetarianism healthy for children? *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2019**, *59*, 2052–2060. [CrossRef]
38. Rudloff, S.; Bühner, C.; Jochum, F.; Kauth, T.; Kersting, M.; Körner, A.; Koletzko, B.; Mihatsch, W.; Prell, C.; Reinehr, T.; et al. Vegetarian diets in childhood and adolescence: Statement of the Nutrition Committee of the German Society for Pediatric and Adolescent Medicine (DGKJ). *Mon. Kinderheilkd* **2018**, *166*, 999–1005. [CrossRef]
39. Lemale, J.; Mas, E.; Jung, C.; Bellaiche, M.; Tounian, P. Vegan diet in children and adolescents. Recommendations from the French-speaking Pediatric Hepatology, Gastroenterology and Nutrition Group (GFHGPN). *Arch. Pédiatrie* **2019**, *26*, 442–450. [CrossRef]
40. Royal Academy of Medicine of Belgium Clarification on the vegetarian diet for children, pregnant and breastfeeding women. Available online: http://www.armb.be/index.php?eID=tx_nawsecured1&u=0&g=0&hash=3784cc718af628ab5de26a36de409a5ab3281506&file=fileadmin/sites/armb/upload/armb_super_editor/armb_editor/pdf/Avis/2019/Mise_au_point_version_anglaise_.pdf (accessed on 6 June 2019).
41. Dinu, M.; Abbate, R.; Gensini, G.F.; Casini, A.; Sofi, F. Vegetarian, vegan diets and multiple health outcomes: A systematic review with meta-analysis of observational studies. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2017**, *57*, 3640–3649. [CrossRef] [PubMed]
42. Schürmann, S.; Kersting, M.; Alexy, U. Vegetarian diets in children: A systematic review. *Eur. J. Nutr.* **2017**, *56*, 1797–1817. [CrossRef] [PubMed]
43. Parker, H.W.; Vadiveloo, M.K. Diet quality of vegetarian diets compared with nonvegetarian diets: A systematic review. *Nutr. Rev.* **2019**, *77*, 144–160. [CrossRef]
44. Clark, M.A.; Springmann, M.; Hill, J.; Tilman, D. Multiple health and environmental impacts of foods. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2019**, *116*, 23357–23362. [CrossRef]
45. Gouthière, L. Bilan de l'opération: 100 écoles et collèges contre le gaspillage alimentaire (2018). Available online: <https://www.ademe.fr/bilan-loperation-100-ecoles-colleges-contre-gaspillage-alimentaire> (accessed on 14 February 2019).
46. Colombo, P.E.; Patterson, E.; Elinder, L.S.; Lindroos, A.K.; Sonesson, U.; Darmon, N.; Parlesak, A. Optimizing School Food Supply: Integrating Environmental, Health, Economic, and Cultural Dimensions of Diet Sustainability with Linear Programming. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2019**, *16*, 3019. [CrossRef]
47. Benvenuti, L.; De Santis, A.; Santesarti, F.; Tocca, L. An optimal plan for food consumption with minimal environmental impact: The case of school lunch menus. *J. Clean. Prod.* **2016**, *129*, 704–713. [CrossRef]
48. Ribal, J.; Fenollosa, M.L.; García-Segovia, P.; Clemente, G.; Escobar, N.; Sanjuán, N. Designing healthy, climate friendly and affordable school lunches. *Int. J. Life Cycle Assess.* **2016**, *21*, 631–645. [CrossRef]

49. Wickramasinghe, K.; Rayner, M.; Goldacre, M.; Townsend, N.; Scarborough, P. Contribution of healthy and unhealthy primary school meals to greenhouse gas emissions in England: Linking nutritional data and greenhouse gas emission data of diets. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2016**, *70*, 1162–1167. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
50. Gazan, R.; Brouzes, C.M.C.; Vieux, F.; Maillot, M.; Lluch, A.; Darmon, N. Mathematical optimization to explore tomorrow's sustainable diets: A narrative review. *Adv. Nutr.* **2018**, *9*, 602–616. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
51. Tharrey, M.; Houeto, A.; Dubois, C.; Vieux, F.; Maillot, M.; Darmon, N. Comparaison de la classification de recettes par trois systèmes de profilage nutritionnel: SAIN, LIM, SENS et 5-C. *Cah. Nutr. Diet.* **2017**, *52*, 269–277. [[CrossRef](#)]



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

3.1.4 Informations complémentaires à la Contribution 2

Binary logistic regression models were used to assess the probability of classification in Nutri-Score class A or SAIN,LIM class 1 according to the category of main dish (Tables S1 and S2), and according to the sub-category of vegetarian dish (Tables S3 and S4), with adjustments for production method (industrial or not) and side dish ("vegetables", "starches" or "none" for complete dishes).

Table S1. Proportion of dishes in Nutri-Score class A and Nutri-Score classes B, C, D and probability of classification in class A according to the type of side dish, production method and category of main dish

Modality	Class A	Classes B, C, D	Odds-ratio ¹	p-value
Non-vegetarian (ref.)	59.2% (n=396)	40.8% (n=273)		
Vegetarian	66.7% (n=210)	34.3% (n=108)	1.77	0.002
Side dish: starches (ref.)	47.4% (n=186)	52.6% (n=206)		
Side dish: vegetables	78.0% (n=301)	22.0% (n=85)	3.82	<0.001
Side dish: none	57.8% (n=119)	42.2% (n=87)	1.08	0.688
Non-industrial (ref.)	62.5% (n=455)	37.5% (n=273)		
Industrial	59.0% (n=151)	41.0% (n=105)	0.61	0.006

¹Binary logistic regression model for being classified in class A with three predictors variables: type of side dish, production method and category of main dish.

Table S2. Proportion of dishes in SAIN,LIM class 1 and SAIN,LIM classes 2, 3, 4 and probability of classification in class 1 according to the type of side dish, production method (industrial or not) and category of main dish

Modality	Class 1	Classes 2, 3, 4	Odds-ratio ¹	p-value
Non-vegetarian (ref.)	40.4% (n=270)	59.6% (n=399)		
Vegetarian	65.7% (n=207)	34.3% (n=108)	3.43	<0.001
Side dish: starches (ref.)	9.4% (n=37)	90.6% (n=355)		
Side dish: vegetables	82.9% (n=320)	17.1% (n=66)	50.0	<0.001
Side dish: none	58.3% (n=120)	41.7% (n=86)	8.48	<0.001
Non-industrial (ref.)	47.1% (n=343)	52.9% (n=385)		
Industrial	52.3% (n=134)	47.7% (n=122)	0.95	0.823

¹Binary logistic regression model for being classified in class 1 with three predictors variables: type of side dish, production method and category of main dish.

Table S3. Proportion of dishes in Nutri-Score class A and Nutri-Score classes B, C, D and probability of classification in class A according to the type of side dish, production method and sub-category of vegetarian dish.

Modality	Class A	Classes B, C, D	Odds-ratio ¹	p-value
VEGAN (ref.)	86.5% (n=115)	13.5% (n=18)		
EGG and/or DP (excl. CHEESE)	64.2% (n=34)	35.8% (n=19)	0.19	<0.001
CHEESE (and/or other DP and/or EGG)	47.3% (n=61)	52.7% (n=68)	0.09	<0.001
Side dish: starches (ref.)	50.7% (n=37)	49.3% (n=36)		
Side dish: vegetables	77.1% (n=84)	22.9% (n=25)	7.05	<0.001
Side dish: none	66.9% (n=89)	33.1% (n=44)	5.27	<0.001
Non-industrial (ref.)	62.5% (n=100)	37.5% (n=60)		
Industrial	71.0% (n=110)	29.0% (n=45)	1.17	0.694

¹Binary logistic regression model for being classified in class A with three predictors variables: type of side dish, production method and sub-category of vegetarian dish.

Table S4. Proportion of dishes in SAIN,LIM class 1 and SAIN,LIM classes 2, 3, 4 and probability of classification in class 1 according to the type of side dish, production method and sub-category of vegetarian dish.

Modality	Class 1	Classes 2, 3, 4	Odds-ratio ¹	p-value
VEGAN (ref.)	70.7% (n=94)	29.3% (n=39)		
EGG and/or DP (excl. CHEESE)	77.4%(n=41)	22.6% (n=12)	1.04	0.926
CHEESE (and/or other DP and/or EGG)	55.8% (n=72)	44.2% (n=57)	0.29	<0.001
Side dish: starches (ref.)	30.1% (n=22)	69.9% (n=51)		
Side dish: vegetables	89.0% (n=97)	11.0% (n=12)	26.4	<0.001
Side dish: none	66.2% (n=88)	33.8%(n=45)	7.28	<0.001
Non-industrial (ref.)	68.1% (n=109)	31.9% (n=51)		
Industrial	63.2% (n=98)	36.8% (n=57)	1.06	0.899

¹Binary logistic regression model for being classified in class 1 with three predictors variables: type of side dish, production method and sub-category of vegetarian dish.

3.2 Contribution 3 : Améliorer la durabilité des repas scolaires : recherche d'un compromis entre la réduction du nombre de plats par repas, le respect des règles de fréquence de service des plats, l'augmentation du nombre de repas végétariens et la suppression de la viande de ruminants

3.2.1 Résumé

L'évolution des choix alimentaires vers moins de produits d'origine animale peut contribuer à atténuer les changements climatiques et à rester dans les limites environnementales (Willett et al., 2019). Les régimes alimentaires durables sont définis comme "des régimes à faible impact environnemental [...], culturellement acceptables, accessibles, économiquement équitables et abordables, nutritionnellement adéquats, sûrs et sains" (Burlingame & Dernini, 2012). Il peut s'avérer difficile de trouver le meilleur compromis entre la nutrition et l'environnement, car ces deux dimensions ne sont pas nécessairement compatibles (Payne et al., 2016; Vieux et al., 2013b). Les recommandations nutritionnelles en restauration scolaire offrent la possibilité d'instaurer des comportements alimentaires plus durables chez les enfants, et ces changements sont susceptibles d'être maintenus à l'âge adulte (Nicklaus & Remy, 2013). Depuis 2011, les repas scolaires français doivent respecter des recommandations nutritionnelles obligatoires concernant le nombre de composantes d'un repas et le type de plats servis (quinze Règles Fréquentielles (15 RF)) (Ministère de l'agriculture de l'alimentation de la pêche de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 2011a) sur vingt repas. Parmi ces règles, deux portent sur la viande ou le poisson : l'une impose le service d'au moins quatre plats de poissons ayant un rapport protéines/lipides supérieur à 2, et l'autre le service d'au moins quatre plats de viandes non hachées de boucherie, c'est-à-dire de viande de ruminants (bœuf, veau, agneau et abats de boucherie). En 2019, le service d'au moins un repas végétarien par semaine est devenu obligatoire en France (République Française, 2018). À la suite de cette loi, le Conseil National de la Restauration Collective (CNRC) a publié un guide recommandant cinq règles de fréquence de services ciblant les plats végétariens (5RF).

L'impact du suivi de ces réglementations, sur la durabilité des repas servis n'a cependant pas été quantifié. De plus, d'autres leviers d'actions peuvent être envisagés. Ainsi, compte tenu de la corrélation positive existante entre le niveau des émissions de gaz à effet de serre (EGES) de l'alimentation des individus et les quantités d'aliments qu'ils consomment (Vieux et al., 2012), la réduction de la quantité d'aliments consommés, par la réduction du nombre de composantes du repas, pourrait être une stratégie pour réduire l'impact environnemental des repas scolaires. En effet, le règlement impose un minimum d'au moins quatre composantes sur les cinq existantes dans un repas (entrée et/ou dessert, plat protidique, accompagnement et produit laitier) mais les repas à cinq composantes sont les plus communément servis. Par ailleurs, plusieurs études ont montré que les EGES des repas scolaires pouvaient être considérablement réduits en limitant la présence de poisson

et de viande, notamment de viande bovine, dans les menus (Batlle-Bayer et al., 2021; De Laurentiis et al., 2017; Eustachio Colombo et al., 2020a; González-García et al., 2020; Sala et al., 2018). Donc la limitation de la viande bovine et la suppression de la viande et du poisson sont deux leviers majeurs à explorer.

L'objectif de la présente étude était d'identifier le meilleur compromis entre nutrition et environnement en appliquant quatre leviers aux repas scolaires : i) réduire le nombre de composantes des repas, ii) respecter les règles de fréquence de service de plats imposées par la réglementation française en restauration scolaire, iii) augmenter le nombre de repas végétariens, et/ou iv) éviter la viande de ruminant dans les repas non végétariens.

Une base de données existante basée sur les fiches techniques de 2136 plats scolaires était disponible grâce à l'étude de Vieux et al. (2018) et l'étude précédente sur les plats végétariens et non végétariens (voir **Contribution 2**). Les leviers ont été analysés seuls ou en combinaison dans dix-sept scénarios. Pour chaque scénario, 100 séries de vingt repas ont été générées en couplant un tirage aléatoire de plats au sein de la base de données et une optimisation mathématique. Pour générer les 100 séries de vingt repas correspondant à un scénario, les optimisations de séries étaient effectuées en boucle. À chaque itération, des plats différents étaient choisis, de sorte que les 100 séries étaient composées de différentes combinaisons de plats. Les scénarios dits « 5C- » consistaient en des séries de vingt repas à cinq composantes et les scénarios « 4C- » en des séries de vingt repas à quatre composantes (c'est-à-dire dix repas sans dessert et dix repas sans entrée). Les scénarios « -RF » consistaient en des séries de vingt repas qui respectaient les quinze règles fréquentielles obligatoires en restauration scolaire et les cinq recommandations fréquentielles supplémentaires concernant le service des plats végétariens (15+5 RF). Les scénarios « *n*Veg » consistaient en des séries de vingt repas comprenant un nombre croissant *n* de repas végétariens, fixé à 0, 4, 8, 12 ou 20. En plus des scénarios entièrement végétariens, deux scénarios consistant à remplacer quatre repas végétariens par des repas à base de poisson (« 5C-16Veg-4Fish » et « 5C-16Veg-4Fish-RF* ») et deux scénarios consistant à remplacer huit repas végétariens par des repas à base de poisson et de porc ou de volaille (« 5C-12Veg-4Fish-4PP » et « 5C-12Veg-4Fish-4PP-RF* ») ont été générés. La règle fréquentielle sur la viande de ruminant était supprimée dans les scénarios « 5C-16Veg-RF* » et « 5C-12Veg-4Fish-4PP-RF* ». Elle l'était également dans le scénario totalement végétarien « 5C-20Veg-RF** », de même que la règle fréquentielle sur le poisson. Les suppressions d'une ou de deux règles fréquentielles étaient respectivement indiquées par une ou deux étoiles (*) sur le nom du scénario. La qualité nutritionnelle des séries de repas a été évaluée sur la base de l'indicateur MAR (Mean Adequacy Ratio) pour 2000 kcal (i.e ajusté sur la teneur énergétique des séries), qui estime les teneurs nutritionnelles moyennes en nutriments protecteurs, exprimées en pourcentage des apports recommandés. L'impact environnemental a été mesuré par les EGES, l'acidification, l'utilisation de l'eau, l'utilisation des ressources fossiles, l'eutrophisation d'eau douce, l'eutrophisation marine et l'usage des terres. Le scénario « 5C-4Veg-RF » était considéré comme le scénario de référence car il était proche des séries de vingt repas à cinq composantes conformes aux 15+5 RF, incluant le repas végétarien hebdomadaire requis en France aujourd'hui.

Les séries de vingt repas générées avec le scénario de référence présentaient une qualité nutritionnelle élevée (95,3 % d'adéquation pour 2000 kcal) et des EGES de 2,0 kg CO₂ éq. en moyenne par repas. Par rapport à cette référence, aucun des scénarios testés ne s'est avéré capable de réduire les EGES (et les autres impacts environnementaux) sans dégrader la qualité nutritionnelle. Les repas à quatre composantes avaient une teneur énergétique insuffisante au regard des besoins des enfants d'âge primaire. Le respect des règles fréquentielles (15+5 RF) garantissait une bonne qualité nutritionnelle mais induisait une (faible) augmentation des impacts environnementaux. L'augmentation du nombre de repas végétariens réduisait les EGES (jusqu'à -61,8 %) mais diminuait la qualité nutritionnelle, en particulier lorsque tous les repas étaient végétariens (MAR= 88,1 % dans « 5C-20Veg-RF** » contre 95,3 % dans le scénario de référence). Lorsque toutes les règles fréquentielles (y compris celles imposant le service de quatre viandes de ruminant) étaient appliquées, la réduction des EGES la plus faible obtenue avec les différents scénarios était de 24,7 % avec douze repas végétariens (« 5C-12Veg-RF »). Cependant, en modifiant uniquement la règle imposant quatre repas contenant un plat à base de viande de ruminant et en les remplaçant par quatre repas contenant un plat à base de porc ou de volaille (« 5C-12Veg-4Fish-4PP-RF* »), il était possible de réduire davantage les impacts environnementaux (réduction des EGES de -49,4%) sans altérer la qualité nutritionnelle (MAR=94,0%).

Cette étude a montré que le meilleur compromis pour améliorer la durabilité des repas scolaires était d'augmenter le nombre de repas végétariens et d'appliquer les règles existantes de fréquences de service des plats à l'exception de celle imposant de servir de la viande de ruminant au moins quatre fois sur vingt repas. Réformer la restauration scolaire dans ce sens aurait un impact non seulement sur les enfants mais aussi sur tous les acteurs des chaînes d'approvisionnement des marchés publics, ce qui contribuerait à une évolution des systèmes alimentaires.

3.2.2 Messages clés

- Les séries composées uniquement de repas à quatre composantes sont associés à des EGES et un MAR pour 2000 kcal inférieurs aux séries de repas à cinq composantes et à un contenu calorique insuffisant.
- Respecter les règles de fréquence de service des plats en restauration scolaire garantit la qualité nutritionnelle des repas proposés mais augmente (faiblement) leurs impacts environnementaux (EGES, acidification, utilisation d'eau, utilisation des ressources fossiles, eutrophisation d'eau douce, eutrophisation marine et usage des terres) par rapport au non-respect de ces règles.
- L'augmentation du nombre de repas végétariens dans les séries de repas permet de diminuer significativement leur impact environnemental mais est associée à une détérioration de l'adéquation nutritionnelle, mettant en évidence la difficulté de concilier les deux dimensions.
- Le meilleur compromis respectant les règles de fréquence de services de plats actuelles est obtenu avec des séries à douze repas végétariens, quatre repas à base de poissons et quatre repas à base de viande de ruminant sur vingt repas. Il permet une réduction des EGES moyennes de 25 % par rapport à des séries de repas à quatre repas végétarien, au moins quatre repas à base de poissons et au moins quatre repas à base de viande de ruminants (scénario de référence).
- Il est possible de réduire l'impact environnemental des séries repas sans altérer la qualité nutritionnelle en combinant plusieurs leviers : augmenter le nombre de repas végétariens de quatre à douze sur vingt, favoriser les viandes hors ruminants et appliquer les règles existantes de fréquences de service de plats à l'exception de celle imposant le service de viande de ruminant au moins quatre fois sur vingt repas. La combinaison des trois leviers diminuerait les impacts environnementaux des séries du scénario de référence (réduction des EGES moyennes de 50%) sans altérer leur qualité nutritionnelle.

3.2.3 Article publié

Contribution 3 sous forme d'article intitulé « Number of meal components, nutritional guidelines, vegetarian meals, avoiding ruminant meat: what is the best trade-off for improving school meal sustainability? » soumis à *European Journal of Nutrition* le 18 juin 2021.

Number of meal components, nutritional guidelines, vegetarian meals, avoiding ruminant meat: what is the best trade-off for improving school meal sustainability?

Romane Poinso^{1,2}. Florent Vieux². Matthieu Maillot². Nicole Darmon¹

¹MoISA, Univ Montpellier, CIRAD, CIHEAM-IAMM, INRAE, Institut Agro, IRD, Montpellier, France

²MS-Nutrition, Faculté de Médecine La Timone, 13385 Marseille, France

Abstract

Purpose

School meals have the potential to promote more sustainable diets. Our aim was to identify the best trade-off between nutrition and the environment by applying four levers to school meals: i) reducing the number of meal components, ii) complying with the French school nutritional guidelines, iii) increasing the number of vegetarian meals, and/or iv) avoiding ruminant meat.

Methods

Levers were analyzed alone or in combination in seventeen scenarios. For each scenario, 100 series of 20 meals were generated from a database of 2316 school dishes using mathematical optimization. The nutritional quality of the series was assessed through the Mean Adequacy Ratio (MAR/2000 kcal). Seven environmental impacts were considered including greenhouse gas emissions (GHGE). One scenario, close to series usually served in French schools (containing 4 vegetarian meals, at least 4 ruminant meat-based meals, and at least 4 fish-based meals) was considered as the reference scenario.

Results

Reducing the number of meal components excessively decreased the energy content. Nutritional guidelines ensured nutritional quality but slightly increased GHGE. Increasing the number of vegetarian meals decreased GHGE (until -61.8%) but decreased nutritional quality, especially when all meals were vegetarian (MAR= 88.1% against 95.3% in the reference scenario). Compared to the reference scenario, series with 12 vegetarian meals, 4 meals containing fish and 4 meals containing pork or poultry reduced GHGE by 50% while maintaining acceptable nutritional quality (MAR=94.0%).

Conclusion

The best trade-off for improving school meal sustainability is to increase the number of vegetarian meals, favor non-ruminant meats, and impose relevant school-specific nutritional guidelines.

Keywords

Children; school meals; vegetarian; sustainability; nutritional guidelines; environmental impacts.

Abbreviations

ALA: Alpha-Linolenic Acid

GHGE: Greenhouse Gas Emissions

DHA: Docosahexaenoic Acid

ED: Energy Density

FR: Frequency Rule(s)

LA: Linoleic Acid

PP: Pork and Poultry

SFA: Saturated Fatty Acids

Introduction

Human activities put major pressure on the environment. Anthropogenic greenhouse gas emissions (GHGE), as well as freshwater use, land use, and interference in nitrogen and phosphorus cycles induced by current food production contribute to a large extent to environmental changes [1–3]. The food sector accounts for around 26% of global GHGE [1]. Livestock production has higher environmental impacts compared to crop production. Shifting patterns of food choices towards less animal products can help in mitigating climate changes to stay within environmental limits [1, 2, 4].

Diet not only affects environment but also human health. Diets with plenty of fruit and vegetables and unrefined cereals contribute to the prevention of chronic diseases [5] while overconsumption of red and processed meat has been associated with higher risks of cardiovascular disease, type 2 diabetes, and colorectal cancer [5]. However, meat and fish contribute to the intakes of key nutrients such as zinc, iron, iodine, long-chain omega-3 fatty acids, and several vitamins, especially D and B12 [6, 7].

Sustainable diets are defined as “diets with low environmental impacts [. . .], culturally acceptable, accessible, economically fair and affordable, nutritionally adequate, safe and healthy” [8]. Finding the best trade-off between nutrition and the environment might be challenging since both dimensions are not naturally compatible [9, 10]. Yet, if total removal of animal-based products from diets is likely to reduce their environmental impacts, their nutritional adequacy and acceptability might be impaired [11, 12]. Transition to more plant-based diets should be done with attention to all the dimensions of sustainability [11].

School nutritional guidelines offer a wide range of opportunities for setting up more sustainable eating behaviors among children [13], which are likely to be maintained in adulthood [14]. In the USA, western and northern countries of the European Union, and the United Kingdom, school meal programs were found to contribute to improving healthy eating habits [15, 16], tackling obesity [17], and enhancing academic performance [18]. In France, three quarters of nursery and primary school pupils eat at least one time per week in the school canteen [19] and 3.8 billion of school meals are served each year [20]. School meal composition could have a significant influence on both health and the environment [21]. Since 2011, French school meals must fulfil compulsory nutritional guidelines regarding the number of components in a meal and the type of dishes served [22, 23]. A simulation study found that complying with those guidelines provide better nutrition than when not respected [24], but the environmental impact was not assessed. In 2019, the service of at least one vegetarian meal per week (defined as a meal without meat or fish) became mandatory in France [25].

There is a known strong positive correlation between the quantity of food consumed and diet-related greenhouse gas emissions (GHGE) [26]. Therefore, reducing the number of components of meals could be a first step to reduce their environmental impacts. In addition, studies conducted in the USA, the UK, Spain, Italy, and Sweden, showed that the environmental impacts of school meals could be significantly decreased by limiting fish and meat, especially beef, in the menus [27–32].

The aim of the present study was to identify the best trade-off between nutrition and environment by applying four levers to school meals: i) reducing the number of meal components, ii) complying with the French nutritional guidelines, iii) increasing the number of vegetarian meals, and/or iv) avoiding ruminant meat in non-vegetarian meals. Several scenarios were implemented to explore the four levers alone or in combination. Mathematical optimization was used to generate series of meals complying with the characteristics defined for each scenario, because it is a powerful method to simultaneously comply with a large set of different constraints [33–35].

Materials and Methods

French school meals are required to be composed of four or five components, i.e., a starter and/or a dessert, a protein dish, a side dish, a dairy product; most of them contain five components [23]. Portions sizes are not compulsory [36], except for industrial dishes [22]. French school dishes must also comply with rules regarding the frequency of service for fifteen types of dishes in a series of 20 consecutive meals (corresponding to 4 weeks of school) [22]. The fifteen types of dishes are defined by rules based on one or more characteristic(s). The combination of a type of dishes and an associated frequency forms a “frequency rule” (FR) (e.g., “starters containing more than 15% fat must be served no more than 4 times over 20 meals”). Note that one of the fifteen mandatory FR concerns the service of fish (fish or fish-based dishes containing at least 70% fish and having a ratio of proteins/fats ≥ 2 must be served at least 4 times over 20) and another one concerns the service of ruminant meat (unground beef, veal, lamb, or offal must be served at least 4 times over 20). In addition, since 2019, at least one vegetarian meal must be served per week (i.e., at least 4 in a series of 20 meals) [25]. Then, in 2020, five additional (non-mandatory) rules, specifically regarding the composition of vegetarian meals, were released [37]. The 15 mandatory and 5 non-mandatory FR, called 15+5 FR, are detailed in Supplemental Table S1.

Based on a previously constituted database of dishes served at meals in primary schools in France (6 to 11 year-old children), a mathematical optimization approach was used to generate series of 20 meals according to seventeen different scenarios. Each scenario was defined by a given set of constraints related to i) the number of meal components (i.e., four or five components: a protein dish, a side dish, a dairy product, a starter and/or a dessert), ii) compliance with the 15+5 FR, iii) the number of vegetarian meals in a series of 20 meals, and iv) the avoidance of dishes containing ruminant meat in non-vegetarian meals.

School meal dishes database

An existing database based on technical files (i.e., recipe and, for industrial dishes, mandatory labelled nutrient content and ingredients list) for dishes from 40 series of 20 school meals, was available thanks to the previous study by Vieux et al [24]. A main dish accounts for two components as it can either be a “protein dish” served with a “side dish” (e.g., a steak served with green beans) or a complete dish. A complete dish is a dish where the “protein dish” and the “side dish” are incorporated into the same main dish (e.g., lasagnas, gratins, chili con carne, etc.). In 2019, the initial database was expanded with a collection of technical files of vegetarian “protein dishes” and “complete dishes” (n=206) [38]. The nutritional content of dishes was calculated by using CALNUT [39], Nutrinet-Santé [40], and CIQUAL 2013 [41] food composition tables. For the specific needs of this study, the environmental impacts of dishes were estimated by matching data taken from AGRIBALYSE database v3.0 [42], which provides fourteen different environmental indicators (obtained with the life cycle assessment method) for foods commonly consumed in France, to the expanded database.

The final database of school meal dishes contained 2316 dishes including 512 starters, 683 protein dishes (including 115 vegetarian protein dishes), 440 side dishes, 206 complete dishes (including 133 vegetarian complete dishes), 137 dairy products, 337 desserts and 1 bread. Each dish was characterized by the following information:

- fixed weight (in g), corresponding to its recommended or compulsory serving size for primary school children [36],
- component type (starter, protein dish, side dish, complete dish, dairy product, or dessert),
- ingredient content,
- energy and nutrient content,
- environmental impacts,
- vegetarian or not,
- industrial processing or not (needed for one of the non-mandatory 5 FR on vegetarian meals),
- compliance with FR-related type of dish (for instance “starters containing more than 15% fat”).

Generating series of 20 school meals according to seventeen different scenarios

Definition of the seventeen scenarios

To assess the nutritional and environmental impacts according to the four different levers (i.e., reduced number of meal components, compliance with French nutritional guidelines, increased number of vegetarian meals, avoidance of ruminant meat), alone or combined, seventeen different scenarios were designed (**Table 1**). The French nutritional guidelines (i.e., the 15+5 FR listed in table S1) apply to series of 20 consecutive meals, so that the scenarios generated series of 20 meals (made up of dishes from the school meal dishes database). Each meal contained a standard portion of bread (i.e., 40 g of French baguette).

Each of the seventeen scenarios was named according to the lever(s) tested:

- Reduced number of meal components: scenarios with four or five components were generated. The so-called ‘5C-’ scenarios consisted of series of 20 five-components meals and ‘4C-’ scenarios consisted of series of 20 four-components meals (i.e., 10 meals without dessert and 10 meals without starter).
- Compliance with French nutritional guidelines: scenarios complying or not with the FR were generated. The ‘-FR’ scenarios consisted of series of 20 meals complying with the 15+5 FR.
- Increased number of vegetarian meals: scenarios with an increasing number of vegetarian meals were generated. The ‘*n*Veg’ scenarios consisted of series of 20 meals including an increasing number *n* of vegetarian meals, with *n* set at 0 (no vegetarian meals), 4 (corresponding to the actual regulation of 1 weekly vegetarian meal), 8, 12, or 20. For example, series of 20 meals generated with the ‘5C-0Veg-FR’ scenario contained five-component meals without any (0) vegetarian meals.
- Avoidance of ruminant meat: scenarios excluding dishes containing ruminant meat were derived from the ‘*n*Veg’ scenarios. Thus, in addition to fully vegetarian ones, two scenarios consisted of replacing 4 vegetarian dishes with fish-based meals (5C-16Veg-4Fish and 5C-16Veg-4Fish-FR*) and two scenarios consisted of replacing 8 vegetarian dishes with both fish and pork-based or poultry-based meals (5C-12Veg-4Fish-4PP and 5C-12Veg-4Fish-4PP-FR*) were generated.

When a ‘*n*Veg-FR’ scenario conflicted with one (or two) of the 15+5 FR, that FR was removed, and this was indicated by one (or two) star(s) at the end of the scenario name. Namely, the FR on ruminant meat was removed in the ‘5C-16Veg-FR*’ and ‘5C-12Veg-4Fish-4PP-FR*’ scenarios. It was also removed in the ‘5C-20Veg-FR**’ scenario, together with the FR on fish, to allow the service of 20 vegetarian meals.

Table 1 Number of vegetarian, fish-based, ruminant meat-based, and pork or poultry-based meals¹ and paired scenarios for comparison for each of the seventeen scenarios of 100 series of 20 meals.

Scenario (100 series of 20 meals)	Components (n)	Vegetarian meals (n)	Fish-based meals (n)	Ruminant meat-based meals (n)	Pork-based and poultry-based meals (n)	Paired scenario to be compared with (except 5C-4Veg-FR)
5C	5	0 to 20	0 to 20	0 to 20	0 to 20	4C
4C	4	0 to 20	0 to 20	0 to 20	0 to 20	5C
5C-0Veg	5	0	0 to 20	0 to 20	0 to 20	5C-0Veg-FR
5C-0Veg-FR	5	0	4 to 16	4 to 16	0 to 12	5C-0Veg
5C-4Veg	5	4	0 to 16	0 to 16	0 to 16	
5C-4Veg-FR	5	4	4 to 12	4 to 12	0 to 8	All
4C-4Veg-FR	4	4	4 to 12	4 to 12	0 to 8	4C
5C-8Veg	5	8	0 to 12	0 to 12	0 to 12	5C-8Veg-FR
5C-8Veg-FR	5	8	4 to 8	4 to 8	0 to 4	5C-8Veg, 5C-12Veg-FR
5C-12Veg	5	12	0 to 8	0 to 8	0 to 8	5C-12Veg-FR

5C-12Veg-FR	5	12	4	4	0	5C-12Veg, 5C-8Veg-FR, 5C-20Veg-FR**
5C-20Veg	5	20	0	0	0	5C-20Veg-FR**
5C-20Veg-FR**	5	20	0	0	0	5C-20Veg, 5C-12Veg-FR
5C-16Veg-4Fish	5	16	4	0	0	5C-16Veg-4Fish-FR*
5C-16Veg-4Fish-FR*	5	16	4	0	0	5C-16Veg-4Fish, 5C-20Veg-FR**, 5C-12Veg-4Fish-4PP-FR*
5C-12Veg-4Fish-4PP	5	12	4	0	4	5C-12Veg-4Fish-4PP-FR*
5C-12Veg-4Fish-4PP-FR*	5	12	4	0	4	5C-12Veg-4Fish-4PP, 5C-12Veg-FR, 5C-16Veg-4Fish-FR*

5C-4Veg-FR: reference scenario. '5C-': series of 20 meals with five components (1 starter, 1 protein dish, 1 side dish, 1 dairy product, 1 dessert, plus 40 g of bread); '4C-': series of 20 meals with four components: 10 meals without dessert and 10 meals without starter; 'nVeg': *n* vegetarian meals; '4Fish': 4 fish-based meals; '4PP': 4 pork-based or poultry-based meals; '-FR': series of 20 meals complying with the 15 mandatory and 5 non-mandatory frequency rules (FR) (Supplemental Table S1) '-FR**': all the FR excluding that for fish and that for ruminant meats '-FR*': all the FR excluding that for ruminant meat.

Generation of one series of 20 meals

One series of 20 meals was generated by using the optimization method called binary integer linear programming [33]. The equations in the optimization model are detailed in Appendix 1. The model is characterized by *variables*, *constraints*, and an *objective function*:

- The *variables*, corresponding to the unknowns, were the 2316 dishes with fixed portions contained in the school meal dishes database.
- The *constraints*, corresponding to the requirement list, differed according to the scenario. *Common constraints* were shared by all the scenarios, e.g., exactly one dairy product and one bread per meal. Moreover, at each meal, there could be only one main dish, i.e., exactly one complete dish, or one combination of one protein dish and one side dish, but not both. *Specific constraints* depended on the scenarios. In '5-C' scenarios, every meal included both a starter and a dessert whereas in '4C-' scenarios, exactly 10 meals over 20 included a starter and 10 meals over 20 included a dessert. The series of 20 meals must comply with the 15+5 FR. The scenarios with 'nVeg', '4Fish' or '4PP' must comply with a frequency of *n* vegetarian meals, 4 fish-based meals and 4 pork-based or poultry-based meals, respectively. Moreover, starters in vegetarian meals also could not contain meat or fish, starters in meals containing a fish dish could not contain meat, and starters in meals containing a pork or poultry (PP) dish could not contain fish, red meat, or processed meat.
- The *objective function*, corresponding to the goal of the optimization, simulated random picking among school meal dishes.

The resolution of each model resulted in an optimized series of 20 meals respecting all the constraints.

Generation of 100 different series of 20 meals

To generate the 100 series of 20 meals corresponding to one scenario, optimizations were performed in series within a loop. At each iteration, different dishes were picked so the 100 series were composed of different sets of dishes. The coding was programmed using SAS 9.4 software with MILP solver in OPTMODEL procedure.

Evaluation of nutritional quality and environmental impacts of the generated series of school meals

Nutritional quality of the series of meals

The nutritional quality of the series of meals was assessed through the average Mean Adequacy Ratio (MAR) for 2000 kcal, an indicator that estimates the average content of ‘positive’ nutrients expressed as a percentage of recommended intakes for children attending primary schools, according to a previously described methodology [24]. The recommended values used in the computation of MAR are presented in Supplemental Table S2. The nutrients included in the MAR calculation were proteins, fibers, vitamins B1, B2, B6, B9, B12, C, D, E, and A, calcium, potassium, iron, magnesium, zinc, copper, iodine, selenium, linoleic acid (LA), alpha-linolenic acid (ALA), and docosahexaenoic acid (DHA). Then, the nutrient content of series was evaluated nutrient per nutrient. The level of each nutrient was considered ‘adequate’ if the average nutrient content of the meal, expressed as the percentage of the daily recommendation for that nutrient, was greater than or equal to 30% because lunch contributes to around 30% of daily caloric intake in French children [43]. Energy density and the content in nutrients to be limited, i.e., sodium, saturated fatty acids (SFA), total sugars, and free sugars, were also calculated.

Environmental impacts of the series of meals

Environmental impact of the scenarios was assessed through their average Greenhouse Gas Emissions (GHGE) as well as 6 additional indicators, namely acidification, water use, fossil resource use, freshwater eutrophication, marine eutrophication, and land use. GHGE is the best known climate change indicator [44]. Acidification results from chemical emissions in the atmosphere that are redeposited into ecosystems [44]. Water and fossil resource use correspond to the consumption of water (and its depletion in certain regions) and non-renewable energy resources (coal, gas, oil, uranium, etc.) respectively [44]. Freshwater and marine eutrophication correspond to excessive enrichment of natural environments with nutrients, which leads to proliferation and asphyxiation (dead zone) in freshwater and marine ecosystems [44]. Land use reflects the impact of an activity on land degradation, with reference to "the natural state"[44].

Statistical Analysis

Nutrient content and environmental indicators were calculated for each series of 20 meals. For each scenario, the average nutritional quality and environmental impacts calculated across the 100 series of that scenario were compared with those from another scenario (**Table 1**, last column) and with those from a reference scenario using the t-test. The reference scenario was ‘5C-4Veg-FR’ because it is close to the series of 20 meals usually served in France today, i.e., 20 meals of five components complying with FR including a weekly vegetarian meal. The content of “positive” nutrients, expressed as percentage of the daily recommendation, were also compared to the theoretical 30% threshold using the t-test for one sample.

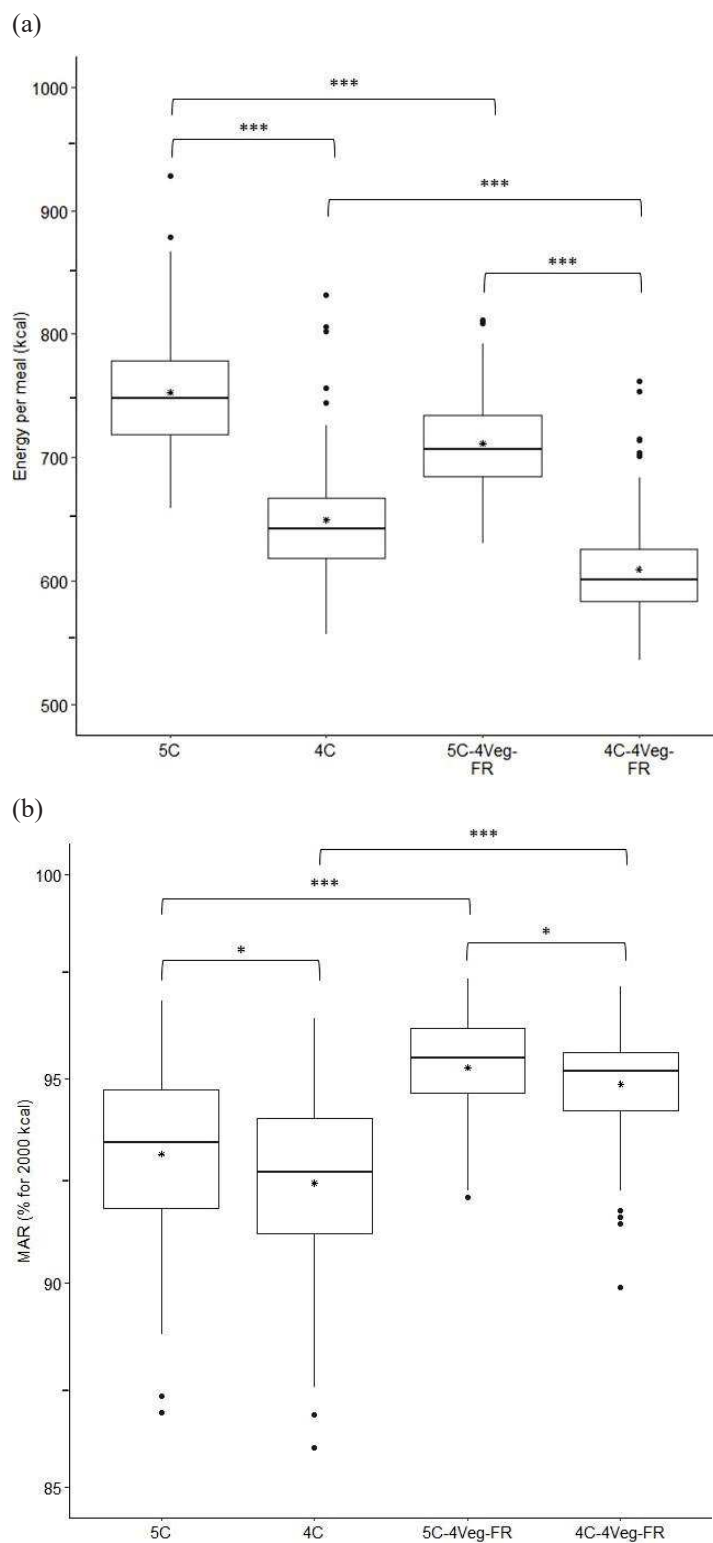
Statistical analyses were performed with R software version 4.0. The level of significance was set to 5% for all the tests. To facilitate the interpretation of results, nutrient content and environmental values were presented per meal. Here, “meal” is defined as the average value for a complete series of 20 meals divided by 20.

Results

Nutritional quality and GHGE of series of meals, according to the number of meal components

Reducing the number of components from 5 to 4 reduced the average energy content of meals (**Fig. 1a**) and their GHGE (**Fig. 1c**) but also reduced, moderately but significantly, their MAR (**Fig. 1b**), whether FR were imposed or not. When FR were fulfilled, reducing the number of meal components decreased the average energy content per meal from 712 kcal (in the reference 5C-4Veg-FR scenario) to 609 kcal (in the 4C-4Veg-FR scenario). For information, 30% of the recommended daily energy intake for French children of primary school age represents 599 kcal (Supplemental table S2), a level close to the median energy content

of meals in the 4C-4Veg-FR scenario (Fig. 1a). This means that almost half of the series with 4-components meals and fulfilling the FR provide less than the recommended level of energy intake.



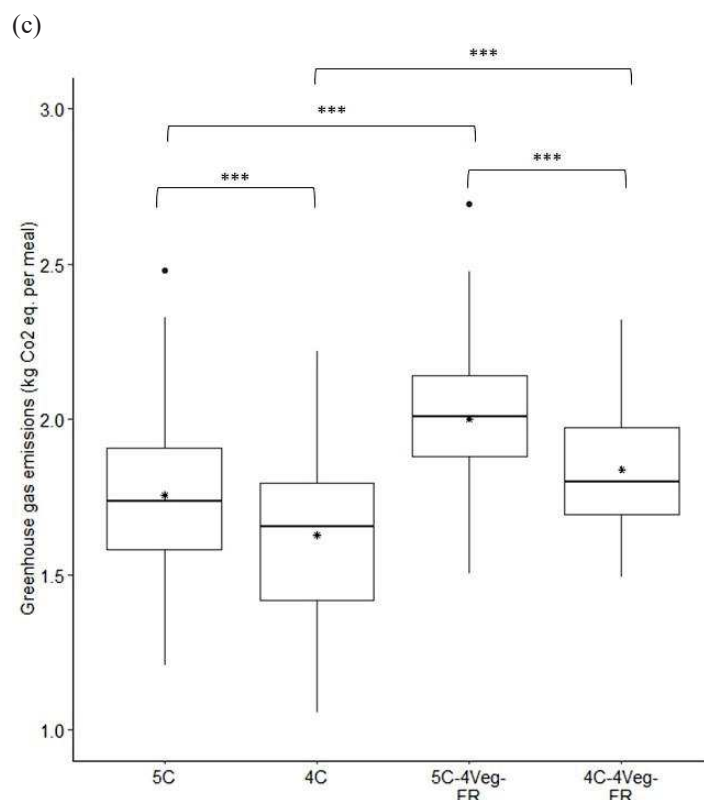


Fig.1 a. Energy per meal (kcal); **b.** Mean Adequacy Ratio (MAR) (% for 2000 kcal) and **c.** Greenhouse Gas Emissions (GHGE) (kg CO₂ eq. per meal) of meals, in the series of 20 meals (n=100) generated with ‘5C’, ‘4C’, ‘5C-4Veg-FR’ and ‘4C-4Veg-FR’ scenarios. Energy, MAR, and GHGE were compared between two scenarios using t-test. ‘***’ p-value <0.001 ‘**’ p-value <0.01 ‘*’ p-value <0.05 ‘ns’: not significant.

Nutritional quality and GHGE of series of meals, according to compliance with frequency rules, number of vegetarian meals, and avoidance of ruminant meat

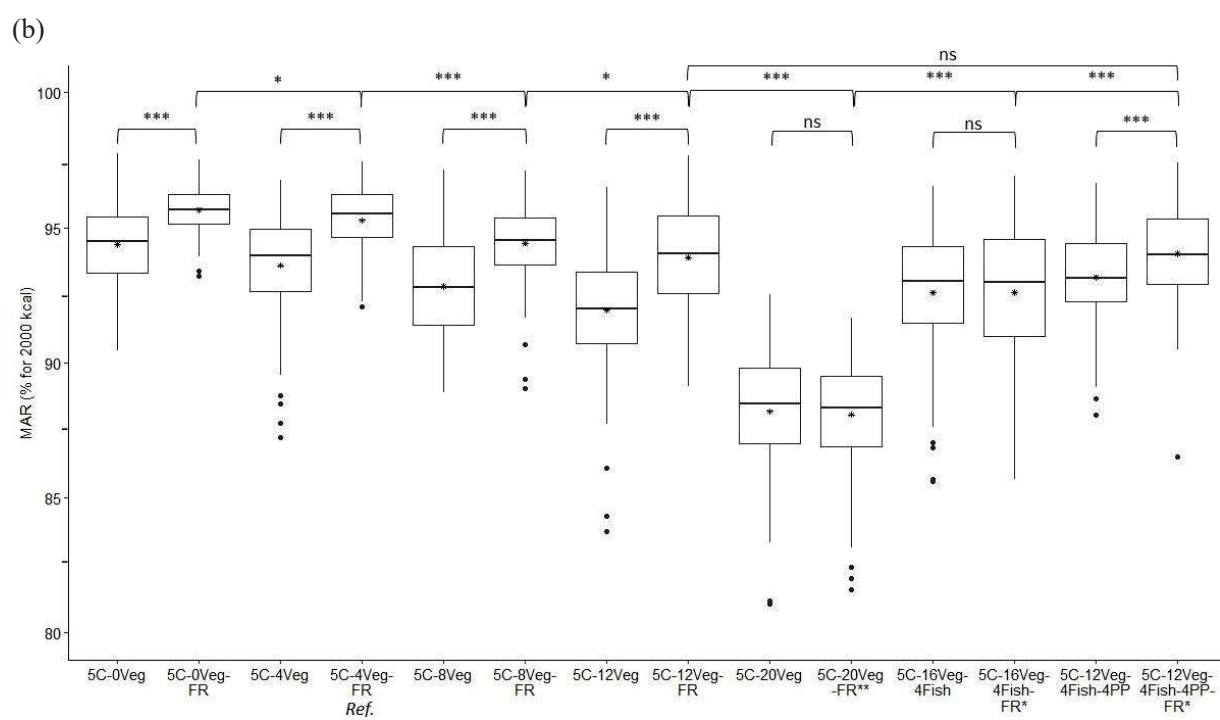
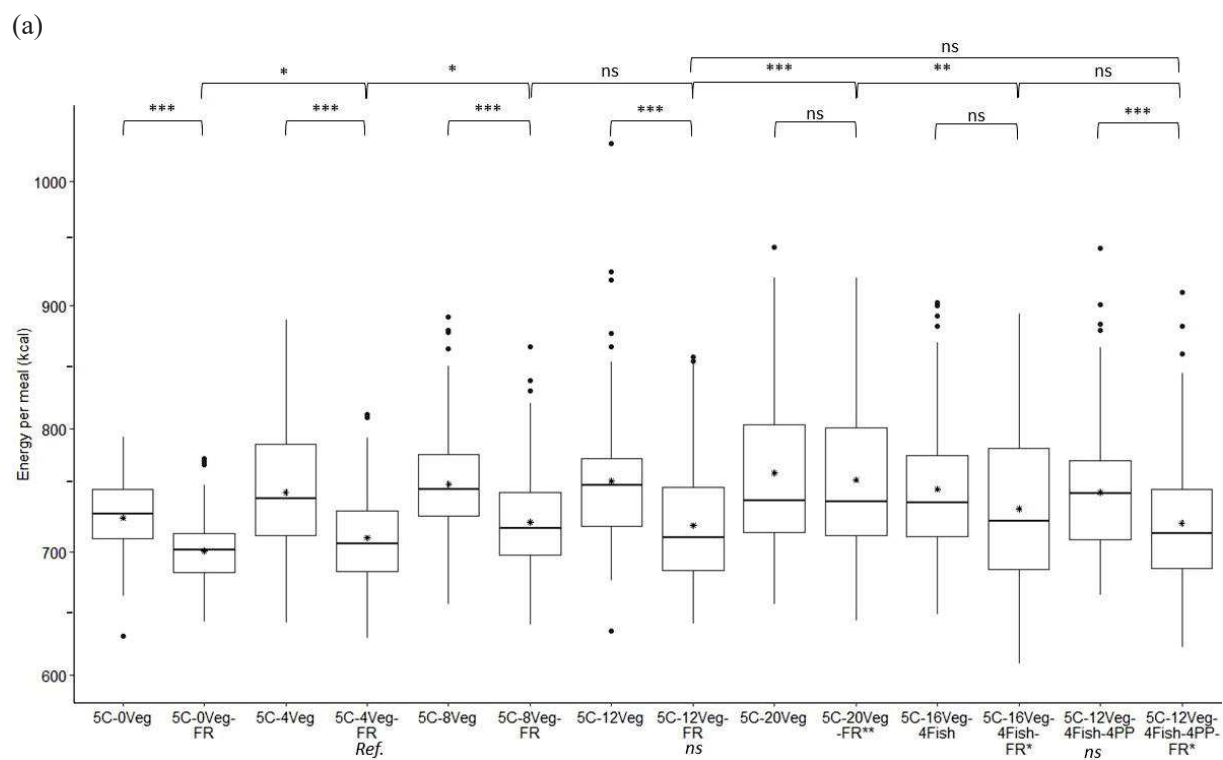
Compared to scenarios without FR, series of meals generated with –FR scenarios had significantly lower energy content, except when not all 15+5 FR were fulfilled (i.e. –FR* and –FR** scenarios) (**Fig. 2a**). Moreover, energy increased slightly with the number of vegetarian meals (it was maximum for 5C-20Veg-FR**).

Average MAR (**Fig. 2b**) decreased when the number of vegetarian meals increased, with the lowest values obtained when all twenty meals were vegetarian (i.e., 5C-20Veg and 5C-20Veg-FR** scenarios). Applying all FR improved the MAR. Applying FR also improved the MAR in the last scenario (5C-12Veg-4Fish-4PP-FR*) where all FR were applied except that ruminant meat was replaced by poultry or pork.

SFA and fat content decreased when the numbers of vegetarian meals increased (Supplemental Tables S3 and Fig. S4): % energy from fats ranged between 28.3% to 36.1% and % energy from SFA kept below 12% (i.e., the French recommended level for SFA) in series with at least 12 vegetarian meals (fulfilling FR). Free sugars and SFA significantly decreased when FR were applied. Whatever the scenario, % energy from free sugars was between 4.90% and 6.22%, well below the recommended level of 10%.

Average GHGE per meal decreased when the number of vegetarian meals increased (**Fig. 2c**). The effect of imposing FR on GHGE varied depending on the number of vegetarian meals and the presence of ruminant meat. Imposing FR tended to increase GHGE in series containing from 0 to 12 vegetarian meals, but it tended to decrease GHGE when ruminant meat was avoided (i.e., in –FR* and –FR** scenarios).

Whether or not the FR were imposed, the average GHGE per meal were by far the lowest in the series generated when ruminant meat was avoided.



(c)

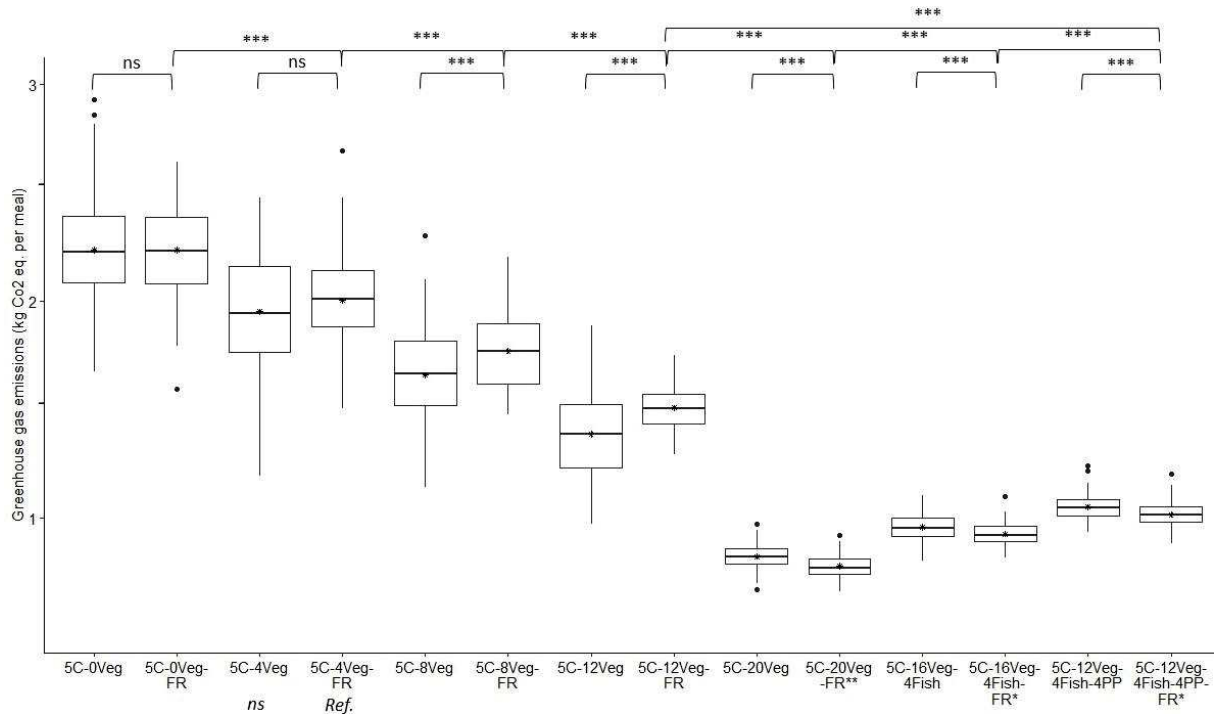
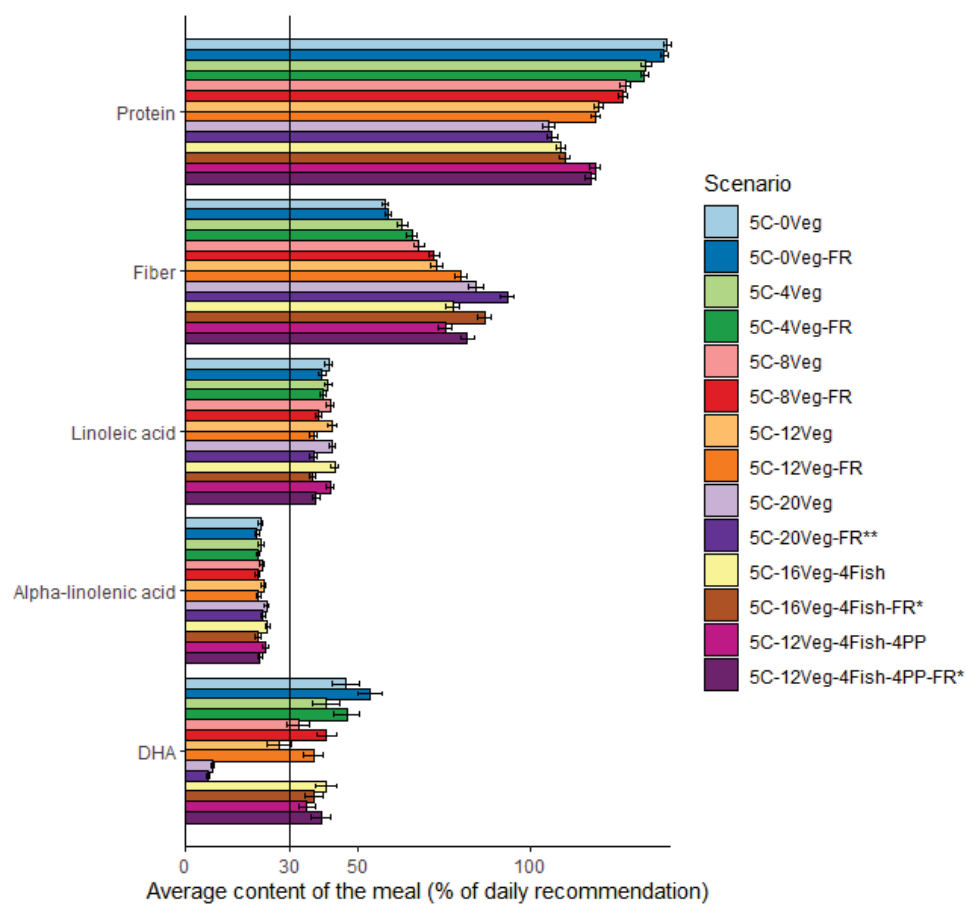


Fig. 2 a) Energy per meal (kcal); **b)** Mean Adequacy Ratio (MAR) (% for 2000 kcal) and **c)** Greenhouse gas Emissions (GHGE) (kg CO₂ eq. per meal), in the series of 20 meals (n=100) generated with the five component (5C) scenarios. Energy, MAR, and GHGE were compared between two scenarios using t-test. '***' p-value <0.001 '**' p-value <0.01 '*' p-value <0.05 'Ref.': Reference scenario. 'ns': not significant. All the scenarios were significantly different from the reference scenario (5C-4Veg-FR) except the ones labeled *ns*.

Whatever the scenario, average nutrient content was well above 30% of the daily recommendation for most nutrients, except for ALA, DHA, vitamin B3 and vitamin D (**Fig. 3**).

Applying FR to the scenarios significantly increased the average fiber, vitamin B9 and vitamin C content as well as DHA, potassium, zinc, and selenium content in most of the scenarios, and significantly decreased the average content of linoleic acid, alpha-linolenic acid (only for scenarios with at least 8 vegetarian meals) and vitamin E (only for scenarios with at least 12 vegetarian meals). When the FR were applied and the proportion of vegetarian meals in the scenarios increased, fiber, calcium, iron (only for scenarios with at least 8 vegetarian meals), magnesium and vitamin B9 contents significantly increased, but DHA, zinc, vitamins B1, B2, B3, B6, B12, and D content significantly decreased. In the fully vegetarian scenario, the average DHA and vitamin B3 content was below 30% of daily recommendation, while the content in other scenarios following the FR were not. Vitamin D content was also higher in non-vegetarian scenarios than in the fully vegetarian scenario but still did not reach the 30% of daily recommendation.

(a)



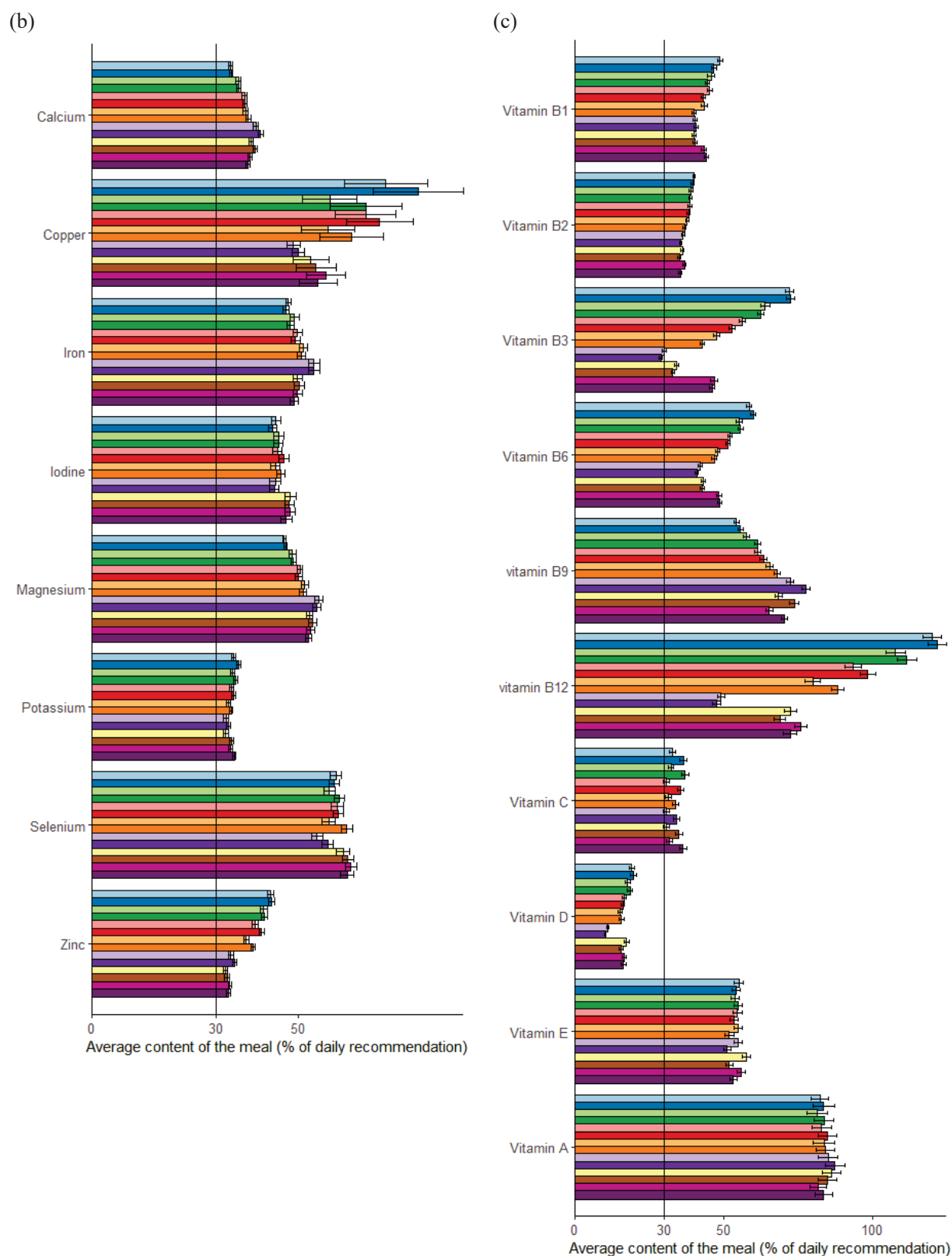


Fig. 3 a) Protein, fiber, and omega 3 fatty acid; **b)** mineral and **c)** vitamin content of meals, in the series of 20 meals (n=100) generated with the five components (5C) scenarios, expressed as percentage of the daily recommendation per meal. The error bars represent the confidence intervals.

Environmental impacts of series of meals, according to compliance with frequency rules, number of vegetarian meals, and avoidance of ruminant meat

As compared to the meals generated with the 5C-4Veg-FR reference scenario, environmental impacts significantly increased when there were no vegetarian meals (5C-0Veg-FR), except for freshwater eutrophication, and significantly decreased when the number of vegetarian meals increased (except for water use in the 5C-8Veg-FR scenario) (**Table 3**). In the scenarios avoiding ruminant meat, compared to the reference scenario, GHGE were reduced by 47.6% to 61.2 %. When considering only scenarios complying with all the 15+5 FR, GHGE could not be reduced by more than 24.7 % (5C-12Veg-FR).

Compared with no FR applied, imposing FR significantly increased the environmental impacts of meals, except for fossil resource use and freshwater eutrophication and except for the fully vegetarian scenarios (Table 3 and see Supplemental S5 Fig. S6 for all paired comparisons).

Table 2. Environmental impacts (acidification, greenhouse gas emissions (GHGE), water use, fossil resource use, freshwater eutrophication, marine eutrophication, and land use) of meals, in the series of 20 meals (n=100) generated with the five component (5C) scenarios , average values expressed per meal and as percentage of the 5C-4Veg-FR reference scenario.

Scenario	Acidification	GHGE	Water use	Fossil resources use	Freshwater eutrophication,	Marine eutrophication	Land use
5C-0Veg	+13.6*%	+11.6*%	-4.28*%	+10.2*%	+5.92%	+10.3*%	+13.5*%
5C-0Veg-FR	+13.5*%	+11.6*%	+5.21*%	+8.84*%	+11.2*%	+10.2*%	+12.3*%
5C-4Veg	-3.42*%	-2.59%	-9.17*%	+0.245%	-2.95%	-3.6*%	-1.99%
<u>5C-4Veg-FR</u>	0.027 mol H ⁺ eq.	2.00 kg CO ₂ eq.	1.74 m ³ world eq	18.1 MJ	0.29 kg P eq.	8.21 kg N eq.	104 points
5C-8Veg	-19.1*%	-17.2*%	-14.9*%	-8.41*%	-12.2*%	-16.4*%	-16.3*%
5C-8Veg-FR	-13.1*%	-11.7*%	-2.22%	-7.69*%	-12.4*%	-11.1*%	-12.5*%
5C-12Veg	-35.1*%	-30.8*%	-17.3*%	-16.6*%	-20*%	-29.6*%	-30.9*%
5C-12Veg-FR	-27.6*%	-24.7*%	-10.4*%	-17.5*%	-18.2*%	-21.8*%	-24.6*%
5C-20Veg	-67.5*%	-59.1*%	-27.6*%	-36.2*%	-42.9*%	-56.3*%	-58.9*%
5C-20Veg-FR**	-69.3*%	-61.2*%	-18.5*%	-38.3*%	-44.5*%	-58.1*%	-60.8*%
5C-16VegE-4Fish	-53.6*%	-52.2*%	-22.4*%	-25.1*%	-23.6*%	-42.7*%	-59*%

5C-16Veg- 4Fish-FR*	-54*%	-53.8*%	-15*%	-25.5*%	-30.1*%	-44.7*%	-61.5*%
5C-12Veg- 4Fish-4PP	-46*%	-47.6*%	-20.2*%	-16.7*%	-22.6*%	-38.1*%	-54.2*%
5C-12Veg- 4Fish-4PP- FR*	-47.2*%	-49.4*%	-8.77*%	-17.5*%	-17.9*%	-38.8*%	-56.*2%

For each scenario, values were compared with the '5C-4Veg-FR' reference scenario using the t-test. * indicates a statistically significant difference between the two scenarios (p<0.05).

Discussion

The series of 20 school meals generated with the reference scenario (i.e., 5C-4Veg-FR), which is the closest to what is commonly served in French schools, displayed high nutritional quality (95.3% adequacy for 2000 kcal) and GHGE of 2.0 kg CO₂ eq. on average per meal. Compared to this reference, none of the tested scenarios proved able to simultaneously reduce GHGE (and other environmental impacts) while increasing (or at least maintaining) such high nutritional quality. The best GHGE reduction that can be achieved when all the current FR were applied was a reduction of 25 % and was obtained with 12 vegetarian meals. However, by changing only the FR on ruminant meat, it was possible to further decrease GHGE (by -50%) without impairing nutritional quality.

The first lever tested in this study to improve the sustainability of school meals was to reduce the number of components by removing either the starter or the dessert from the meals. However, this path was underwhelming, because it led to a relatively small GHGE reduction (around 8% of reduction). In addition, in the series of four components meals fulfilling all the frequency rules (4C-FR scenario), the average energy content per meal was only 609 kcal, which does not seem sufficient given that the recommended level of energy intake for primary school children was estimated at 599 kcal (considering that 30% of daily energy intake is consumed at lunch), in line with the average energy intake at school lunch for children in nursery and primary school (590 kcal) recently reported by ANSES [19]. In addition, fulfilling all the frequency rules with only four-component meals requires the service of only raw vegetables as starters and mostly raw fruits as desserts. This is like putting the children on a diet, which does not seem acceptable in terms of sensorial and cultural acceptability and may undermines conviviality. The joy of eating should be preserved at school, if only to maintain school lunch attendance, which provides a unique opportunity to promote healthy and sustainable eating among children [15]. The environmental gain induced by the removal of either the starter or the dessert does not outweigh the nutritional decline and the probable loss of acceptability.

The second lever tested was the compliance with nutritional standards and the results showed its positive impact on nutritional quality, which confirms a previous study on French school meals [24]. However, following French nutritional guidelines was also found to have a deleterious impact on the environmental dimension because of the high environmental cost of imposing at least four ruminant meat-based meals and four fish-based meals over twenty meals. A study conducted in the UK also found that following national food-based standards for school meals would increase GHGE generated by the meals [45]. In fact, in both France and the UK, nutritional guidelines were created to ensure adequate nutritional quality of meals served at school, without considering their environmental impact. Nutritional guidelines for school meals now need, similar to national food based dietary guidelines [46], to consider sustainability dimensions other than nutrition in their development.

The third lever tested was the increase in the number of vegetarian meals in the series of 20 meals, which was found to decrease their environmental impacts but also to decrease their overall nutritional adequacy. Beyond the decrease of overall nutritional quality associated with the increasing number of

vegetarian meals, some nutrient content increased (fiber, calcium, iron, magnesium, and vitamin B9) while others decreased (DHA, zinc and vitamins B1, B2, B3, B6, B12, and D), which is consistent with a previous study comparing vegetarian with non-vegetarian main dishes [38]. Regarding the reduction of the environmental impacts, it is fully in line with previous studies showing that school meals including fish and meat have higher environmental impacts than vegetarian meals [28, 47, 48]. De Gavelle et al showed that, when imposing a nutritional adequacy rise in French adult diet, nutritional adequacy increases less when increasing the share of plant protein from 31.1% to 37.7% than when reducing it from 31.1% to 30% [49]. A trade-off must therefore be found by introducing more vegetarian meals to decrease the environmental impacts but without reaching extreme situations (such as the fully vegetarian scenarios) which may compromise the coverage of the nutritional requirements of children.

The fourth lever tested was the avoidance of ruminant meat. Following the French nutritional guidelines for school meals (i.e., the FR), a series of 20 consecutive meals must contain at least four ruminant meat-based meals. Our results showed that replacing that frequency rule with a constraint imposing the service of four meals containing pork or poultry would dramatically decrease GHGE, acidification and land use (by approx. one third) and moderately decrease marine eutrophication, with no effect on marine eutrophication, fossil energy use and water use (Supplemental Fig. S6), without impairing the overall nutritional quality of meals. In older Dutch adults, drastic reduction of GHGE could also be achieved by replacing ruminant meat and processed meat by pork and poultry while staying in line with Dutch food-based dietary guidelines [50]. In studies assessing the carbon footprints of school meals in the UK and Europe, ruminant meat-based meals, and more broadly red meat-based meals, were the main contributors of GHGE [29, 30, 45, 51] and water consumption [29, 30]. Reducing ruminant meat seems able to reduce the environmental impacts without degrading the nutritional quality of meals [31, 32, 51] (provided that relevant substitutions are made, e.g., with white meats [51]). Choosing white meat as more sustainable alternative to red meat or processed meat may lead to health benefits as high consumption of white meat is associated with lower risks of all-cause mortality and has no effects on cardiovascular events [52]. However, the total removal of ruminant meat may compromise the acceptability of meals because children tend to prefer familiar dishes [53]. In order to better satisfy this sustainable diets dimension, intermediate solutions might be proposed by still serving red meat but in reduced amounts as shown with “low-carbon” school meals proposed by the Municipality of Barcelona [31]. “Low-carbon” meals offered in several schools in Barcelona still contain chicken, fish, and even red meat, but in smaller amounts compared to the meals commonly served in other schools of the municipality. “Low-carbon” meals lead to an increase of overall nutritional quality from 6 to 47%, according to the “Rich Meal Index”, and reductions of environmental impacts.

Based on our work, we can draw perspectives for future recommendations on sustainable school meals. Nutrient per nutrient analysis showed that school meals were not able to provide adequate vitamin D and ALA intakes. Omega 3 fatty acids are essential nutrients to improve cognitive performance [54]. Choosing fats rich in omega 3 for seasoning could increase the omega 3 fatty acid content of meals. In order to successfully move towards more vegetarian meals at school, it is necessary to have the support of the children but also the involvement of the parents and all the professionals (e.g., kitchen staff, dieticians, municipality staff) involved at different stages of school catering [53]. Since they are not well known, vegetarian dishes may be rejected by professionals, parents, and children [55]. A policy that trains catering cooks to provide attractive plant-based dishes to children [56] associated with adapted communication to parents may lead to the successful implementation of more vegetarian meals in French schools. Nutrients levels lower or close to 30% of daily recommendation in the school meals generated in our study (LA, ALA, DHA, calcium, potassium, zinc, vitamins B1, B2, B3, B6, C, and D) may be critical for children from disadvantaged populations. Indeed, breakfast or dinner skipping is more frequent in children from lower than from higher socio-economic status [43]. In France, many municipalities apply for a long-term social pricing of the meals (the price paid is calculated based on parent’s income) [57]. Moreover, since January 2021, each meal offered at less than 1€ can be funded by the government up to 3€.

The first limitation of this work is that our analysis focused on the food offered not the meals actually consumed. Food leftovers could not be considered even though they have a significant impact on cost [58, 59], environment [58], and nutrient intake [59, 60], because of missing robust data on the proportion and kind of food component usually wasted at consumption. Data available indicates that cooked vegetables

remain the least favorite food category among French school dishes [61]. However, school needs to play its educational role by exposing adequate amounts of healthy foods to children with the potential effect to change their liking [62]. The second limitation is that the compliance with some scenarios, namely scenarios with only four-component meals or scenarios completely avoiding ruminant meat, would induce dramatic changes in school meal composition. Adapting portion size [63] could be a promising strategy to reduce the environmental impacts while maintaining cultural acceptability. The introduction of some four-component meals (instead of 20/20) could also be tested, as well as imposing a diversity of species among the meat dishes served (instead of totally removing ruminant meat). A third limit is that the bioavailability of nutrients such as iron or zinc, which may be lower in vegetarian than in non-vegetarian meals, was not assessed. Bioavailability is nonetheless moderately impacted when the diet is diversified, even when the animal to plant ratio is relatively low [64]. A fourth limit is that scenarios don't consider production constraints (e.g., total time needed to prepare a meal) or acceptability constraints (e.g., children's preferences, likely or unlikely association between dishes, etc.). But the aim of this work was more to identify levers for improvement rather than providing a turnkey meal plan. The last limitation is that we did not consider meal cost, but other studies found that reduction of GHGE is compatible with affordable school meals [32, 35].

The major strength of this study is the application of the optimization approach on a unique database of around 3000 school dishes available in France, for which nutritional and environmental data were collected. Optimization is a flexible approach for planning sustainable school meals because constraints on nutrient content [33–35, 65, 66], cost [34], and acceptability [33, 67] can be easily added, as also shown in the Swedish context [32]. Our results could potentially be extended to other school levels or other mass catering systems (student or worksite cafeterias, nursing homes, etc.).

Conclusion

This study showed that the best trade-off for improving school meal sustainability is to increase the number of vegetarian meals and promote non-ruminant meats while imposing relevant school-specific nutritional guidelines. Reforming school catering in that direction would impact not only children but also all actors throughout the supply chains in public procurement, representing an unbeatable start for moving toward more sustainable food systems.

Appendix 1

The binary integer linear model used to generate one series of twenty meals according to one of the 17 scenarios:

Variables and objective function:

The unknown were binary variables $x(d, m)$ where d is the dish ($d = 1, \dots, 2316$) and m is the meal ($m = 1, \dots, 20$) in the series. If $x(d, m) = 1$, it means dish d was selected in meal m by the algorithm but if $x(d, m) = 0$, it means dish d was not selected in meal m .

The optimization process was used to simulate random picking among school meal dishes. To do so, a coefficient $r(d, m)$ corresponding to a random continuous number between 1 and 1000 was assigned to each variable $x(d, m)$. The single-objective function consisted of minimizing the sum of each variable multiplied by its random coefficient as indicated in Equation (1). To allow uniform distribution among complete dishes and protein and sides dishes, $r(d, m)$ was divided by 2 for protein and side dishes.

$$f(x) = \min \sum_{d=1}^{2316} \sum_{m=1}^{20} x(d, m) \times s(d, m), \quad s(d, m) = \frac{r(d, m)}{n}, \quad r(d, m) \in [1; 1000] \quad (1)$$

$$n = 2 \text{ if } d \in \{\text{protein dishes, side dishes}\}, n = 1 \text{ if } d \notin \{\text{protein dishes, side dishes}\}$$

Common constraints

Some constraints on the format of meals were shared by all the scenarios. There could be exactly one dairy product and one bread per meal as shown in Equation (2) and (3).

$$\sum_{\substack{d \in \text{dairy} \\ \text{products}}} x(d, m) = 1, \quad m = 1, \dots, 20 \quad (2)$$

$$\sum_{d \in \text{bread}} x(d, m) = 1, \quad m = 1, \dots, 20 \quad (3)$$

At each meal, there could be only one main dish. Equation (4) showed there could be exactly one complete dish, or one combination of one protein dish and one side dish per meal, but not both.

$$\sum_{\substack{d \in \text{complete} \\ \text{dishes}}} x(d, m) + 0.5 \times \sum_{\substack{d \in \text{protein} \\ \text{dishes}}} x(d, m) + 0.5 \times \sum_{\substack{d \in \text{side} \\ \text{dishes}}} x(d, m) = 1, \quad m = 1, \dots, 20 \quad (4)$$

with $\sum_{\substack{d \in \text{protein} \\ \text{dishes}}} x(d, m) \leq 1, \quad \sum_{\substack{d \in \text{side} \\ \text{dishes}}} x(d, m) \leq 1 \text{ and } \sum_{\substack{d \in \text{complete} \\ \text{dishes}}} x(d, m) \leq 1$

Specific constraints

For '4C-' and '5C-' scenarios:

In '5C-' scenarios, every meal included both starter and a dessert as shown in Equation (5) whereas in '4C-' scenarios, exactly 10 meals over 20 included a starter and 10 meals over 20 included a dessert as shown in Equation (6).

$$\sum_{d \in \text{starters}} x(d, m) = 1 \text{ and } \sum_{d \in \text{desserts}} x(d, m) = 1, \quad m = 1, \dots, 20 \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^{20} \sum_{d \in \text{starters}} x(d, m) = 10 \text{ and } \sum_{m=1}^{20} \sum_{d \in \text{desserts}} x(d, m) = 10 \quad (6)$$

For '-FR', 'FR*' and '-FR*' scenarios:

The series of 20 meals must comply with the 15 mandatory FR and 5 recommended FR for vegetarian meals. For example, Equation (7) shows the constraint for maximum FR and Equation (8) for

the minimum FR with $c_i(d)$ the compliance of dish d with the i -est FR where $c_i(d) = 1$ if complied with, and $c_i(d) = 0$ otherwise.

$$\sum_{m=1}^{20} \sum_{d=1}^{2316} x(d, m) \times c_i(d) \leq \text{MAX} \quad (7)$$

$$\sum_{m=1}^{20} \sum_{d=1}^{2316} x(d, m) \times c_i(d) \geq \text{MIN} \quad (8)$$

For 'nVeg', '4Fish' and '4PP' scenarios:

The scenarios with ‘*nVeg*’, ‘*4Fish*’ or ‘*4PP*’ must respect a frequency of *n* vegetarian meals, 4 fish meals and 4 PP meals, respectively, as specified in Equations (9), (10), and (11).

$$\sum_{m=1}^{20} \sum_{d \in \text{vegetarian dish}} x(d, m) = n, \quad n \in \{0; 4; 8; 12; 16; 20\} \quad (9)$$

$$\sum_{m=1}^{20} \sum_{d \in \text{fish dish}} x(d, m) = 4 \quad (10)$$

$$\sum_{m=1}^{20} \sum_{d \in \text{PP dish}} x(d, m) = 4 \quad (11)$$

Moreover, starters in vegetarian meals also could not contain meat or fish (Equation (12)), starters in meals containing a fish dish could not contain meat (Equation (13)) and starters in meals containing a PP dish could not contain fish, red meat, or processed meat (Equation (14)).

$$\sum_{d \in \text{vegetarian dish}} x(d, m) + \sum_{d \in \text{starter with fish or meat}} x(d, m) \leq 1, \quad m = 1, \dots, 20 \quad (12)$$

$$\sum_{d \in \text{fish dish}} x(d, m) + \sum_{d \in \text{starter with meat}} x(d, m) \leq 1, \quad m = 1, \dots, 20 \quad (13)$$

$$\sum_{d \in \text{PP dish}} x(d, m) + \sum_{d \in \text{starter with fish, red or processed meat}} x(d, m) \leq 1, \quad m = 1, \dots, 20 \quad (14)$$

Declarations

Conflicts of interest/Competing interests: The authors have no conflicts of interest to declare

Authors' contributions : All authors contributed to the study concept and design. Data collection and analysis were performed by Romane Poinso. The first draft of the manuscript was written by Romane Poinso and all authors commented and modified previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

References

1. Poore J, Nemecek T (2018) Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science* (80-) 360:987-992 . <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
2. Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, Garnett T, Tilman D, DeClerck F, Wood A, Jonell M, Clark M, Gordon LJ, Fanzo J, Hawkes C, Zurayk R, Rivera JA, De Vries W, Majele Sibanda L, Afshin A, Chaudhary A, Herrero M, Agustina R, Branca F, Lartey A, Fan S, Crona B, Fox E, Bignet V, Troell M, Lindahl T, Singh S, Cornell SE, Srinath Reddy K, Narain S, Nishtar S, Murray CJL (2019) Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* 393:447-492 . [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
3. FAO (2011) The state of the world’s land and water resources for food and agricultures (SOLAW). Managing systems at risk. Rome and London
4. 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 . <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.10.010>

5. WHO (2003) Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases : report of a joint WHO/FAO expert consultation. World Health Organization
6. Boutron-Ruault MC, Mesrine S, Pierre F (2017) Meat Consumption and Health Outcomes. In: Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention. Elsevier Inc., p 197-214
7. Sirot V, Leblanc JC, Margaritis I (2012) A risk-benefit analysis approach to seafood intake to determine optimal consumption. *Br. J. Nutr.* 107:1812-1822
8. Burlingame BA, Dernini S, others (2012) Sustainable diets and biodiversity: directions and solutions for policy, research and action. In: The International Scientific Symposium on Biodiversity and Sustainable Diets: United Against Hunger; 3-5 Nov 2010. FAO, Rome, Italy
9. 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. *Am J Clin Nutr* 97:569-583 . <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.035105>
10. Payne CLR, 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 Nutr* 19:2654-2661 . <https://doi.org/10.1017/S1368980016000495>
11. 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. *Nutr Rev* 75:2-17 . <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw043>
12. Magkos F, Tetens I, Bügel SG, Felby C, Schacht SR, Hill JO, Ravussin E, Astrup A (2019) A Perspective on the Transition to Plant-Based Diets: a Diet Change May Attenuate Climate Change, but Can It Also Attenuate Obesity and Chronic Disease Risk? *Adv Nutr.* <https://doi.org/10.1093/advances/nmz090>
13. Oostindjer M, Aschemann-Witzel J, Wang Q, Skuland SE, Egelanddal B, Amdam G V., Schjøll A, Pachucki MC, Rozin P, Stein J, Lengard Almli V, Van Kleef E (2017) Are school meals a viable and sustainable tool to improve the healthiness and sustainability of children's diet and food consumption? A cross-national comparative perspective. *Crit Rev Food Sci Nutr* 57:3942-3958 . <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1197180>
14. Nicklaus S, Remy E (2013) Early Origins of Overeating : Tracking Between Early Food Habits and Later Eating Patterns. 179-184 . <https://doi.org/10.1007/s13679-013-0055-x>
15. Dubuisson C, Lioret S, Dufour A, Volatier J-L, Lafay L, Turck D (2012) Associations between usual school lunch attendance and eating habits and sedentary behaviour in French children and adolescents. *Eur J Clin Nutr* 66:1335-1341 . <https://doi.org/10.1038/ejen.2012.137>
16. Van Cauwenberghe E, Maes L, Spittaels H, Van Lenthe FJ, Brug J, Oppert JM, De Bourdeaudhuij I (2010) Effectiveness of school-based interventions in Europe to promote healthy nutrition in children and adolescents: Systematic review of published and grey literature. *Br. J. Nutr.* 103:781-797
17. Moffat T, Thrasher D (2016) School meal programs and their potential to operate as school-based obesity prevention and nutrition interventions: case studies from France and Japan. *Crit Public Health* 26:133-146 . <https://doi.org/10.1080/09581596.2014.957654>
18. Anderson ML, Gallagher J, Ramirez Ritchie E (2018) School meal quality and academic performance. *J Public Econ* 168:81-93 . <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2018.09.013>
19. Anses (2021) Consommations alimentaires et apports nutritionnels dans la restauration hors foyer en France [EN :Food consumption and nutritional intake in out-of-home restaurants in France]. Maisons-Alfort, France. <https://www.anses.fr/fr/system/files/OQALI2018SA0291Ra.pdf>
20. ADEME (2020) Le gaspillage alimentaire dans la restauration collective [EN : Food waste in mass catering]. Faits et chiffres 011317:
21. De Laurentiis V, Hunt DVL, Lee SE, Rogers CDF (2019) EATS: a life cycle-based decision support tool for local authorities and school caterers. *Int J Life Cycle Assess* 24:1222-1238 . <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1460-x>
22. République Française (2011) Arrêté du 30 septembre 2011 relatif à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire [EN : Order of September 30, 2011 on the nutritional quality of meals served in school]. In: J. Off. La République Française n°0229. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2011/9/30/AGRG1032380A/jo/texte>. Accessed 14 February 2019

23. République Française (2011) Décret n° 2011-1227 du 30 septembre 2011 relatif à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire. In: J. Off. La République Française n°0229. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2011/9/30/AGRGI032342D/jo/texte>. Accessed 14 February 2019
24. Vieux F, Dubois C, Duchêne C, Darmon N (2018) Nutritional Quality of School Meals in France: Impact of Guidelines and the Role of Protein Dishes. *Nutrients* 10:205 . <https://doi.org/10.3390/nu10020205>
25. République Française (2018) Loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous [EN : Law No. 2018-938 of October 30, 2018 for the balance of commercial relations in the agricultural and food sector and healthy, sustainable food for all]. In: J. Off. la République Française n°0253. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2018/10/30/AGRX1736303L/jo/texte>. Accessed 22 January 2020
26. 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? *Ecol Econ* 75:91-101 . <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.01.003>
27. Demas A, Kindermann D, Pimentel D (2010) School meals: A nutritional and environmental perspective. *Perspect Biol Med* 53:249-256 . <https://doi.org/10.1353/pbm.0.0160>
28. Cerutti AK, Ardente F, Contu S, Donno D, Beccaro GL (2017) Modelling, assessing, and ranking public procurement options for a climate-friendly catering service. *Int J Life Cycle Assess* 23:95-115 . <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1306-y>
29. De Laurentiis V, Hunt DVL, Rogers CDF (2017) Contribution of school meals to climate change and water use in England. *Energy Procedia* 123:204-211 . <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.241>
30. González-García S, González-García R, González Vázquez L, Moreira MT, Leis R (2020) Tracking the environmental footprints of institutional restaurant service in nursery schools. *Sci Total Environ* 728: . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138939>
31. Batlle-Bayer L, Bala A, Aldaco R, Vidal-Monés B, Colomé R, Fullana-i-Palmer P (2021) An explorative assessment of environmental and nutritional benefits of introducing low-carbon meals to Barcelona schools. *Sci Total Environ* 756:143879 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143879>
32. Eustachio Colombo P, Patterson E, Lindroos AK, Parlesak A, Schäfer Elinder L (2020) Sustainable and acceptable school meals through optimization analysis: an intervention study. *Nutr J* 1-15 . <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12937-020-00579-z>
33. Benvenuti L, De Santis A, Santesarti F, Tocca L (2016) An optimal plan for food consumption with minimal environmental impact: The case of school lunch menus. *J Clean Prod* 129:704-713 . <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.051>
34. Eustachio Colombo P, Patterson E, Schäfer Elinder L, Lindroos AK, Sonesson U, Darmon N, Parlesak A (2019) Optimizing School Food Supply: Integrating Environmental, Health, Economic, and Cultural Dimensions of Diet Sustainability with Linear Programming. *Int J Environ Res Public Health* 16: . <https://doi.org/10.3390/ijerph16173019>
35. Ribal J, Fenollosa ML, García-Segovia P, Clemente G, Escobar N, Sanjuán N (2016) Designing healthy, climate friendly and affordable school lunches. *Int J Life Cycle Assess* 21:631-645 . <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0905-8>
36. Ministère de l'Economie, Direction des Affaires Juridiques, Observatoire Economique de l'Achat Public, Groupe d'Etude des Marchés de Restauration Collective et Nutrition (GEM-RCN) (2015) Recommandation nutrition [EN : Nutrition guidelines]. Version 2.0 - Juillet 2015. Paris, France
37. Conseil National de la restauration Collective (CNRC) (2020) Expérimentation du menu végétarien [EN : Experimenting with the vegetarian menu]. Paris, France
38. Poinot R, Vieux F, Dubois C, Darmon N (2020) Nutritional Dishes at School : Are Nutrient Profiling Systems Sufficiently Informative ? *Nutrients*
39. French Agency for Food Environmental and Occupational Health & Safety (2016) Ciquel French food composition table for nutritional intakes calculation CALNUT
40. Arnault N, Caillot L, Castetbon K, Coronel S, Deschamps V, Fezeu L, Fiquette M, Galan P, Guénard-Charpentier F, Herberg S (2013) Table de Composition des aliments Nutrinet-Santé [EN : Nutrinet-Santé food composition table]. Paris, France

41. French Agency for Food Environmental and Occupational Health & Safety (2013) ANSES-CIQUAL French food composition table. <https://ciqual.anses.fr/>
42. ADEME (2020) AGRIBALYSE v3.0. <https://doc.agribalyse.fr/documentation-en/agribalyse-data/data-access>. Accessed 15 November 2020
43. French Agency for Food Environmental and Occupational Health & Safety (2017) Third Individual and National Survey on Food Consumption (INCA3 survey). <https://www.anses.fr/en/content/opinion-anses-third-individual-and-national-survey-food-consumption-inca3-survey>. Accessed 10 avr 2020
44. ADEME (2020) AGRIBALYSE® documentation. <https://doc.agribalyse.fr/documentation-en/agribalyse-data/life-cycle-assessment-method>. Accessed 8 April 2021
45. Wickramasinghe K, Rayner M, Goldacre M, Townsend N, Scarborough P (2017) Environmental and nutrition impact of achieving new School Food Plan recommendations in the primary school meals sector in England. *BMJ Open* 7:e013840 . <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2016-013840>
46. Bechthold A, Boeing H, Tetens I, Schwingshackl L, Nöthlings U (2018) Perspective: Food-based dietary guidelines in Europe-scientific concepts, current status, and perspectives. *Adv Nutr* 9:544-560 . <https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMY033>
47. Jungbluth N, Keller R, König A (2015) ONE TWO WE—life cycle management in canteens together with suppliers, customers and guests. *Int J Life Cycle Assess* 21:646-653 . <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0982-8>
48. Cooreman-Algoed M, Huysveld S, Lachat C, Dewulf J (2020) How to integrate nutritional recommendations and environmental policy targets at the meal level: A university canteen example. *Sustain Prod Consum* 21:120-131 . <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.10.004>
49. de Gavelle E, Leroy P, Perrimon M, Huneau JF, Sirot V, Orset C, Fouillet H, Soler LG, Mariotti F (2020) Modeled gradual changes in protein intake to increase nutrient adequacy lead to greater sustainability when systematically targeting an increase in the share of plant protein. *Clim Change* 161:129-149 . <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02592-6>
50. Grasso AC, Olthof MR, van Dooren C, Broekema R, Visser M, Brouwer IA (2021) Protein for a healthy future: How to increase protein intake in an environmentally sustainable way in older adults in the Netherlands. *J Nutr* 151:109-119 . <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa322>
51. Rossi L, Ferrari M, Martone D, Benvenuti L (2021) The Promotions of Sustainable Lunch Meals in School Feeding Programs : The Case of Italy
52. Lupoli R, Vitale M, Calabrese I, Giosuè A, Riccardi G, Vaccaro O (2021) White Meat Consumption, All-Cause Mortality, and Cardiovascular Events: A Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Nutrients* 13:1-20 . <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu13020676>
53. Eustachio Colombo P, Schäfer Elinder L, Patterson E, Lindroos AK, Andermo S (2021) Barriers and Facilitators to Successful Implementation of Sustainable School Meals: A Qualitative Study of the OPTIMATTM-Intervention (Preprints). *Res Sq* 1-21 . <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-139427/v1>
54. Sorensen LB, Damsgaard CT, Dalskov SM, Petersen RA, Egelund N, Dyssegaard CB, Stark KD, Andersen R, Tetens I, Astrup A, Michaelsen KF, Lauritzen L (2015) Diet-induced changes in iron and n-3 fatty acid status and associations with cognitive performance in 8-11-year-old Danish children: Secondary analyses of the Optimal Well-Being, Development and Health for Danish Children through a Healthy New Nordic Diet. *Br J Nutr* 114:1623-1637 . <https://doi.org/10.1017/S0007114515003323>
55. ADEME, A(R)GILE, Biens Communs, Framhein, Effet2Levier, Maiom (2021) Freins et leviers pour une restauration scolaire plus durable, volet 1 [EN : Barriers and levers for a more sustainable school catering, part 1]. Angers, France. <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/freins-leviers-restauration-scolaire-durable-2021-rapport.pdf>
56. Fernandez-Inigo H, Magrini M-B (2020) Les légumineuses en restauration collective : une enquête menée auprès des cuisines en 2019 [EN : Legumes in mass catering : a survey of kitchens in 2019]. https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/2020_INRAE_4P_Les%20legumineuses%20en%20restauration%20collective.pdf
57. Ministère des Solidarités et de la Santé (2019) Proposer une tarification sociale dans les cantines [EN : Offer social pricing in canteens]. <https://solidarites-sante.gouv.fr/affaires-sociales/lutte-contre-l-exclusion/lutte-pauvrete-gouv-fr/la-mise-en-oeuvre/assurer-l-egalite-des-chances-des-les-premiers->

pas/article/tarification-sociale-des-cantines. Accessed 26 May 2021

58. García-Herrero L, De Menna F, Vittuari M (2019) Food waste at school. The environmental and cost impact of a canteen meal. *Waste Manag* 100:249-258 . <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.027>
59. Cohen JFW, Richardson S, Austin SB, Economos CD, Rimm EB (2013) School lunch waste among middle school students: Nutrients consumed and costs. *Am J Prev Med* 44:114-121 . <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.09.060>
60. Smith SL, Cunningham-Sabo L (2014) Food choice, plate waste and nutrient intake of elementary-and middle-school students participating in the US National School Lunch Program. *Public Health Nutr* 17:1255-1263 . <https://doi.org/10.1017/S1368980013001894>
61. Giboreau A, Schwartz C, Morizet D, Meiselman HL (2019) Measuring Food Waste and Consumption by Children Using Photography. *Nutrients* 11:1-10 . <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu11102410>
62. Wardle J, Herrera ML, Cooke L, Gibson EL (2003) Modifying children's food preferences: The effects of exposure and reward on acceptance of an unfamiliar vegetable. *Eur J Clin Nutr* 57:341-348 . <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601541>
63. Balzaretti CM, Ventura V, Ratti S, Ferrazzi G, Spallina A, Carruba MO, Castrica M (2018) Improving the overall sustainability of the school meal chain: the role of portion sizes. *Eat Weight Disord* 0:1-10 . <https://doi.org/10.1007/s40519-018-0524-z>
64. Perignon M, Barré T, Gazan R, Amiot M-J, Darmon N (2016) The bioavailability of iron, zinc, protein and vitamin A is highly variable in French individual diets: Impact on nutrient inadequacy assessment and relation with the animal-to-plant ratio of diets. *Food Chem* 238:73-81 . <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.070>
65. Ali M, Sufahani S, Ismail Z (2016) A new diet scheduling model for Malaysian school children using zero-one optimization approach. *Glob J Pure Appl Math* 12:413-419
66. Segredo E, Miranda G, Ramos JM, León C, Rodríguez-león C (2020) SCHOOLTHY : Automatic Menu Planner for Healthy and Balanced School Meals. *IEE Access* X: . <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3003067>
67. Szeremeta Spak MD, Colmenero JC (2021) University restaurants menu planning using mathematical modelling. *J Food Nutr Res* 1-11

3.2.4 Informations complémentaires à la Contribution 3

Supplemental Table S1: The 15 mandatory and 5 recommended frequency rules for school meal service in France.

	Component(s) concerned	Expected frequency
The 15 mandatory frequency rules for a series of 20 consecutive meals		
1. Starters containing more than 15% fat	Starter	4/20 max
2. Raw vegetable or fruit dishes containing at least 50% vegetables or fruits	Starter	10/20 min
3. Dishes to fry or pre-fried dishes containing more than 15% fat	Protein dish, side dish	4/20 max
4. Protein dishes with a ratio of protein/fats ≤ 1	Protein dish	2/20 max
5. Fish or fish-based dishes containing at least 70% fish and having a ratio of P/F ≥ 2	Protein dish	4/20 min
6. Unground beef, veal, lamb, offal	Protein dish	4/20 min
7. Preparations or ready-to-eat dishes containing less than 70% of the recommended weight for the portion of meat, fish or eggs	Protein dish	3/20 max
8. Vegetables, other than pulses, alone or in a mixture containing at least 50% vegetables	Side dish	= 10/20
9. Pulses, starches, or grains, alone or in a mixture containing at least 50% pulses, starches, or grains	Side dish	= 10/20
10. Cheese containing at least 150 mg of calcium per portion	Starter, dairy product	8/20 min
11. Cheese with a calcium content of more than 100 mg and less than 150 mg per portion	Starter, dairy product	4/20 min
12. Dairy (fresh dairy products, dairy-based desserts) containing more than 100 mg of calcium from milk, and less than 5 g of fat per portion	Dairy product, dessert	6/20 min
13. Desserts containing more than 15% fat	Dessert	3/20 max
14. Desserts or dairy products containing more than 20 g of total simple sugars per portion and less than 15% fat	Dairy product, dessert	4/20 max
15. Raw fruit dessert 100% raw fruit without added sugars	Dessert	8/20 min
The 5 recommended frequency rules associated with the compulsory service of 1 vegetarian meal per week (i.e., 4 vegetarian meals in a series of 20 consecutive meals)		
16. Protein dish or complete dish ¹ where the main sources of protein are cereals and/or pulses (excluding soya)	Protein dish	2/4 min
17. Protein dish or complete dish where the main source of protein is egg	Protein dish	1/4 max
18. Protein dish or complete dish where the main source of protein is cheese	Protein dish	1/4 max
19. Plant-based processed dish	Protein dish	1/4 max
20. Protein dish or complete dish containing soya	Protein dish	1/4 max

¹A complete dish is a dish where the protein dish and the side dish are incorporated into the same main dish.

Supplemental Table S2. Recommended daily intake of energy and “protective” nutrients (proteins, fiber, essential fatty acids, vitamins, and minerals) for French children of primary school age.

Recommended Daily Intake (1)	
Energy	1996 kcal
Proteins	25 g
Fibres	13 g
Vitamin B1	0.8 mg
Vitamin B2	1.2 mg
Vitamin B3	9 mg
Vitamin B6	1 mg
Vitamin B9	201 µg
Vitamin B12	1.4 µg
Vitamin C	89 mg
Vitamin D	5 µg
Vitamin E	9.1 mg
Vitamin A	501 µg
Calcium	924 mg
Potassium	2,892 mg
Iron	8.2 mg
Magnesium	203 mg
Zinc	9.2 mg
Copper	1.2 mg
Iodine	120 µg
Selenium	39 µg
LA	8.9 g
ALA	2.2 g
DHA	152 mg

(1). Vieux F, Dubois C, Duchêne C, Darmon N (2018) Nutritional Quality of School Meals in France: Impact of Guidelines and the Role of Protein Dishes. *Nutrients* 10:205. <https://doi.org/10.3390/nu10020205>

Supplemental Table S3 Weight, energy, ED, MAR, fat content, content of nutrients to be limited (SFA, total sugars, free sugars, and sodium) and greenhouse gas emissions (GHGE) of meals, in the series of 20 meals (n=100) generated with the 17 scenarios, expressed per meal.

Scenario	Weight (g)	Energy (kcal)	ED (kcal /100g)	MAR (% for 2000 kcal)	Fats (%en.)	SFA (%en.)	Total sugars (%en.)	Free sugars (%en.)	Sodium (mg)	GHGE (kg CO ₂ eq.)
	Mean ± sd								Mean ± sd	
5C	485*± 15.7	753* (37.7%) ± 48.9	155*± 10.1	93.2* ± 2.11	34.2	13.2	12	6.08*	1340*± 117	1.76*± 0.26
4C	409*± 13.7	649* (32.5%) ± 49.1	159*± 11	92.4* ± 2.23	32.7*	13.2	9.46*	4.21*	1230*± 131	1.63*± 0.27
5C-0Veg	490*1± 13	728* (36.5%)± 31.2	148*± 6.72	94.4*± 1.53	36.1*	14.1*	12	6.2*	1330*± 96.7	2.24*± 0.27
5C- 0Veg-FR	497 ± 11.2	701* (35.1%)± 25.3	141*± 5.58	95.7*± 0.89	35.2*	13.6*	12.2	5.22*	1280 ± 85.7	2.24*± 0.22
5C-4Veg	486*± 15.6	748* (37.5%) ± 50.6	154*± 9.55	93.6 ± 2.04	34.7*	13.5*	12.1	6.15*	1350*± 138	1.95 ± 0.27
5C-4 Veg-FR	495 ± 13	712 (35.6%)± 37.6	144 ± 7.89	95.3± 1.26	33.9	13.1	12.2	4.99	1270 ± 102	2.00*± 0.23

4C-4 Veg-FR	418*± 8.15	609* (30.5%)± 42.6	146 ± 9.96	94.9* ± 1.3	32.5*	12.7*	9.88*	2.88*	1120*± 107	1.84*± 0.196
5C-8Veg	487*± 13.7	755* (37.8%) ± 47.2	155*± 9.4	92.8*± 2.01	33.7	13	12.2	6.2*	1330*± 106	1.66*± 0.23
5C- 8Veg-FR	495 ± 11.3	724* (36.3%)± 44.1	146*± 8.92	94.4*± 1.46	32.2*	12.6*	12.4	4.94	1260 ± 122	1.77*± 0.17
5C- 12Veg	483*± 14	758* (38%)± 55.6	157*± 11.6	92*± 2.32	33.3	12.6*	12.4	6.22*	1290 ± 113	1.39*± 0.20
5C- 12Veg- FR	490*± 11.6	721 (36.1%)± 52.4	147*± 10.7	93.9*± 1.97	30.3*	11.6*	12.7*	5.03	1220*± 122	1.51*± 0.10
5C- 20Veg	478*± 14	764* (38.3%)± 66.3	160*± 14.2	88.2*± 2.22	31*	11.6*	12.7*	6.03*	1260 ± 153	0.82*± 0.05
5C- 20Veg- FR**	484*± 10.6	759* (38%) ± 60.8	157*± 12.3	88.1*± 2.21	28.3*	10.6*	12.5*	4.74*	1210*± 128	0.78*± 0.05
5C- 16Veg- 4Fish	480*± 13.6	751* (37.6%)± 55.8	156*± 12.4	92.6*± 2.33	32.5*	12.1*	12.6*	6.02*	1260 ± 122	0.96*± 0.06
5C- 16Veg- 4Fish- FR*	487*± 11.6	735* (36.8%)± 62.9	151*± 13	92.6*± 2.43	29*	11*	12.6*	4.91	1220*± 130	0.93*± 0.05
5C- 12Veg- 4Fish- 4PP	486*± 13.7	748* (37.5%)± 50.4	154*± 10.3	93.2*± 1.69	32.2*	12*	12.6*	6.11*	1300 ± 135	1.05*± 0.06
5C- 12Veg- 4Fish- 4PP - FR*	491*± 10.6	724 (36.2%)± 53.1	147*± 10.8	94.0*± 1.72	30.3*	11.3*	12.6*	4.90	1270 ± 142	1.01*± 0.06

ED: Energy Density. MAR: Mean Adequacy Ratio. SFA: Saturated fatty Acids. GHGE: Greenhouse gas emissions. sd: standard deviation.

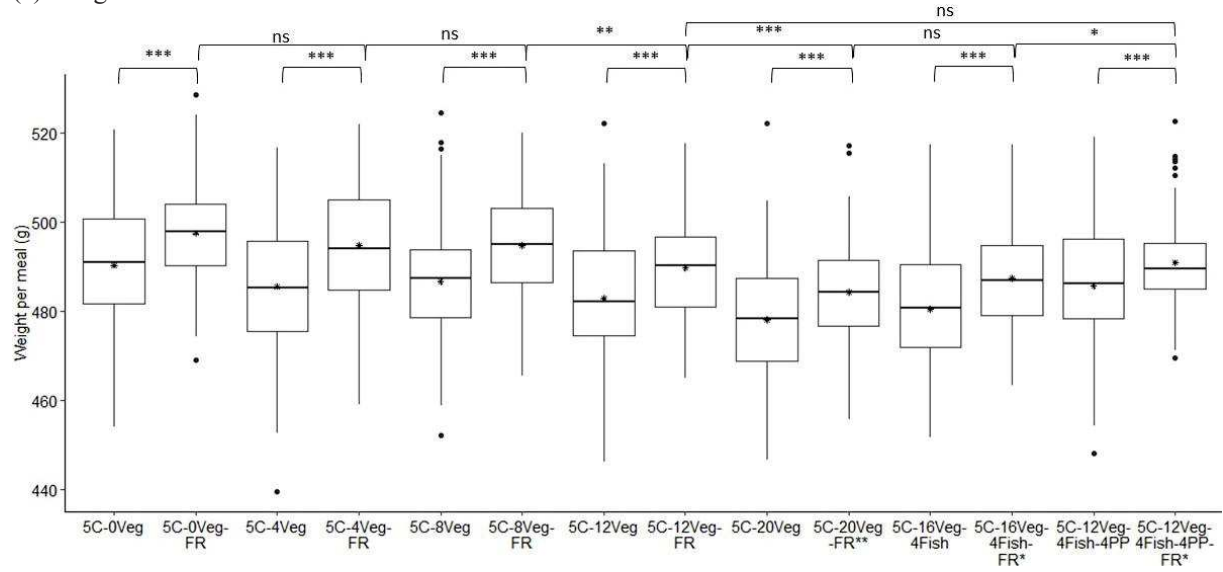
For each scenario, values were compared with the '5C-4Veg-FC' reference scenario using the t-test. * indicates a statistically significant difference between the two scenarios (p<0.05)

%rec.: percentage of the daily recommendation weighted by age: 1996 kcal for energy (1).

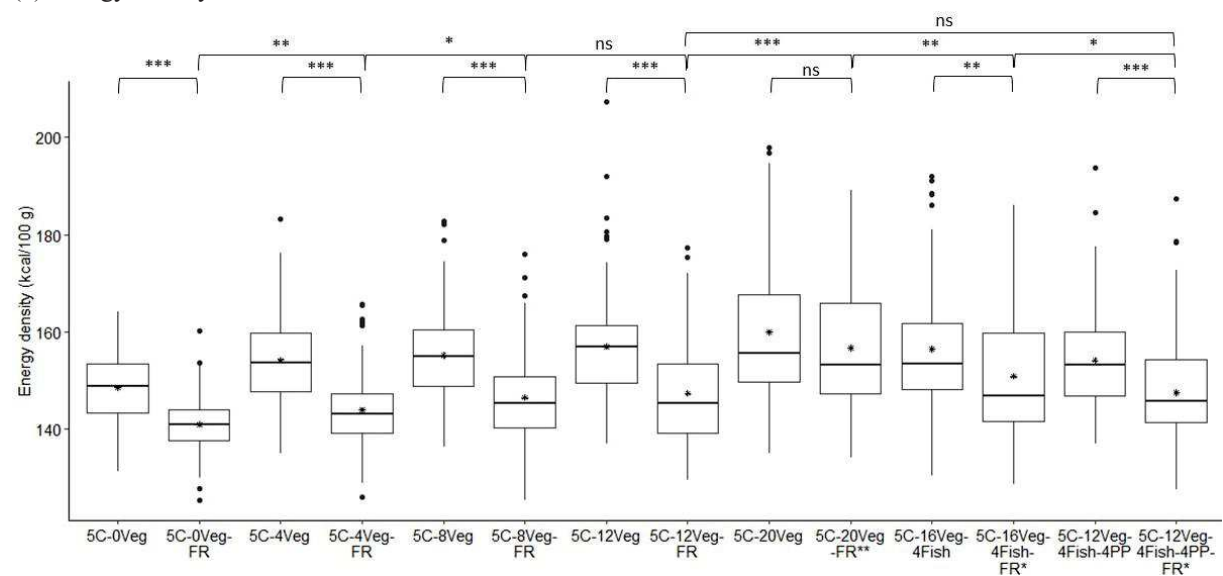
%en.: Percentage of energy intake.

(1). Vieux F, Dubois C, Duchêne C, Darmon N (2018) Nutritional Quality of School Meals in France: Impact of Guidelines and the Role of Protein Dishes. *Nutrients* 10:205. <https://doi.org/10.3390/nu10020205>

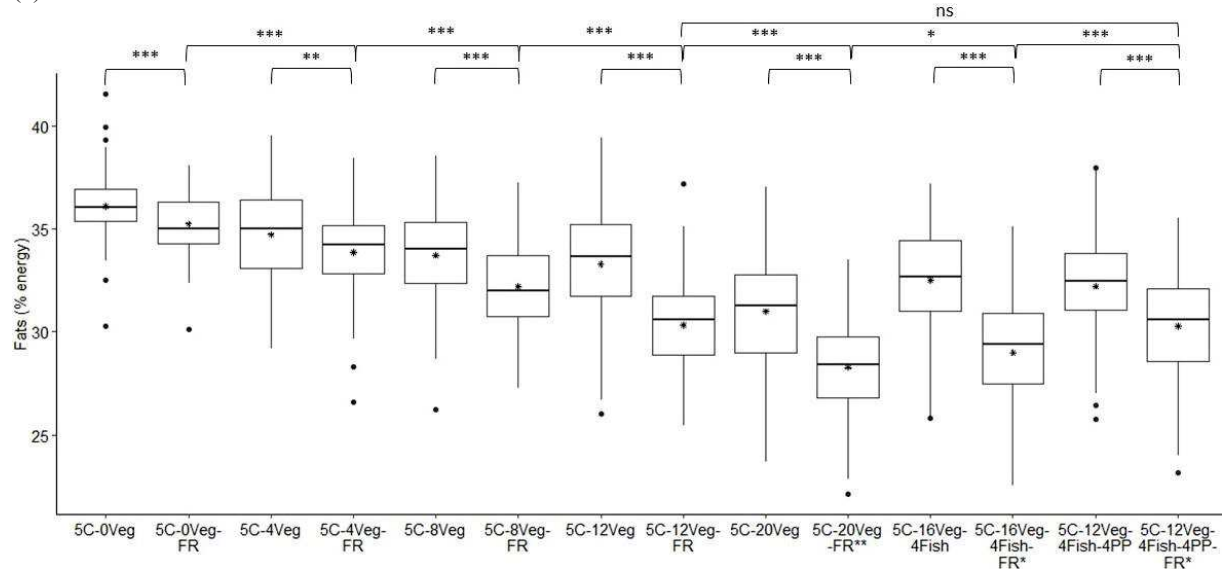
(a) Weight



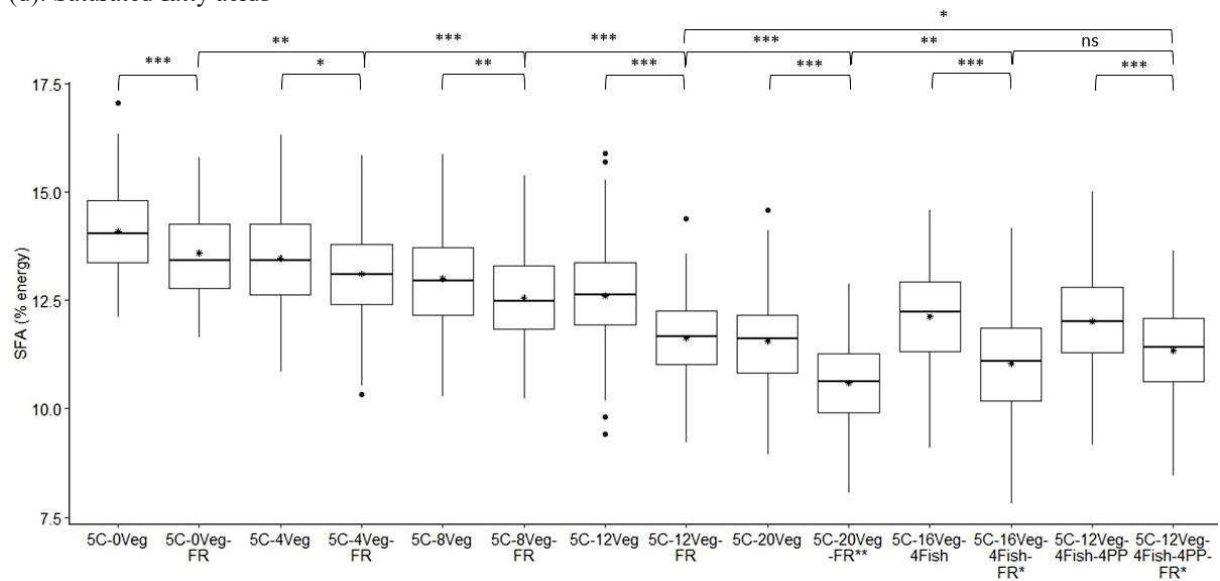
(b) Energy density



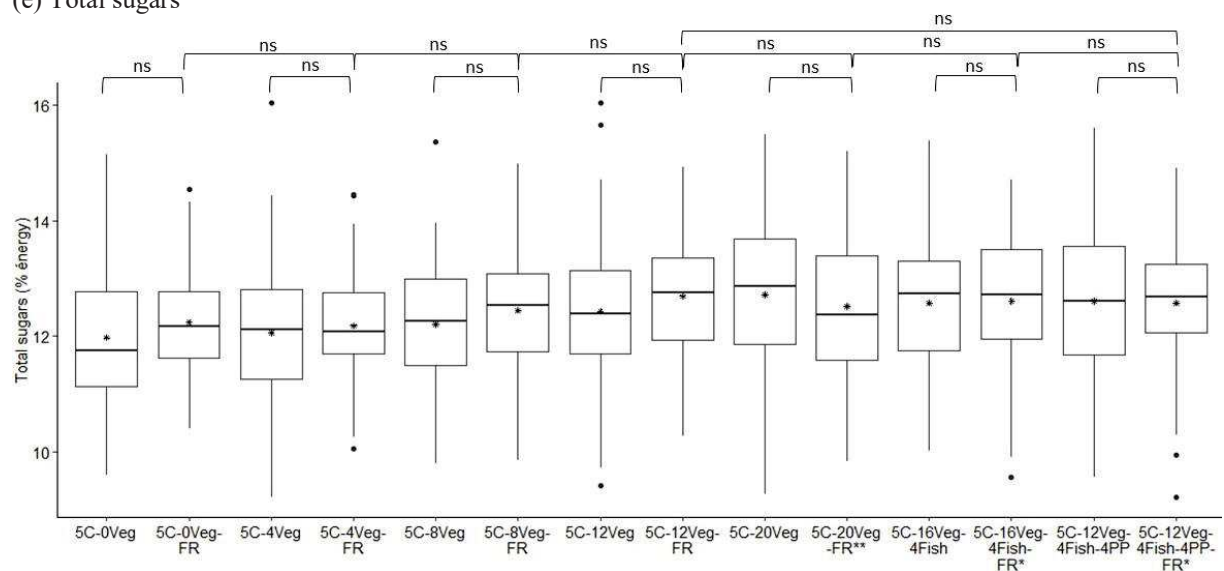
(c) Fats



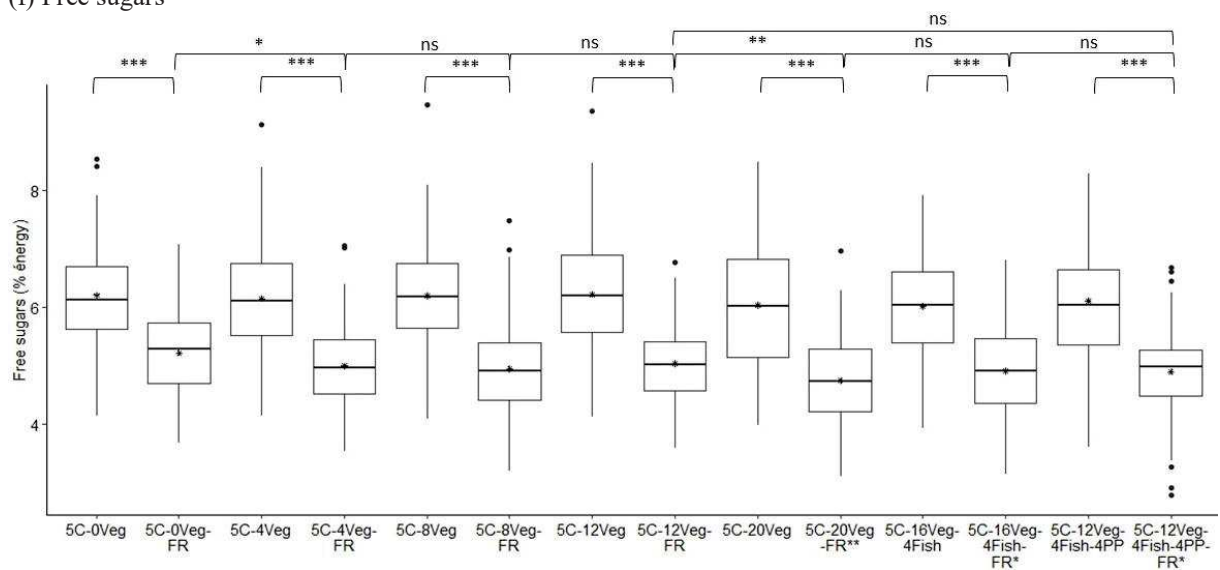
(d). Saturated fatty acids



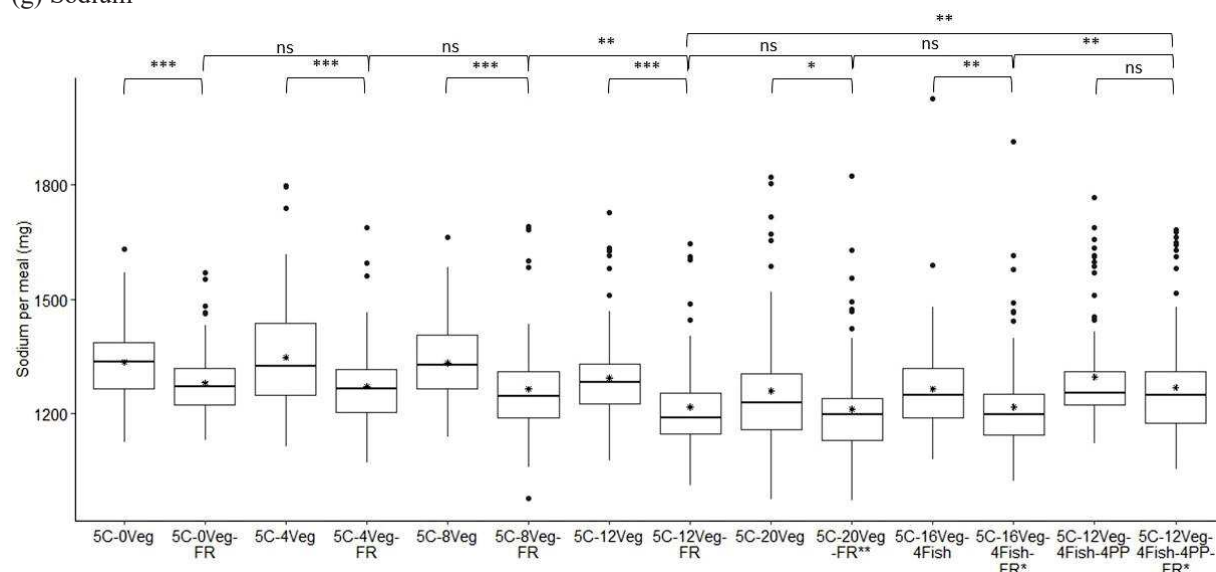
(e) Total sugars



(f) Free sugars



(g) Sodium



Supplemental Fig. S4 a) Weight; b) energy density; c) fats; d) Saturated fatty acids; e) total sugars; f) free sugars and g) sodium content of meals, in the series of 20 meals (n=100) generated with the 5 components (5C) scenarios, expressed per meal. Variables were compared between two scenarios using t-test. ‘*’: p-value <0.001, ‘**’: p-value <0.01, ‘*’: p-value <0.05, ‘ns’: not significant.**

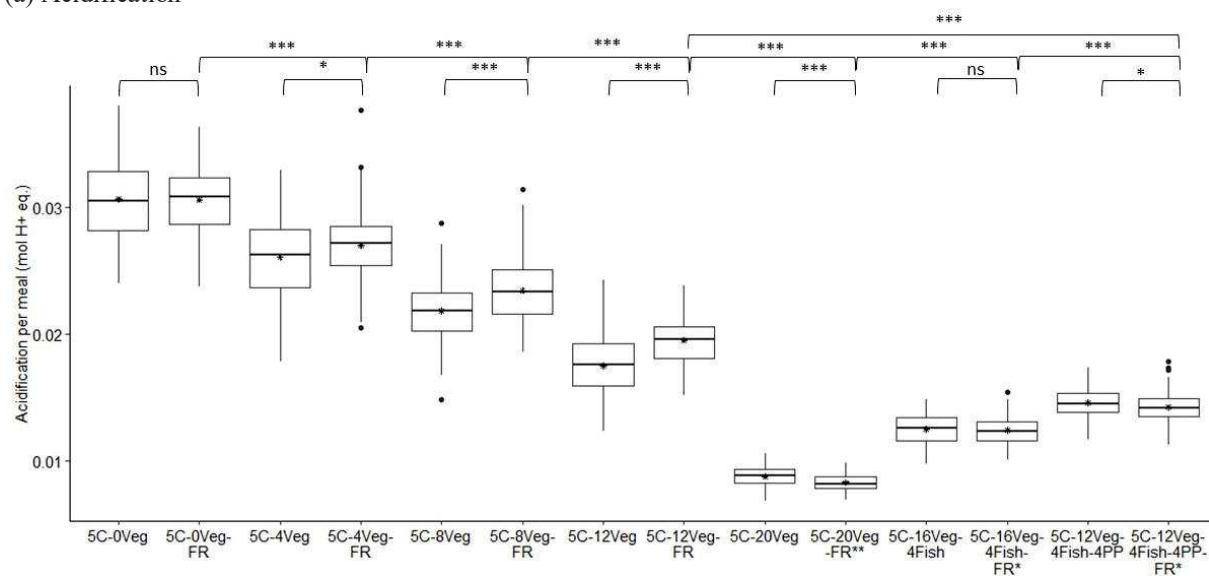
Supplemental Table S5 Average environmental impacts (acidification, climate change, water use, fossil resource use, freshwater eutrophication, marine eutrophication, and land use) of meals, in the series of 20 meals (n=100) generated with the 5 components (5C) scenarios, expressed per meal.

Scenario	Acidification (mol H ⁺ eq.)	GHGE (kg CO ₂ eq.)	Water use (m ³ world eq)	Fossil resources use (MJ)	Freshwater eutrophication (kg P eq.)	Marine eutrophic- ation (kg N eq.)	Land use (points)
Mean ± sd							
5C-0Veg	0.031*± 0.003	2.24*± 0.27	1.66*± 0.17	19.9*± 0.87	0.307 ± 0.067	9.05*± 0.74	118*± 18.9
5C-0Veg-FR	0.031*± 0.003	2.24*± 0.22	1.83*± 0.24	19.7*± 0.87	0.323*± 0.076	9.04*± 0.59	116*± 15.2
5C-4Veg	0.026*± 0.003	1.95 ± 0.27	1.58*± 0.1	18.1 ± 0.91	0.281 ± 0.059	7.91*± 0.75	102 ± 19.6
5C-4 Veg-FR	0.027 ± 0.003	2 ± 0.23	1.74 ± 0.21	18.1 ± 0.8	0.29 ± 0.071	8.21 ± 0.61	104 ± 15.7
5C-8Veg	0.022*± 0.002	1.66*± 0.23	1.48*± 0.17	16.6*± 0.83	0.255*± 0.056	6.86*± 0.59	86.8*± 17
5C-8Veg-FR	0.024*± 0.003	1.77*± 0.18	1.7 ± 0.18	16.7*± 0.81	0.254*± 0.050	7.29*± 0.52	90.8*± 12
5C-12 Veg	0.018*± 0.002	1.39*± 0.20	1.44*± 0.18	15.1*± 0.72	0.232*± 0.052	5.78*± 0.51	71.7*± 14.2
5C-12 Veg-FR	0.020*± 0.002	1.51*± 0.10	1.56*± 0.19	14.9*± 0.64	0.237*± 0.068	6.42*± 0.36	78.2*± 8.83
5C-20Veg	0.009*± 0.001	0.82*± 0.05	1.26*± 0.15	11.5*± 0.62	0.165*± 0.012	3.59*± 0.24	42.7*± 2.73
5C-20Veg-FR**	0.008*± 0.001	0.78*± 0.05	1.42*± 0.18	11.1*± 0.65	0.161*± 0.013	3.44*± 0.22	40.6*± 2.75

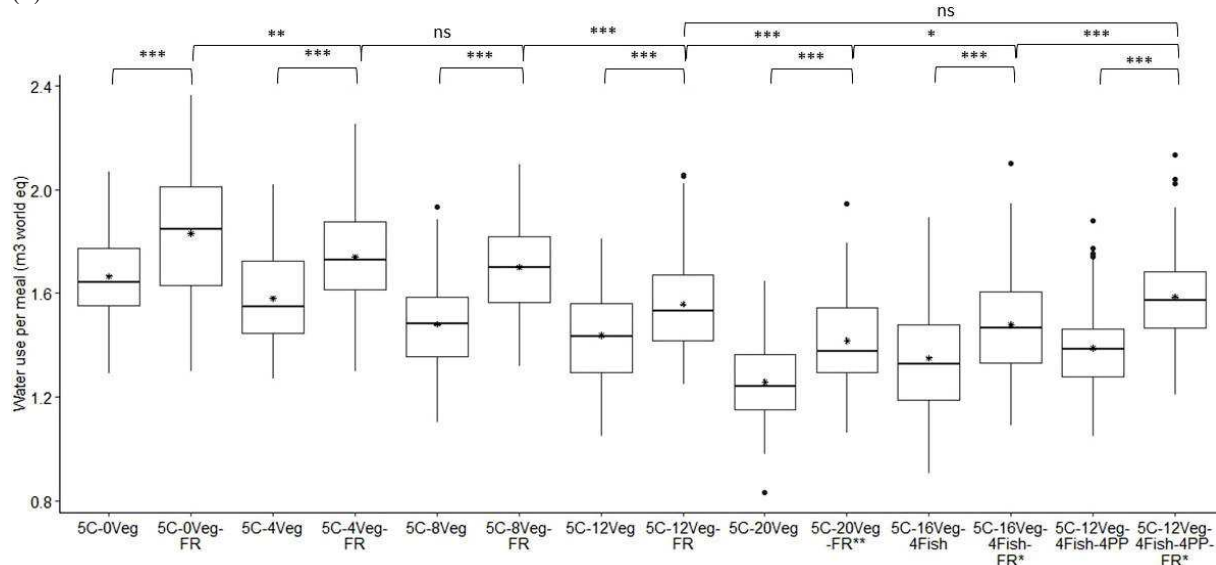
5C- 16VegE- 4Fish	0.012*± 0.001	0.96 *± 0.06	1.35*± 0.22	13.5*± 0.79	0.222*± 0.072	4.7*± 0.34	42.5*± 2.9
5C- 16Veg- 4Fish-FR*	0.012*± 0.001	0.93*± 0.06	1.48*± 0.2	13.5*± 0.74	0.203*± 0.056	4.54*± 0.30	39.9*± 2.65
5C- 12Veg- 4Fish-4PP	0.015*± 0.001	1.05*± 0.06	1.39*± 0.16	15.1*± 0.73	0.225*± 0.054	5.08*± 0.31	47.5*± 3.12
5C- 12Veg- 4Fish-4PP -FR*	0.014*± 0.001	1.01*± 0.06	1.59*± 0.19	14.9*± 0.73	0.238*± 0.067	5.03*± 0.33	45.4*± 2.82

sd: standard deviation. For each scenario, values were compared with the '5C-4Veg-FC' reference scenario using the t-test * indicates a statistically significant difference between the two scenarios (p<0.05). GHGE: Greenhouse gas emissions

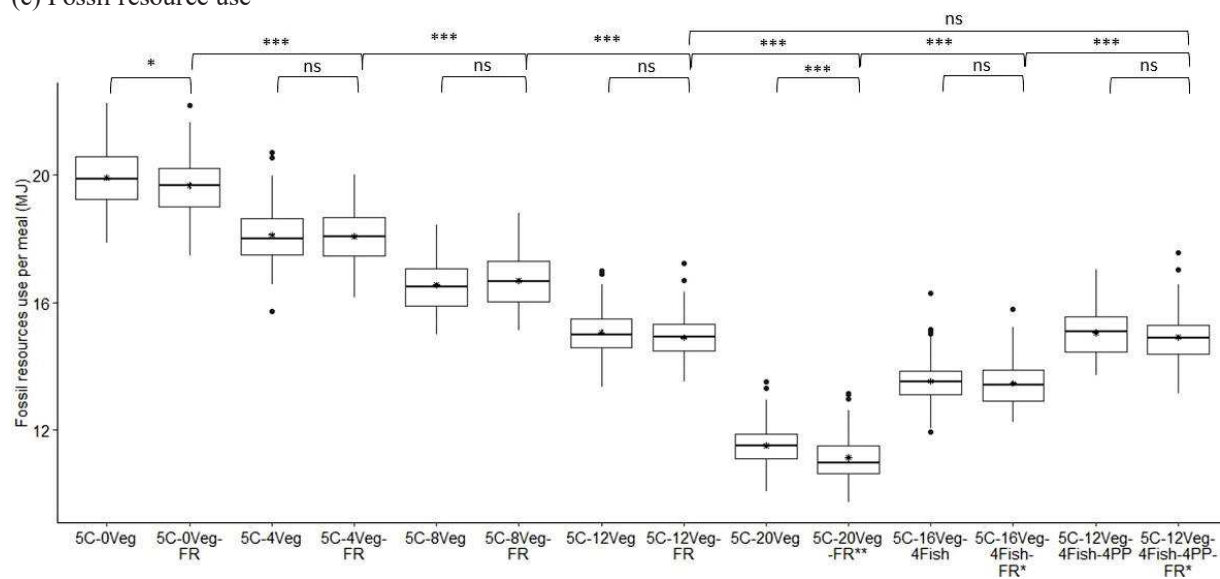
(a) Acidification



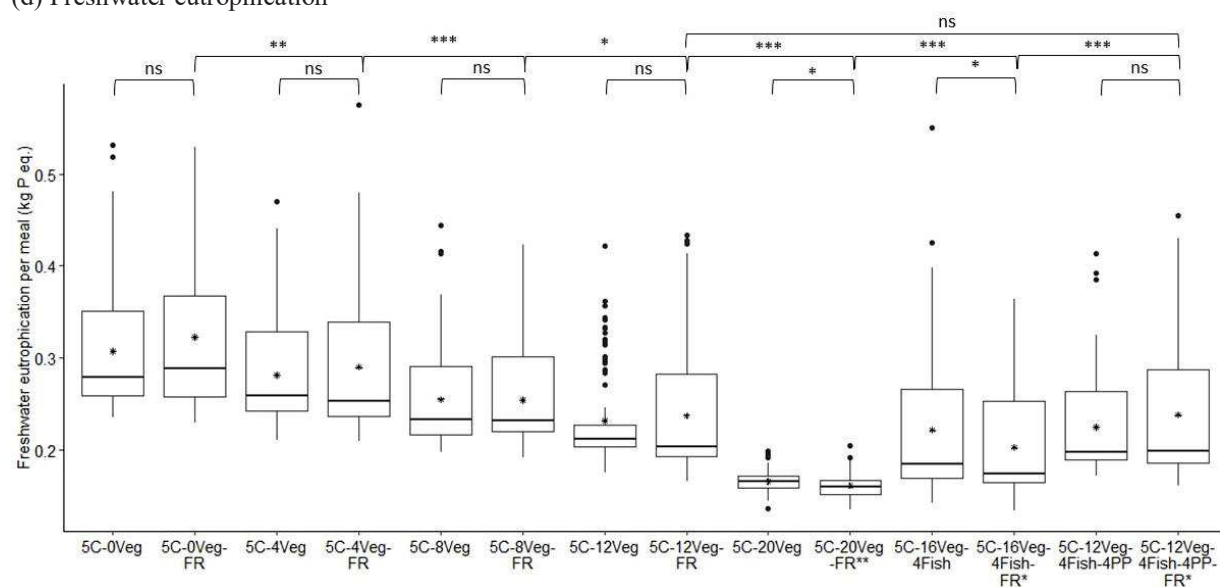
(b) Water use



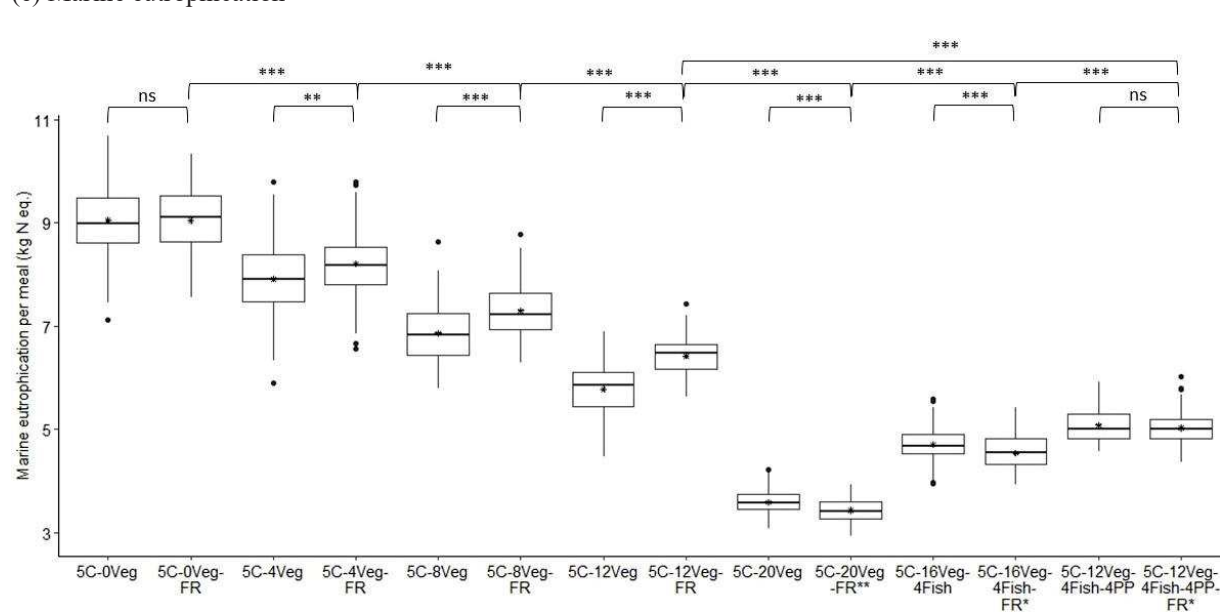
(c) Fossil resource use



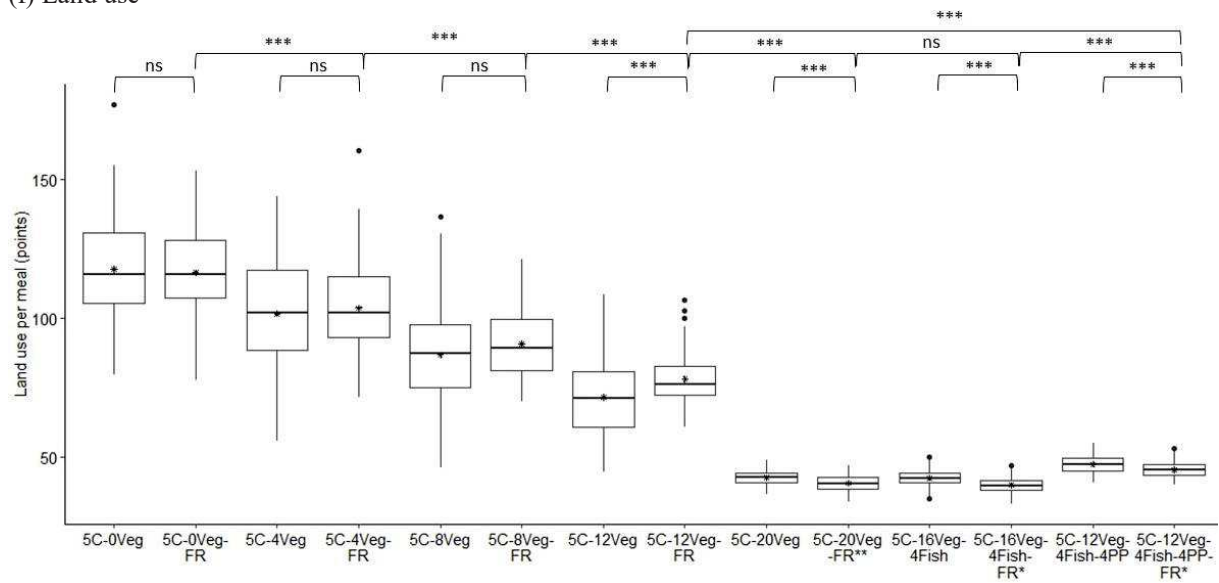
(d) Freshwater eutrophication



(e) Marine eutrophication



(f) Land use



Supplemental Fig. S6 **a** Acidification; **b** water use; **c** fossil resource use; **d** freshwater eutrophication; **e** marine eutrophication and **f** land use of meals, in the series of 20 meals (n=100) generated with the scenarios of 5 components, average values expressed per meal. Variables were compared between two scenarios using t-test. '****': p-value <0.001, '***': p-value <0.01, '**': p-value <0.05, 'ns': not significant.

CHAPITRE 4: DISCUSSION GENERALE

Au cours de cette thèse, nous avons analysé la qualité nutritionnelle de plats principaux végétariens servis en restauration scolaire en France sur la base de l'adéquation nutritionnelle en plusieurs nutriments et des algorithmes sous-jacents aux systèmes Nutri-Score et SAIN, LIM (**Contribution 2**). Nous avons également identifié des solutions pour concilier nutrition et environnement dans les repas scolaires en jouant sur quatre leviers : i) réduire le nombre de composantes du repas, ii) respecter les règles de fréquences de service de plats imposées par la réglementation française en restauration scolaire, iii) augmenter le nombre de repas végétariens et iv) éviter la viande de ruminant dans les repas non-végétariens (**Contribution 3**).

Ce travail de thèse a été possible grâce à la constitution d'une base de données unique de plats servis en restauration scolaire en France. Nous avons enrichi une base existante préalablement développée par l'équipe avec un grand nombre de plats végétariens servis en restauration scolaire (**Contribution 2**) et différents indicateurs d'impact environnemental (**Contribution 3**). L'avantage de cette base de données est qu'elle s'appuie sur des informations précises non génériques. En effet, à l'exception d'une minorité de plats industriels dont la recette n'était pas connue, la composition nutritionnelle et l'impact environnemental des plats ont été calculés à partir de ceux des ingrédients qui les composaient, la composition en ingrédients de chaque plat étant déterminée à partir de la fiche technique détaillée fournie par des professionnels de terrain mettant en œuvre ces recettes. La base de données regroupe un grand nombre de plats très divers, à savoir 512 entrées, 683 plats protidiques et 206 plats complets, 440 garnitures, 137 produits laitiers et 337 desserts. A notre connaissance, c'est la première fois qu'une telle base de données est utilisée pour des travaux académiques. D'autres bases de plats servis à la cantine existent mais ne regroupent pas toutes ses qualités. Il s'agit la plupart du temps de données moins fiables car les compositions nutritionnelles des plats sont généralement déduites par rapprochement direct entre le nom du plat servi à la cantine et le nom d'un aliment proche dans une table de composition nutritionnelle (par exemple dans l'étude Dubuisson et al. (2009) dans des établissements du secondaire en France et Wickramasinghe et al. (2016) dans des écoles en Angleterre). D'autres bases contiennent beaucoup moins de plats (par exemple, celle de l'étude de Rossi et al. (2021) ne contenait que 194 recettes). Des fiches techniques de plats servis à la cantine sont aussi mises à disposition en ligne pour et par des professionnels de la restauration collective mais elles contiennent uniquement les informations nutritionnelles nécessaires au contrôle du respect des règles fréquentielles (EMApp, 2019; Menu-Co, 2021).

L'analyse effectuée à partir des 889 plats protidiques et plats complets de la base constituée dans le cadre de cette thèse (908 fiches techniques récoltées, dont 19 seulement ont dû être exclues faute d'informations suffisantes) a montré que résumer la qualité nutritionnelle globale d'un plat en un score ou un classement unique n'était pas suffisamment informatif car les plats végétaliens étaient en moyenne bien classés malgré leurs insuffisances nutritionnelles en acides gras oméga 3, en calcium, en vitamine B2 ou en vitamine B12 dans les plats sans produits animaux par exemple. De plus le Nutri-Score était fortement corrélé au LIM, indiquant qu'un plat contenant peu de nutriments à limiter pouvait suffire à le caractériser comme étant de bonne qualité nutritionnelle alors qu'il est peut-être de faible densité nutritionnelle. Or, il est question dans le PNNS d'expérimenter l'affichage du Nutri-Score dans la restauration collective et plus spécifiquement les restaurants scolaires (action 7 du

PNNS4 (Ministère des Solidarités et de la Santé, 2019)), afin d'informer les parents (des plus jeunes convives qui n'ont pas de libre choix au déjeuner) sur les menus ou d'aider les convives (adolescents et adultes) à faire des choix alimentaires de « meilleure qualité nutritionnelle ». Le risque de se fier uniquement à ces indicateurs est de trop simplifier la qualité nutritionnelle des plats en les classant en « sains » ou « mauvais » uniquement sur la base des teneurs en cinq nutriments (protéines, fibres, acides gras saturés, sucres totaux, sodium), du contenu calorique et de la composition en fruits et légumes. La quantité consommée et la fréquence de consommation, dont l'impact sur la qualité nutritionnelle globale est majeur, ne sont pas prises en compte dans les systèmes de profilage nutritionnel des aliments (Visioli et al., 2021).

Dans notre étude sur la qualité nutritionnelle des plats végétariens, nous avons catégorisé ces plats en trois sous-catégories selon les ingrédients qu'ils contenaient : plats végétariens à base de fromage (pouvant contenir d'autres produits laitiers et/ou des œufs), plats végétariens à base d'œuf (pouvant contenir des produits laitiers mais pas de fromage), et, plats végétariens sans aucun produit d'origine animale. (**Contribution 2** et Darmon et al., 2020). Nous avons vu que ces trois sous-catégories de plats végétariens avaient des atouts et des défauts nutritionnels différents. En particulier, la sous-catégorie des plats à base d'œuf (et sans fromage) présentait une qualité nutritionnelle intéressante, suggérant qu'elle ne devrait pas être négligée dans les plans de menus. Pour les plats végétariens à base de fromage, une analyse complémentaire a montré qu'il serait judicieux de limiter les plats contenant plus de 12 g de fromage pour 100g de plat (Darmon et al., 2020). Or, dans le guide publié plus tard par le CNRC, il est recommandé de limiter les plats végétariens à base d'œufs afin d'assurer la diversité des plats proposés. En effet, d'après l'étude de Vieux et al. qui était la seule disponible sur le sujet en 2019, les plats protidiques végétariens servis en France étaient composés d'une majorité de plats à base d'œufs (ex. omelettes) (Vieux et al., 2018a) mais le guide du CNRC ne distingue pas les plats à base d'œufs et fromage des repas à base d'œufs sans fromage, comme nous avons pu le faire dans la **Contribution 2**.

Dans l'étude sur la génération de séries de repas (**Contribution 3**), nous avons intégré les recommandations du CNRC sur les fréquences de service des différents types de plats végétariens dans les scénarios testés car bien qu'elles ne soient données qu'à titre indicatif, il s'agit tout de même de recommandations officielles qui peuvent potentiellement devenir un jour obligatoires. Le meilleur compromis entre nutrition et environnement identifié parmi les scénarios développés correspondait à une augmentation de la fréquence de repas végétariens de quatre (minimum exigé par l'expérimentation du repas végétarien hebdomadaire) à douze sur vingt et en respectant l'ensemble des règles de fréquence de service (i.e. les quinze obligatoires (Ministère de l'agriculture de l'alimentation de la pêche de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 2011a) et les cinq relatives aux repas végétariens (CNRC, 2020)). Les douze repas végétariens complétés par quatre repas avec du poisson et quatre repas avec de la viande de ruminant permettaient de diminuer de 25% les EGES par rapport aux séries comprenant quatre repas végétariens sur vingt, ces dernières étant considérées comme séries « de référence » car elles étaient en accord avec l'expérimentation des repas végétariens hebdomadaires et avec la réglementation nutritionnelle actuelle (Ministère de l'agriculture de l'alimentation de la pêche de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 2011a;

République Française, 2018). Avec le scénario dans lequel la règle de fréquence sur la viande de ruminant était remplacée par le service de quatre viandes hors ruminant et hors charcuterie, les EGES étaient alors diminuées de 50% sans altérer significativement l'adéquation nutritionnelle des séries de repas. Ce dernier scénario suggère que la consommation de viande de ruminant n'est pas nécessaire à la composition de repas scolaires plus durables. Cependant, l'élevage de ruminant peut aussi avoir des effets bénéfiques sur l'environnement selon la façon dont il est conduit (comme expliqué dans les parties 1.1.3.3 et 4.2.1). De plus, la règle sur les viandes « non hachées de boucherie » (correspondant à notre définition de viande de ruminant) avait été initialement introduite dans le GEMRCN pour des considérations relatives à l'éducation au goût et à la diversité des sources de protéines animales (l'argument avancé à l'époque étant que la viande bovine étant plus chère que la viande de volaille, elle serait moins fréquemment servie si ce service n'était pas imposé) (GEMRCN, 2007).

Un travail complémentaire n'apparaissant pas dans la **Contribution 3** (résumé à soumettre aux Journées Francophones de Nutrition 2021) a comparé les EGES moyens des repas optimisés en fonction du type de plat principal qu'ils contenaient : à base de viande de ruminant, à base de viande hors ruminant, à base de poisson, végétarien à base d'œufs ou de produits laitiers, végétarien sans produits animaux (Figure 3). Les repas végétariens sans produits animaux généraient en moyenne 0,72 kg CO₂ eq. d'EGES et les repas végétariens à plats principaux à base d'œufs et/ou produits laitiers 0,87 kg CO₂ eq. D'EGES. Les EGES des repas non-végétariens s'élevaient en moyenne à 1,28 kg CO₂ eq. avec un plat principal à base de poisson, à 1,48 kg CO₂ eq. avec un plat principal à base de poisson et à 3,80 kg CO₂ eq avec un plat principal à base de viande de ruminant. L'écart de valeurs d'EGES entre les repas à base de viande de ruminant et les autres repas est si important qu'il explique à lui seul l'écart très fort entre l'impact environnemental des séries obtenues avec les scénarios avec et sans viande de ruminant (-25% et -50% de réduction respectivement par rapport au scénario de référence). En Allemagne, une étude sur 311 plats végétariens d'un livre de recettes montrait qu'à calories égales, les recettes végétaliennes conduisent en moyenne à une réduction de 10 % des gaz à effet de serre par rapport aux recettes végétariennes, et de 65 % par rapport aux recettes riches en viande (Kolbe, 2020) confirmant ainsi que, quelle que soit la composition des plats végétariens (avec ou sans produits animaux), l'écart en EGES est toujours plus important entre un plat végétarien et un plat à base de viande ou poisson (en particulier quand il s'agit de viande de ruminant) qu'entre un plat végétalien et un plat végétarien. Il n'est donc pas forcément nécessaire de se passer de produits animaux comme les œufs et les produits laitiers dans les plats végétariens pour diminuer efficacement l'impact environnemental des repas.

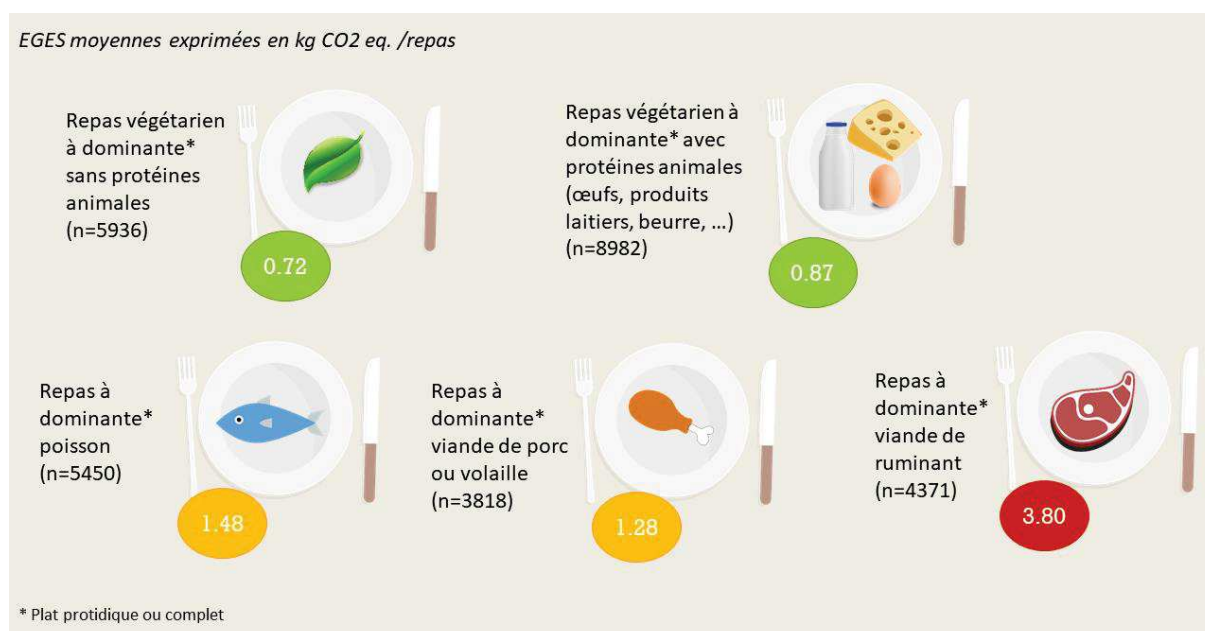


Figure 3 : EGES moyennes de repas scolaires type, selon leur plat principal. Calculs basés sur les données issues des modélisations conduites dans la Contribution 3.

Dans le modèle de programmation linéaire utilisé dans la **Contribution 3** pour générer des séries de repas scolaires plus durables, les règles de fréquences de service des plats étaient appliquées comme un indicateur des contraintes nutritionnelles puisqu'il a été démontré au cours d'une précédente étude qu'elles garantissaient un niveau de qualité nutritionnelle élevé des repas offerts dans les restaurants scolaires en France (Vieux et al., 2018a). De plus, étant donné que la réflexion actuelle sur la révision de la réglementation nutrition pour la restauration scolaire s'oriente vers une révision des règles fréquentielles existantes plutôt que vers une refonte complète de la réglementation, nous avons préféré utiliser dans nos modèles des contraintes basées sur les règles fréquentielles plutôt que d'imposer des contraintes basées sur les recommandations en nutriments (comme cela se fait généralement dans les études d'optimisation nutritionnelle). Ne pas rentrer les règles fréquentielles en contraintes aurait pu conduire à des solutions assez éloignées de la réglementation actuelle et de ce fait moins utiles aux acteurs de terrain. La fonction objectif consistait à tirer des plats au hasard (en minimisant la somme du facteur aléatoire attribué à chaque plat) et non à optimiser la valeur d'une variable donnée, comme par exemple la minimisation des EGES dans les études de Benvenuti et al.(2016) et Rossi et al.(2021). L'avantage de la méthode que nous avons mise en œuvre est qu'elle permet de générer différentes séries en diversifiant les plats qui les composent sans passer par des contraintes pour limiter la répétition ou favoriser l'apparition de certains plats comme c'est le cas dans des études précédemment évoquées. Même si les critères de durabilité des repas scolaires peuvent être introduits en contrainte dans les modèles, la méthode utilisée se rapproche cependant plus d'une approche par scénario (voir partie 1.1.4.2), où les caractéristiques des séries sont définies a priori et où les critères de durabilité des repas scolaires sont vérifiés a posteriori et pas introduits dans les modèles. Nous espérons que ce travail, guidé et enrichi par des professionnels et des chercheurs de la restauration scolaire, sera utile pour l'instauration de nouvelles recommandations pour améliorer la durabilité des repas scolaires.

4.1 Un projet de recherche participative, par et pour les acteurs de la restauration scolaire

4.1.1 Le collectif EnScol

Ce travail de thèse s'est appuyé sur l'expertise d'un collectif de chercheurs et de professionnels créé dans le cadre d'un projet financé⁹ pour une durée d'un an (2019) et baptisé « EnScol », pour « Ensemble, poser les bases d'une évolution des pratiques pour une restauration Scolaire plus durable ». Ce collectif est composé de :

- Professionnels, diététiciens de la restauration scolaire (conçue et autogérée).
- Chercheurs experts dans les domaines de la nutrition et la santé publique, du comportement alimentaire des enfants et des sciences de gestion.
- Statisticiens et modélisateurs de MS-Nutrition.
- Parents d'élèves.
- Représentants du PAT porté par la métropole de Marseille.
- Représentants de la Politique Alimentaire de Montpellier.

Le but était de mettre en place et animer une approche de co-construction avec les différents acteurs du collectif pour bien comprendre les besoins et attentes des professionnels de la restauration collective et ainsi trouver des orientations pour améliorer de la durabilité des repas servis en restauration scolaire. EnScol a été aussi l'occasion de définir ce qu'est « une meilleure prise en compte de la durabilité en restauration scolaire » et plus particulièrement les caractéristiques que doivent présenter les plats végétariens afin que leur service contribue à améliorer la durabilité des repas. Au cours de l'année 2019, quatre réunions ont permis d'aboutir à plusieurs résultats. Les acteurs du collectif ont d'abord partagé leurs expertises, attentes et intérêt pour le projet. Des échanges ont eu lieu sur les différentes interprétations possibles de la réglementation concernant les plats végétariens et notamment sur le nombre maximum de service dans une série de vingt repas. En effet une incertitude persistait au sein du collectif (et plus généralement des professionnels de terrain) pour savoir si les plats végétariens devaient être considérés ou non comme des « Préparations ou plats prêts à consommer à base de viande, de poisson et/ou d'œuf, contenant moins de 70 % du grammage recommandé pour la portion de viande, poisson ou œuf ». Finalement, comme la DGAL l'avait d'ailleurs clarifié en 2012 (Direction générale de l'alimentation & Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, 2012), les plats végétariens sans œufs ne sont pas concernés par cette règle et peuvent donc être servis au maximum douze fois sur vingt, les huit autres repas devant alors servir de la viande non hachée de ruminant et du poisson. Dans le cadre des réflexions menées en amont de la **Contribution 2**, nous avons défini avec le collectif les caractéristiques d'un « bon plat protidique végétarien ». Il s'agissait d'un plat de bon goût, correctement présenté pour donner envie aux enfants

⁹ Fondation Daniel et Nina Carasso, dans le cadre de l'appel à projet CO3 - CO-CONstruction des Connaissances pour la transition écologique et solidaire lancé par l'ADEME

de le goûter, de bonne qualité nutritionnelle, sans risque pour la santé et intégré au sein d'un repas lui-même végétarien et durable.

La dynamique engendrée par le collectif a également permis de collecter des listes de plats protidiques et complets végétariens proposés en restauration scolaire, avec leurs fiches techniques (liste d'ingrédients et leurs quantités) ou, pour les plats industriels, les informations présentes sur l'emballage, qui ont servi pour alimenter la base de données utilisée dans les **Articles 2 et 3**.

Fin 2020, une réunion supplémentaire a eu lieu en distanciel. Cette dernière réunion a permis de présenter l'avancée du projet de thèse de faire le point sur les scénarios envisagés pour la **Contribution 3**. Les professionnels ont entre autres pu faire part de leurs pratiques concernant les repas à quatre composantes (voir partie 4.4.3), ce qui nous a permis d'ajuster le scénario sur ce point, en proposant un scénario avec dix repas sans entrées et dix repas sans desserts. Bien que les rencontres du collectif ne fassent plus l'objet de financements, le lien entre les membres d'EnScol a été conservé, chacun sachant qu'il peut solliciter le collectif ou certains de ses membres pour diverses questions et considérations en lien avec la restauration scolaire.

4.1.2 Un travail utile pour le CNRC

Les résultats de la **Contribution 2** permettent aux professionnels de la restauration scolaire et collective d'avoir des éléments pour assurer la qualité nutritionnelle et diversifier leur offre végétarienne. Ils les avertissent par ailleurs des erreurs d'appréciation de la qualité nutritionnelle des plats que peut engendrer l'utilisation des systèmes de profilage nutritionnel comme le Nutri-Score ou le SAIN,LIM comme unique façon de s'assurer de la qualité nutritionnelle des plats proposés aux enfants. Les scénarios présentés dans la **Contribution 3** apportent également des éléments tangibles qui devraient être utiles à la réflexion qui a lieu actuellement dans le cadre des travaux du CNRC en vue de la révision des règles de fréquence de service des plats en restauration scolaire. Le développement de scénarios supplémentaires a d'ailleurs fait l'objet d'un travail réalisé pour le groupe de travail Nutrition (GT-Nutrition) du CNRC. Le GT Nutrition souhaitait pouvoir tester l'impact nutritionnel du respect d'un ensemble de dix-sept règles (que nous ne pouvons pas lister ici pour respecter la confidentialité des travaux de ce groupe) que les membres avaient établies en s'inspirant des règles existantes et des nouvelles recommandations du HCSP pour les enfants (HCSP, 2020). Pour la plupart de ces dix-sept règles, elles étaient identiques à celles existantes alors que d'autres visaient à une simplification des règles existantes, ou à la diversification des sources de protéines

Les résultats présentés au GT-Nutrition le 29 janvier 2021 montraient que le MAR pour 2000 kcal était légèrement plus élevé dans les séries issues des scénarios proposés par le CNRC que dans celles issu du scénario avec les règles actuelles car les teneurs en acides gras oméga 3 et vitamine D des séries augmentaient légèrement. Les teneurs en sodium diminuaient légèrement avec les nouveaux critères du CNRC. Ce travail, qui a été réalisé et présenté à une étape intermédiaire de la réflexion engagée par le CNRC, a contribué à éclairer la suite des débats de ce groupe de travail et à apporter à ses membres une aide au moment où ils devront décider des nouvelles règles à proposer.

4.1.3 Un travail utile pour l'Anses

La base de données de plats végétariens récoltés grâce à en EnScol en 2019 pour la **Contribution 2** a sollicité l'attention de l'Anses dans le cadre du projet de saisine sur les repas végétariens en restauration scolaire. L'Anses nous a indiqué en effet ne pas disposer de données de composition nutritionnelle des produits servis en restauration collective pour pouvoir déterminer la fréquence recommandée de plats végétariens, les indicateurs de qualité nutritionnelle des séries de repas contenant des repas végétariens et la fréquence recommandée pour les plats à base de légumineuses/céréales/œuf/fromage/etc. Les recettes, ingrédients et compositions finales des plats végétariens de notre base de données leur ont donc été transmis en juin 2020.

4.2 Les limites de l'ACV : faut-il vraiment supprimer la viande de ruminants des repas ?

Les conclusions de la **Contribution 3** conduisent à recommander une suppression totale de la viande de ruminant pour concevoir des repas plus durables en restauration scolaire. Les effets des scénarios sur l'impact environnemental reposaient uniquement sur des indicateurs estimés par une approche d'ACV de chaque ingrédient. Or, il serait nécessaire de prendre en compte les bénéfices environnementaux de l'élevage de ruminant sur le système agricole dans son ensemble, ce qui n'est pas possible avec l'ACV.

Les interactions entre élevage et environnement sont complexes et multiples et ne sauraient se résumer aux seules externalités négatives telles qu'elles sont estimées par l'ACV, plusieurs auteurs plaidant pour la mise en œuvre d'approches systémiques (Notarnicola et al., 2017; Peyraud, 2020a). Ces analyses confirment la nécessité de réduire le volume de production de certains produits animaux mais conduisent à penser que la suppression totale de l'élevage de ruminants ne serait pas une solution viable. En effet, l'élevage est essentiel aux systèmes alimentaires car les animaux contribuent à une agriculture plus efficiente en utilisant la biomasse végétale non consommable par les humains et en fournissant de l'engrais organique (Peyraud, 2020b). Si les impacts environnementaux de la viande de ruminant sont particulièrement pointés du doigt avec l'ACV, l'élevage de ruminant permet d'entretenir les paysages et les zones difficilement accessibles aux humains, alors que les porcs et les volailles sont principalement nourris au grains et sont donc davantage en concurrence l'alimentation humaine (Peyraud, 2020a). En l'absence de ruminant, de nombreuses surfaces destinées à l'élevage ne pourraient pas être converties en terres cultivées, car seuls les herbivores ont la capacité de les valoriser pour produire des aliments consommables par l'homme (viande ou lait). Une simulation aux Pays-Bas a par exemple estimé que supprimer totalement l'élevage nécessiterait des surfaces supplémentaires par rapport à un système avec élevage pour compenser la non-utilisation des prairies et de certains coproduits végétaux non comestibles par les humains. De plus, le secteur de l'élevage représente 45% du chiffre d'affaires de l'économie agricole (European Commission, 2018) et emploie 4 millions de personnes en Europe (Animal Task Force, 2017). Supprimer totalement l'élevage aurait donc des retombées économiques et sociales dramatiques.

Le défi consiste donc à améliorer les impacts positifs de l'élevage (amélioration de la biodiversité des prairies et des sols par le maintien du pâturage et l'épandage des effluents, valorisation de la biomasse et des surfaces, fertilisation des sols, stockage du carbone) tout en diminuant ses impacts négatifs (EGES, eutrophisation, épuisement des ressources en eau, perte de biodiversité en lien avec la déforestation) (Peyraud, 2020a). Les voies de progrès identifiées consistent à : accroître l'efficacité des troupeaux, utiliser des légumineuses en complément des céréales pour l'alimentation animale, utiliser les effluents d'élevage en substitut des engrais minéraux de synthèse, remplacer une partie du tourteau de soja importé par des protéines locales, coupler efficacement élevages et productions végétales pour minimiser l'utilisation des ressources, et améliorer le bien-être et la santé des troupeaux (Peyraud, 2020a). Les systèmes agroécologiques comme l'agriculture biologique, qui reposent sur la substitution des intrants d'origine pétrochimique par l'utilisation de processus naturels se positionnent comme des opportunités pour atténuer l'impact environnemental par rapport aux systèmes d'élevage intensifs où les animaux sont fortement concentrés (Dumont et al., 2020). Cependant, en se focalisant sur l'empreinte par quantité de produit, l'ACV donne l'avantage aux systèmes productifs très intensifs et évaluent très mal les systèmes agroécologiques (van der Werf et al., 2020). Une analyse comparée de 25 régimes alimentaires (provenant de sources diverses comme les enquêtes INCA ou Bio-Nutrinet) effectuée pour l'ADEME a montré que réduire la part carnée dans l'alimentation permettrait de libérer des surfaces en France et hors France pour l'agriculture biologique (Barbier et al., 2020). Selon cette étude, une diminution de 10 g de viande par jour dans le régime moyen des Français basé sur INCA2 équivaldrait à un jour sans viande par semaine et permettrait une réduction de 200 m² de surface et de 5,2% des EGES au stade agricole.

Par ailleurs, le scénario identifié comme « meilleur » compromis dans la **Contribution 3** pose un problème important : il contient des produits laitiers à tous les repas (car c'est une composante obligatoire des repas selon la réglementation), mais pas de viande bovine. Cela peut être pris en compte dans les modèles par des contraintes dites de « co-production » qui tiennent compte du fait que, par exemple, il faut avoir élevé une vache pour avoir du lait, mais la meilleure façon d'intégrer ces contraintes de co-production est largement débattue (Barré et al., 2018). Finalement, il aurait été intéressant de tester un scénario alternatif, qui contiendrait, sur vingt repas, douze repas végétariens, quatre repas dont le plat principal est le poisson et quatre repas dont le plat principal est la viande, en alternant volaille, porc, bœuf et agneau (plutôt que volaille et porc uniquement).

4.3 Potentiels freins à la végétalisation de l'offre en restauration scolaire

Les résultats des **Articles 2 et 3** indiquent que les plats végétariens ont généralement une bonne qualité nutritionnelle (même si une vigilance est nécessaire vis-à-vis des plats totalement végétaliens) et qu'augmenter leur fréquence de service est nécessaire pour aller vers plus de durabilité. En revanche, leur acceptabilité n'a pas été prise en compte dans nos travaux alors qu'elle est primordiale pour que les plats et repas servis soient effectivement consommés et appréciés par les enfants (De Keyser et al., 2012). L'acceptabilité se caractérise par l'appréciation des enfants et a donc un impact sur le gaspillage alimentaire. Les enfants jetteront d'avantage s'ils n'apprécient pas le repas

ou si les portions ne sont pas adaptées à leur appétit. Il est nécessaire d'intégrer tous les acteurs dans la dynamique, y compris le personnel qui confectionne et sert les repas et peut influencer la consommation des enfants. En France, la restauration scolaire souffre toujours de sa mauvaise réputation et est en moyenne peu appréciée des enfants qui la fréquentent (Cnesco, 2017). Il est important d'évaluer en premier lieu si les repas ne risquent pas engendrer de surcoût pour la collectivité. Il faudrait que ceci soit vérifié avant que les nouvelles règles fréquentielles élaborées par le CNRC (travaux en cours, voir partie 4.1.2) deviennent obligatoires. L'impact du repas végétarien sur le coût des repas (pour la collectivité et les familles), la fréquentation ou le gaspillage n'a pas pu être évalué précisément par la mission d'évaluation de l'expérimentation du menu végétarien hebdomadaire par le CGAAER (Bardon & Feigner, 2021). Les données qualitatives fournies par les collectivités interrogées apportaient quand même quelques éléments de réponse concernant ces trois points :

- Coût : Le coût des ingrédients représente en moyenne 20% du coût total d'un repas servi à la cantine et le coût du personnel représente la plus grosse part (60%) du coût total des repas (Bardon & Feigner, 2021). Le prix de la viande et du poisson étant généralement plus élevé que celui des autres produits alimentaires, on pourrait s'attendre à ce que des économies soient réalisées du fait de l'augmentation des fréquences de services de plats et repas végétariens, et mises à profit pour améliorer la qualité de la viande et du poisson servis les autres jours (AMF, 2020; Bardon & Feigner, 2021). Or, ce n'est pas toujours le cas. Dans certaines collectivités interrogées par le CGAAER, aucun effet des repas végétariens sur le coût total n'a été constaté et dans 17% des collectivités interrogées, le repas végétarien a même entraîné une augmentation de ce coût du fait d'un temps de préparation plus long et/ou de denrées plus chères (Bardon & Feigner, 2021). En effet, se fournir en produits végétariens sous signe de qualité, ou en plats industriels végétariens peut parfois être plus coûteux que de se fournir en viande ou poisson ordinaires. Dans l'étude menée en Allemagne sur des plats issus d'un livre de recette, les coûts des recettes végétaliennes étaient 45% plus élevés que ceux des recettes végétariennes (Kolbe, 2020). Les prix relativement élevés des plats végétaliens s'expliquaient par le coût des substituts de viande et de produits laitiers. Pour réduire les coûts, il faudrait donc introduire des aliments bruts (céréales, légumineuses, légumes, produits laitiers, œufs) plutôt que des produits industriels, en limitant notamment le recours aux substituts de viande et de produits laitiers.
- Fréquentation: A l'école primaire, l'impact du repas végétarien sur la fréquentation le jour du repas végétarien se perçoit peu car les enfants n'ont pas la possibilité de choisir de déjeuner à l'extérieur une fois qu'ils sont inscrits et cette inscription dépend surtout de la disponibilité de leurs parents (Bardon & Feigner, 2021).
- Gaspillage alimentaire : comme souvent pour le gaspillage alimentaire, les données recueillies sont contradictoires d'une collectivité à l'autre (Bardon & Feigner, 2021). Parfois c'est la viande et parfois ce sont les légumes qui sont reportés comme étant le plus gaspillés. Le gaspillage est surtout observé au début de l'introduction d'un nouvel aliment ou d'une nouvelle recette mais il diminue progressivement ensuite. L'enquête réalisée par l'AMF montre une augmentation du gaspillage pour 37% des communes et une diminution pour 18% d'entre elles

suite à l'introduction du repas végétarien hebdomadaire obligatoire (AMF, 2020). L'AFDN auditionnée par le CGAAER dans son rapport d'évaluation a rapporté une augmentation du gaspillage de seulement 5% (Bardon & Feigner, 2021).

Pour les collectivités interrogées par l'AMF, les freins à la mise en place des repas végétariens sont, par ordre décroissant : la difficulté de composer des repas végétariens diversifiés (40% des collectivités interrogées), l'augmentation du gaspillage alimentaire (37%), le manque de formation du personnel (19 %), les coûts supplémentaires engendrés (17%), la nécessaire réorganisation de la préparation des repas (13%), et, la réticence du personnel (11%) (AMF, 2020). De plus, le végétarisme est un sujet sensible qui crée des appréhensions par rapport à l'équilibre nutritionnel et au risque encouru par les filières d'élevage français, comme le souligne une enquête de l'ADEME sur les freins et leviers à l'instauration des mesures de la loi « EGalim » (ADEME et al., 2021).

Dans une étude menée sur les repas végétariens hebdomadaires dans 90 écoles d'Helsinki en Finlande, l'acceptabilité des élèves du primaire et du secondaire pour le repas végétarien était mesurée par la fréquentation, la portion servie (self-service) et les restes à l'assiette. Trois principales raisons pouvaient expliquer les réticences des élèves aux repas végétariens: un refus psychologique, une aversion des repas, et un désaccord avec la mesure et sa potentielle efficacité (Lombardini & Lankoski, 2013). Contre le refus psychologique, les autrices conseillaient de ne pas forcer les convives et de leur laisser le choix de leur repas. Pour diminuer l'aversion des enfants envers les repas, il serait important d'améliorer la composition et la présentation des menus (Lombardini & Lankoski, 2013). Enfin, la persuasion morale et les campagnes d'éducation aideraient à lever les désaccords (Lombardini & Lankoski, 2013). Il s'agit de promouvoir les produits végétaux sans stigmatiser les produits animaux (Bardon & Feigner, 2021). Il est important de revaloriser la cuisine et la mise en œuvre par les cuisiniers (ADEME et al., 2021). Passer à d'autres types de plats, présentés différemment, répéter leur l'exposition (Nekitsing et al., 2018), développer une communication adaptée, sont des bons moyens pour pallier aux appréhensions envers les repas végétariens (ADEME et al., 2021). Lors des échanges que nous avons eus au sein du collectif EnScol, la présentation des plats est apparue comme un critère très important d'acceptation des plats végétariens (critère cependant peu cité dans les documents disponibles sur le sujet). Par exemple, présenter un dahl de lentilles dans des bols pourrait être plus appétissant qu'un service à l'assiette (qui donne un effet « bouillie » à ce plat).

Il est essentiel d'aller vers une mise en place progressive des repas végétariens en restauration scolaire (Bordmann & Huc, 2019). Dans la **Contribution 3**, le service de douze repas végétariens sur vingt (soit trois repas végétariens par semaine) dont au moins la moitié sont à base de céréales et/ou légumes secs (recommandations du CNRC, voir Tableau 6) se positionnait comme un bon compromis pour concilier nutrition et environnement. Aujourd'hui, le service de douze repas végétariens sur vingt n'est cependant envisagé par aucune instance officielle. Il semble en effet difficile d'imposer de passer directement d'un à trois repas végétariens par semaine, mais nos conclusions apportent des éléments concrets en faveur d'une végétalisation de l'alimentation en restauration scolaire.

4.4 Modifier la composition des repas, une approche nécessaire mais pas suffisante pour améliorer la durabilité de la restauration scolaire

Si modifier la composition des repas est une solution efficace pour améliorer la durabilité de la restauration scolaire, il est aussi possible de la coupler avec d'autres leviers, comme la modification des approvisionnements et la lutte contre le gaspillage alimentaire (ADEME, 2021). Dans le cadre de cette thèse, nous avons mis au point une approche de reformulation alimentaire à l'échelle des plats (plutôt que des séries de repas) en modifiant la composition en ingrédients du plat (résultats non publiés, mais qui ont fait l'objet de communications et d'un rapport de stage).

4.4.1 Reformuler les plats existants

La reformulation des plats protidiques ou complets par modification de leur recette (ingrédients et quantités relatives) a été envisagée pour améliorer la durabilité des repas, en intégrant pour la première fois le coût des ingrédients. Ce travail a fait l'objet d'une communication sous forme de poster aux Journées Francophones de la Nutrition 2020 (voir Annexe 3 et Annexe 4). L'objectif était d'incorporer des plats reformulés avec un meilleur Nutri-Score et de plus faibles EGES que les plats initiaux, afin d'améliorer la qualité nutritionnelle et l'impact environnemental global des séries. Pour cela, l'application « MS-Food » proposée en ligne par l'entreprise MS-Nutrition était utilisée pour déterminer les cibles nutritionnelles, basées sur les teneurs pour 100 g en composantes du Nutri-Score, à atteindre pour passer à la classe Nutri-Score supérieure (par exemple pour passer de C à B). Pour chaque plat, différents ensembles de cibles étaient possibles. Par exemple, la classe supérieure pouvait être atteinte par une diminution des acides gras saturés et une augmentation des fibres ou par une diminution du sodium uniquement. Puis, à l'aide de l'application « MS-Recipe », développée au sein de MS-Nutrition lors d'un stage de fin d'études d'ingénieur (Poinsot, 2017), la recette était automatiquement modifiée pour atteindre ces cibles. « MS-Recipe » utilisait la programmation linéaire pour déterminer la recette la plus proche de la recette initiale qui respectait les contraintes de l'utilisateur selon un arbre de décision préétabli. Une étude de cas a été faite sur 17 plats, correspondant à 126 reformulations. Sur l'exemple de la Quiche au Brie de Meaux, toutes les solutions permettant de passer d'un Nutri-Score C à un Nutri-Score B n'aboutissaient pas à une réduction du prix et/ou de l'impact carbone, démontrant encore que la compatibilité entre nutrition, prix et environnement n'est pas toujours simple (voir Annexe 5). La solution qui présentait le meilleur compromis était la moins chère et induisait une diminution de l'impact carbone. Elle passait par une augmentation du potiron et des réductions de pâte sablée, crème, lait et sucre roux dont l'impact sur la faisabilité en cuisine et l'acceptabilité gustative n'avait pas pu être estimé. De plus, comme le précise la **Contribution 2**, un meilleur Nutri-Score ne permet pas d'affirmer que le plat optimisé est de meilleure qualité nutritionnelle. Appliquer cette approche de reformulation à tous les plats servis en restauration scolaire serait chronophage et l'acceptabilité des recettes optimisées reste à tester mais la reformulation des plats peut être envisagée comme une solution ponctuelle pour améliorer certaines recettes à fort impact environnemental et/ou avec un « mauvais » Nutri-Score.

4.4.2 Privilégier un approvisionnement en produits sous signes officiels de qualité et issus de l'agriculture biologique

D'ici 2022, les approvisionnements des restaurations collective devront compter 50% (en valeur d'achat) de produits alimentaires dits « durables de qualité » dont au moins 20% de produits issus de l'agriculture biologique (République Française, 2018). La notion « durables de qualité » concerne les produits sous signes officiels de qualité issus de l'agriculture biologique ou le label rouge, l'appellation d'origine, l'indication géographique, la spécialité traditionnelle garantie, la mention « issu d'une exploitation de haute valeur environnementale » et, pour les produits pour lesquels existe une définition réglementaire des conditions de production, la mention « fermier » ou « produit de la ferme » ou « produit à la ferme ». L'agriculture biologique est définie comme « un mode de production qui trouve son originalité dans le recours à des pratiques culturales et d'élevage soucieuses du respect des équilibres naturels » (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2017). L'agriculture biologique n'utilise pas d'intrants chimiques de synthèse. L'étiquetage des produits issus de l'agriculture biologique (dits « bio ») est réglementé et les productions végétales et l'élevage doivent respecter des règles strictes établies par la Commission Européenne. Faire appel aux producteurs locaux¹⁰ pour fournir les restaurants scolaires en produits qui sont la plupart du temps bio est aussi un moyen pour les collectivités de développer le territoire local et inciter les habitants à une consommation « plus responsable » (Sylvie Bardou Boissier, 2021). La ville de Mouans-Sartoux, souvent citée en exemple par les médias, était la première à proposer 100% d'aliments « bio » dans les cantines des écoles publiques au 1^{er} janvier 2012 (MEAD Mouans-Sartoux, n.d.). Entre 2017 et 2020, la part de bio (en valeur d'achat) dans les approvisionnements a progressé de 10% en 2020 dans les 1000 cantines suivies par l'association « Un Plus Bio » depuis 2017 pour son « Observatoire de la Restauration Collective bio et durable » (Un Plus Bio, 2020). Les 6000 collectivités ayant participé à l'enquête de 2020 de « Un Plus Bio » proposent en moyenne 35% de produits bio et 72% privilégient les produits locaux. Les approvisionnements bios et locaux vont souvent de pair, et on peut se demander s'ils s'inscrivent toujours dans une alimentation plus durable. La part de local varie entre 25% dans les collectivités proposant moins de 20% de bio à 56% dans celles proposant au moins 60% de bio. Au-delà de la sensibilisation des citoyens, les villes communiquant sur leur volonté d'introduire du bio dans les cantines souhaitent aussi valoriser leur image pour obtenir une reconnaissance et se démarquer des autres villes (Sylvie Bardou Boissier, 2021).

Les pratiques de l'agriculture biologique se traduisent par une moindre pollution de l'eau, une meilleure qualité des sols, et une plus faible utilisation d'énergie non-renouvelable par rapport à l'agriculture conventionnelle (Bertrand et al., 2018). Les surfaces mobilisées par l'agriculture biologique pour produire une quantité donnée de matières premières agricoles sont toutefois plus élevées qu'en agriculture conventionnelle car les rendements sont plus faibles. Cependant, comme

¹⁰ Il n'existe pas de définition précise du terme « local », qui se réfère à un lieu ou une région proche, sans limitation kilométrique précise. Dans l'enquête d'Un Plus Bio (2020), 80% des 6000 collectivités interrogées se basaient sur « la région » ou sur « le département et les départements limitrophes ». Dans les 20% restant, on trouvait d'autres définitions comme « le département seulement » ou « les 150 km alentours ».

évoqué en partie 4.2.1, l'ACV désavantage les aliments issus de l'agriculture biologique, notamment car elle ne comptabilise pas les impacts positifs comme la biodiversité générée par ces cultures, et aussi car les impacts négatifs sont généralement exprimés sur la base d'une unité fonctionnelle par kg de produit. Or, le rendement par hectare est plus faible en bio qu'en conventionnel et nécessite plus de ressources pour produire une même quantité de produit, si bien que lorsqu'elles sont exprimées par kg de produit, les valeurs d'impact environnemental sont généralement plus élevées pour les produits bio que pour les produits conventionnels. Dans les cantines de Turin, une modélisation des approvisionnements tournés essentiellement vers des produits bio entraînerait une réduction de 11% des EGES par rapport à un approvisionnement avec une agriculture intensive (Cerutti et al., 2017).

Par rapport aux produits issus de l'agriculture conventionnelle, les produits bio présentent globalement des teneurs inférieures en pesticides (Bertrand et al., 2018; Guéguen, 2021). Les teneurs en résidus de pesticides retrouvées dans les urines des adultes de la cohorte Nutrinet-Santé étaient plus faibles chez les forts consommateurs de bio (au moins 50% de bio dans leur alimentation en quantité) que chez les plus faibles consommateurs de bio (moins de 10% de bio dans leur alimentation) (Baudry et al., 2019). Cependant, les produits bio venant d'élevages en plein air (œuf, viande, saumon bio car nourris avec du poisson) sont plus exposés aux contaminants présents dans l'air et sont donc souvent plus riches en dioxines et PCB mais cela n'est pas spécifique au bio (Guéguen, 2021). Une association entre la consommation élevée de bio et une réduction des risques de cancer a été mise en évidence dans la cohorte Nutrinet-santé mais la causalité ne peut être démontrée par une étude épidémiologique descriptive et les mécanismes restent à expliciter (Baudry et al., 2018). Concernant la qualité nutritionnelle, les fruits bio sont légèrement plus riches en antioxydants que les produits conventionnels. Le lait bio est aussi plus riche en acides gras oméga-3 et plus pauvre en iode et sélénium mais cette différence est liée à l'élevage à l'herbe (riche en oméga-3 mais non supplémentée en micronutriments) pour les élevages bio (Guéguen, 2021). Sur les autres nutriments, les études restent à approfondir et, en général, aucune différence significative n'est à noter lorsque toutes les variables sont contrôlées (Guéguen, 2021). Les produits bio ne présentent pas non plus d'avantages avérés sur le plan organoleptique ou sur la santé (Bertrand et al., 2018; Vigar et al., 2020).

Le prix moyen des produits bio est souvent plus élevé qu'un équivalent en conventionnel (Bertrand et al., 2018) même si parfois, les écarts de prix en ventes directes sont moindres. Pourtant, sur un échantillon de 40 collectivités interrogées par Un plus Bio en 2020, 67% déclaraient avoir introduit des produits bio sans surcoût (Un Plus Bio, 2020). Sur cet échantillon, la part de bio est passée de 37% à 41% en moyenne et le coût denrées par repas de 2,05€ à 2,06€ en moyenne. Pour celles dont le coût denrées par repas a augmenté, ce surcoût va de 2 centimes à 54 centimes. En fait, il s'agit surtout d'un effet global : les collectivités qui sont en faveur du bio sont aussi plus engagées dans la lutte contre le gaspillage alimentaire, les repas végétariens et la saisonnalité des produits, qui contribuent à faire baisser le coût moyen des denrées par repas.

Concernant le local, une analyse de sensibilité sur l'origine des approvisionnements dans une école maternelle en Espagne montrait que l'épuisement des ressources en eaux diminuerait entre 13% et 23% (en fonction des repas) si les lentilles, pois chiches, huile d'olive, yaourts et fruits étaient « locaux » (González-García et al., 2020). Cependant, l'effet de ces approvisionnements sur les EGES

était négligeable car l'étape de production restait la plus émettrice (94%). Dans les cantines de Turin, un choix d'approvisionnement entièrement « local » réduirait de 33% les EGES liées aux ingrédients (Cerutti et al., 2016). Cibler particulièrement les productions locales dans les appels d'offres n'est pas autorisé dans le cadre de marchés publics mais le gouvernement a mis en place une boîte à outil pour favoriser l'approvisionnement « local et de qualité » en restauration collective (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2016).

Dans la base de données utilisée dans la **Contribution 3**, il n'y avait pas de distinction entre des ingrédients bio, locaux ou porteurs d'autres signes de qualité comme les AOP. On peut néanmoins supposer que la prise en compte de ces caractéristiques aurait eu un effet négligeable sur l'impact environnemental par rapport à l'effet lié au nombre de repas végétariens par série et à la fréquence de service de plats contenant de la viande de ruminant, cette dernière ayant toujours un impact environnemental bien plus élevé que les produits végétaux, quels que soient les modes de production considérés. Pourtant, il ne faut pas négliger que l'approvisionnement en produits locaux et bio a des effets positifs sur les dimensions économique et socio-culturelle de la durabilité, comme une amélioration de l'économie locale par le maintien de productions locales traditionnelles. Il est toutefois important de veiller à ce que l'approvisionnement en produits locaux, sous signes de qualité, bio notamment, ne contribue pas à augmenter le prix des repas pour les foyers défavorisés.

4.4.3 Adapter les portions pour diminuer le gaspillage alimentaire

Reprise dans la loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage alimentaire et à l'économie circulaire, la définition du gaspillage alimentaire désigne : « toute nourriture destinée à la consommation humaine, qui, à une étape de la chaîne alimentaire, est perdue, jetée, dégradée » (République Française, 2020). Le gaspillage alimentaire est une problématique importante à prendre en compte pour améliorer la durabilité des repas scolaires car il implique une utilisation de ressources environnementales et financières pour concevoir des plats qui ne seront pas valorisés. Selon la loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, le gaspillage alimentaire en restauration collective devra être réduit de 50% en 2025 par rapport au niveau de 2015 (République Française, 2020). Un diagnostic préalable à la mise en œuvre d'un plan de lutte contre le gaspillage alimentaire est donc indispensable pour les acteurs qui ne l'auraient pas déjà fait selon la loi « EGalim » (République Française, 2018). D'après l'ADEME, qui accompagne régulièrement les collectivités dans l'estimation des pertes et gaspillages alimentaires en restauration collective, lorsqu'un premier diagnostic est réalisé dans un restaurant scolaire, le taux de gaspillage alimentaire est en moyenne compris entre 25 et 30 % de ce qui est servi (ADEME et al., 2021).

Des nombreuses stratégies qualitatives ont été mises en place pour réduire le gaspillage alimentaire en agissant sur reste à l'assiette (c'est-à-dire ce qui est servi aux enfants mais qu'il ne consomme pas) dans les restaurants collectifs, en France ou en Europe. Par exemple, faire preuve de pédagogie avec les élèves, réorganiser la distribution des repas (par exemple, mettre le pain en fin de chaîne) ou mettre en œuvre des stratégies (culinaires, de présentation, de marketing social ...) visent à améliorer l'appréciation de certains plats par les enfants en agissant sur l'expérience du repas et l'environnement (ADEME et al., 2021; Amorçé & ADEME, 2019; Derqui et al., 2018; Derqui &

Fernandez, 2017). Une solution quantitative serait d'adapter les quantités d'aliments servies aux consommations « réelles » des élèves pour minimiser les restes à l'assiette. Il faut également noter qu'il y a un lien entre gaspillage et nutrition. Lorsqu'il a lieu au niveau du reste à l'assiette, le gaspillage alimentaire risque de compromettre les apports nutritionnels des enfants car ils sont sélectifs dans ce qu'ils ne consomment pas. En effet, malgré le manque de données sur les différences de gaspillage en fonction du type d'aliment en restauration scolaire, on peut supposer (d'après les données en restauration collective adulte) que ce sont surtout les légumes et les viandes qui sont gaspillées et les féculents qui sont le mieux consommés (ADEME, 2016a) mais cela nécessiterait une étude supplémentaire pour être confirmé et précisé.

Le service de repas à quatre composantes peut être perçu comme une démarche vers la diminution du gaspillage alimentaire mais comme nous l'avons vu dans les résultats de la **Contribution 3**, cela se fait au détriment d'un apport énergétique suffisant. Il semble convenir de les alterner avec des repas à cinq composantes, d'autant plus que le respect des règles fréquentielles basé uniquement sur des repas à quatre composantes requiert le service d'entrées essentiellement composées de crudités et de desserts majoritairement composés de fruits, laissant peu de place à des plats plus diversifiés et plus appréciés par les enfants.

Une autre façon de diminuer les quantités servies est de diminuer les portions de chaque composante. D'après les professionnels du collectif EnScol, les portions recommandées par le GEMRCN sont trop élevées et bien qu'elles soient, pour la majorité, exemptes d'obligation réglementaire, beaucoup de collectivités les considèrent comme obligatoires, ou les imposent dans les cahiers des charges qu'ils rédigent à l'attention de leurs fournisseurs. Dans le cadre d'EnScol et de cette thèse, nous avons envisagé de définir pour chaque type de plat, une « juste portion » à partir des consommations des élèves. Pour cela, il fallait disposer des valeurs de restes à l'assiette mesurées par composante et de la portion servie. La « juste » portion correspondait alors à la portion servie moins le reste à l'assiette moyen par élève. Nous espérions pouvoir estimer les « justes portions » en couplant l'expertise des membres d'EnScol avec des données collectées auprès de collectivités ayant déjà mis en œuvre des mesures du gaspillage. Nous avons ainsi réussi à récolter des données auprès de six collectivités. Or, malgré le très grand nombre d'expérimentations sur le gaspillage réalisées ou en cours de réalisation dans les écoles françaises, et même avec l'aide du collectif EnScol, il était difficile d'accéder à des données :

- fiables : les pesées n'étaient pas toujours effectuées de façon rigoureuse car elles demandent de l'investissement et du temps ;
- précises : les pesées étaient effectuées sur l'ensemble des restes à l'assiette mais très rarement séparées selon les composantes car cela demandait aussi du temps supplémentaire et une compréhension des élèves pour bien séparer les composantes ;
- représentatives de l'ensemble des cantines scolaires : même en récoltant directement des « justes portions » auprès d'un échantillon de collectivités, (d'après l'expérience des membres d'EnScol) il s'avère que le gaspillage est très variable en fonction de nombreux facteurs : ordre de service des plats, préférences des enfants, autres plats au menu, plats préparés sur site ou livrés, aspect visuel, durée de la pause méridienne, météo, ...

En l'absence de données fiables, précises et représentatives sur les restes à l'assiette en restauration scolaire, une étude spécifique est nécessaire pour déterminer pour chaque type d'aliment les quantités consommées par rapport à celles servies aux enfants. De plus, même s'il était possible d'adapter les portions servies aux quantités consommées en moyenne par les enfants, on peut craindre que cela compromette l'adéquation nutritionnelle. Ainsi, dans une étude analysant les portions servies dans des restaurants scolaires en Italie (Balzaretto et al., 2018), les portions servies qui dépassaient les portions recommandées concernaient le plus souvent des produits riches en calories, qui sont les plus appréciés des enfants, et les portions inférieures aux portions recommandées concernaient les aliments « sains » comme le poisson et les légumes crus, car ils étaient moins appréciés. Malheureusement, en l'absence de données existantes fiables, précises et représentatives, nous n'avons pas pu valider ou réfuter cette hypothèse. Par défaut, nous avons donc appliqué les portions recommandées par le GEMRCN (GEMRCN, 2015) dans nos scénarios (**Contribution 3**).

Il serait donc préférable d'augmenter ce qui est consommé plutôt que réduire ce qui est servi en misant plutôt sur l'amélioration de l'acceptabilité par des approches d'éducation alimentaire (Liz Martins et al., 2020) et de proposer des portions personnalisées en fonction de l'appétit de l'enfant (« grande faim »/ « petite faim ») car tous les enfants d'une même classe d'âge n'ont pas les mêmes besoins énergétiques en fonction de leur âge, sexe, activité physique, et des autres repas qu'ils consomment dans la journée (Amorce & ADEME, 2019).

4.5 Quel futur pour la restauration scolaire durable ?

Outre l'évolution des recommandations évoquée en partie 4.1.2, la restauration scolaire fait face à des évolutions et des opportunités en matière d'alimentation durable.

4.5.1 Vers un affichage nutritionnel (Nutri-Score) et environnemental des menus ?

Il est prévu dans le PNNS 4 (2019-2023) que le logo Nutri-Score soit mis en place en restauration collective pour « mieux informer les convives sur la qualité nutritionnelle des aliments (plats et menus)[...] en vue de réduire les apports en sel, sucres, graisses et d'augmenter les apports en fibres, fruits et légumes » (Ministère des Solidarités et de la Santé, 2019). Des expérimentations ont actuellement lieu pour évaluer l'impact du Nutri-Score sur la qualité nutritionnelle des choix alimentaires en restauration universitaire, en restauration d'entreprise en gestion concédée et en restauration d'entreprise autogérée (Ministère des Solidarités et de la Santé, 2021). A la rentrée 2020, le groupe Elios s'est posé comme le premier acteur de la restauration collective à mettre en place le Nutri-Score dans des restaurants scolaires pilotes dont ils détiennent la gestion (Elios Group, 2020). Le but est d'apporter plus de transparence sur la qualité nutritionnelle des produits mais aussi de montrer que le contexte sanitaire lié à la crise du COVID-19 ne se fait pas au détriment de la qualité des repas. Or, comme le conclut la **Contribution 2**, le Nutri-Score n'est pas suffisant pour estimer la qualité nutritionnelle des plats. Il ne peut remplacer une information plus détaillée sur la composition nutritionnelle des plats et surtout, il ne devrait pas remettre en cause le respect des règles fréquentielles exigé par la réglementation nutritionnelle en restauration scolaire.

Les indicateurs globaux d'impact environnemental peuvent servir de base dans le cadre du dispositif d'affichage environnemental dans le secteur alimentaire. L'article 15 de la Loi N°2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire prévoit l'expérimentation d'un affichage environnemental basé principalement sur l'ACV (République Française, 2020). L'expérimentation pilotée par l'ADEME et le Ministère de la transition écologique et solidaire va permettre d'identifier un dispositif opérationnel, qui vise à communiquer une information objective, fiable, aisément contrôlable et compréhensible par le consommateur (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire & ADEME, 2020). Le projet d'« Eco-Score » ou « Score environnemental ABCDE® » par exemple, porté par le collectif Yuka, ECO2 Initiative, Open Food Facts, Scan-Up, Frigo Magic, La Fourche et Foodcheri s'appuie sur le score EF3 « corrigé » selon cinq critères supplémentaires qui permettent d'obtenir des bonus ou des malus : les labels, l'approvisionnement local, la politique environnementale du pays producteur, l'emballage et les espèces menacées (Eco-Score, 2021). Le logo de l'« Eco-Score » se présente sous la forme d'une feuille accompagnée de la lettre « A » verte pour les produits alimentaires à plus faibles impacts à la lettre « E » pour ceux à plus forts impacts sur l'environnement, à l'instar du logo du Nutri-Score. Dix-sept autres projets d'expérimentation ont été déposés (ADEME, 2021). L'expérimentation sur l'affichage environnemental des aliments fera l'objet d'un bilan dans un rapport remis au Parlement en novembre 2021 (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire & ADEME, 2020). Le groupe Elio s'est déjà engagé à mener l'expérimentation de l'Eco-Score dans sept de leurs restaurants d'entreprise pour évaluer l'impact de l'affichage environnemental sur les choix des consommateurs (Elio Group, 2021).

La limite observée pour le Nutri-Score peut se transposer dans le cas de l'Eco-Score. En effet, il semble difficile de résumer en une seule note tous les aspects complexes de l'évaluation environnementale des produits alimentaires. Si ces dispositifs peuvent être envisagés comme des outils d'aide à la décision, il serait nécessaire qu'ils soient accompagnés par une démarche d'éducation à l'alimentation durable, ce qui permettrait notamment aux consommateurs d'être conscients des limites des systèmes d'affichage nutritionnel ou environnemental.

4.5.2 Un retour vers une cuisine plus traditionnelle ?

Lors des réunions du collectif EnScol, des professionnels de la restauration scolaire ont exprimé leurs préoccupations à propos du recours trop systématique à des aliments ultra-transformés (AUT) pour répondre à l'obligation du service hebdomadaire de repas végétariens. Le concept d'aliment (ultra) transformé, qui suscite un intérêt exponentiel tant dans le monde académique que dans la société civile, s'appuie sur la classification NOVA (Monteiro et al., 2016). Cependant, contrairement aux systèmes de profilage nutritionnel, cette classification n'est pas basée sur un algorithme reproductible ce qui la rend parfois sujette à différentes interprétations (Braesco, 2021). Les aliments « transformés », en classe NOVA 3, sont définis par l'ajout d'ingrédients culinaires simples (par exemple sucre, sel, huile, ...) à des aliments bruts et par l'utilisation de diverses méthodes de conservation ou de cuisson et fermentation alcoolique (Monteiro et al., 2016). Les AUT, en classe NOVA 4, sont des formulations industrielles composées de nombreux ingrédients obtenues grâce à des procédés et ingrédients industriels sans équivalent domestique (Monteiro et al., 2016). De

nombreux travaux, en particulier ceux basés sur la cohorte Nutrinet-Santé (Beslay et al., 2020; Fiolet et al., 2018; Schnabel et al., 2019; Srouf et al., 2019, 2020) indiquent une association positive entre consommation d'AUT et risque de mortalité (Rico-Campà et al., 2019; Schnabel et al., 2019), surpoids (Beslay et al., 2020; Mendonça et al., 2016), cancers (Fiolet et al., 2018), pathologies cardio-vasculaires (Srouf et al., 2019), diabète (Srouf et al., 2020) ou dépression (Gómez-Donoso et al., 2020), mais ces travaux sont basés sur une approche d'épidémiologie observationnelle qui ne permet pas de démontrer formellement que c'est le caractère « ultra-transformé » des aliments qui a un impact délétère sur la santé (Braesco, 2021). L'Agence Nationale d'évaluation des risques sanitaires en Alimentation et Nutrition espagnole (AESAN) a réalisé en 2020 une analyse critique des connaissances sur les liens entre AUT et santé (AESAN Scientific Committee, 2020). Elle concluait que les AUT étaient davantage un marqueur d'un régime de mauvaise qualité nutritionnelle plutôt qu'un groupe d'aliments doués de propriétés particulières. Il n'existe pas de preuves à ce jour du rôle délétère spécifique du niveau de transformation des aliments et des études supplémentaires, notamment expérimentales chez l'animal ou interventionnelles chez l'homme, sont nécessaires. La seule étude d'intervention sur les AUT a consisté à faire consommer ad libitum pendant 2 semaines soit une alimentation de type AUT soit une alimentation composée d'aliments bruts (Hall et al., 2019). Les volontaires avaient pris du poids mais la densité énergétique solide du régime AUT était deux fois plus élevée que celle du régime non-AUT, pouvant largement expliquer cette prise de poids. Il convient de limiter les AUT de mauvaise qualité nutritionnelle au même titre que les aliments de faible qualité nutritionnelle non AUT. L'Anses indique dans sa note d'appui scientifique et technique relatif aux recommandations nutritionnelles pour la mise en place d'une expérimentation en milieu scolaire de menus végétariens qu'aucun avis n'a été émis à ce jour sur les AUT (Anses, 2019c) mais le PNNS pour les adultes recommande tout de même de limiter les AUT et de privilégier le « fait-maison » (Santé publique France, 2019).

Depuis les années 60 et l'arrivée de l'industrie agroalimentaire, les cantines ont l'opportunité de proposer des aliments industriels, déjà préparés, aux enfants, l'intérêt du recours à ces produits étant multiple (qualité sanitaire, conservation, standardisation, gain de temps et de place...). En s'appuyant plutôt sur les recommandations du PNNS et malgré la note de l'Anses sur ce sujet, le CNRC recommande de favoriser les plats fait-maison en limitant les plats « transformés à base de protéines végétales » à un sur quatre ou cinq repas végétariens en restauration scolaire (CNRC, 2020).

4.5.3 Des initiatives des acteurs de la restauration collective pour améliorer la durabilité en restauration scolaire

Les approches sur le terrain en restauration collective et scolaire permettent d'avoir une approche plus systémique en prenant en compte de multiples contraintes en lien avec la durabilité. Les collectivités n'ont pas toujours attendu les contraintes réglementaires pour développer des initiatives pour améliorer la durabilité des restaurants scolaires et inspirer d'autres collectivités à leur tour.

A Montpellier, par exemple, où la gestion de la restauration scolaire est gérée directement par la ville, la Direction de la Politique Alimentaire a mis en place le dispositif « Ma cantine autrement »

pour la période 2016-2020 (Roudelle, 2019). L'objectif du programme est de sensibiliser les enfants au gaspillage alimentaire et à l'équilibre nutritionnel par la restauration scolaire et de réduire l'impact environnemental sur toute la chaîne, des approvisionnements à la valorisation des déchets, en passant par la production et la distribution des repas. La ville a favorisé l'intégration de plus de produits bio et de produits qualifiés de « durables » (selon les critères de la loi EGalim et des critères supplémentaires subjectifs comme l'agriculture en conversion, « raisonnée », locale, éthique...). Concernant la composition des repas plus particulièrement, les portions et les recettes ont été retravaillées en fonction de l'appréciation des enfants. Les séries de repas sont réparties dans quatre cycles correspondant aux quatre saisons (automne, hiver, printemps, été) afin de favoriser le service d'aliments frais et de saison. Des repas à quatre composantes sont ponctuellement proposés (deux fois par mois en 2020). De plus, des recettes sont proposées aux familles pour le soir pour équilibrer les apports alimentaires en fonction des déjeuners proposés le midi dans les cantines. Le menu à quatre composantes est fixé selon les préférences des enfants, de sorte qu'il soit consommé entièrement. La ville de Montpellier se distingue également des autres collectivités par le service d'un repas « alternatif éco-citoyen ». Il s'agit en fait d'un repas entièrement végétalien (ne respectant donc pas le décret du 30 septembre 2011 imposant au moins une composante produit laitier) mais non qualifié comme tel car la Direction de la Politique Alimentaire ne s'identifie pas à un mouvement excluant totalement les produits animaux de l'alimentation. D'abord testé sur des écoles pilotes fin 2015, ce menu est proposé une fois sur deux en tant que repas végétarien hebdomadaire depuis 2019. Le dispositif « Ma cantine autrement » a fait l'objet d'un cas d'étude dans un projet de recherche international plus large : le projet « Urban-Driven Innovations for Sustainable Food Systems » (URBAL), étendu sur huit villes dans le monde et dont l'objectif était d'évaluer les chemins d'impact des innovations alimentaires urbaines sur les dimensions de la durabilité des systèmes alimentaires (Urbal, 2018). La ville de Montpellier s'est engagée récemment à tendre vers des approvisionnements à 100% bio et locaux en 2028 grâce entre autres à la construction d'une nouvelle cuisine centrale dans la future « Cité de l'alimentation » de la Ville (Midi Libre, 2021).

Avec deux repas végétariens par semaine des villes comme Lille, Grenoble, Clermont-Ferrand, Briançon ou Mouans-Sartoux « devancent » la réglementation qui n'en exige qu'un seul. D'après l'étude de Greenpeace sur 2820 villes en 2020, elles sont seulement 0,33% à proposer deux repas végétariens hebdomadaires, 69% à en proposer un (minimum exigé par la réglementation), 20,4 % à en proposer « de temps en temps » et encore 10,3 % à ne jamais en proposer (Greenpeace, 2020a).

En France, des certifications sont attribuées aux collectivités engagées vers plus de durabilité en restauration scolaire. Leurs critères sont plus exigeants que ceux de la réglementation actuelle. Le « Menu 2foisBON » est un label à destination des collectivités qui s'engagent à produire des repas inférieurs à 2 kg CO₂ eq (« écologiques »), composés de 80% d'ingrédients issus d'un rayon de moins de 200 km (« locaux ») et de 100% de fruits et légumes frais de saison (« de saison ») (Menu 2foisBON, 2018). Pour aider les collectivités à calculer l'empreinte environnementale de leurs repas et à communiquer sur leur démarche, ils mettent un éco-calculateur ainsi qu'un kit de communication à disposition. Le réseau « Mon Restau Responsable » développé par Restau'Co et la Fondation Nicolas Hulot pour la Nature et l'Homme regroupe des restaurants collectifs engagés dans une démarche

durable basée sur quatre piliers qui sont : le bien-être des convives (qualité nutritionnelle des repas et confort de la salle de restauration), un approvisionnement responsable (respectant les critères de la loi EGalim), des « éco-gestes » (lutte contre le gaspillage et économies des ressources) et un engagement social et territorial (travail avec les acteurs du territoire) (Restau'Co & Fondation Nicolase Hulot pour la Nature et l'Homme, 2019). Le réseau compte déjà 1620 restaurants collectifs. Le label « Ecocert en Cuisine » est attribué aux restaurants collectifs sur trois niveaux selon la proportion de produits bio et locaux dans les menus et les démarches engagées dans la protection de l'environnement ou la qualité des repas. En janvier 2021, l'association « Let's Food », qui accompagne les territoires dans la construction de systèmes alimentaires durables, le collectif pour la restauration collective bio et locale « Les Pieds dans le Plat » et la plateforme internationale « Eating city » ont publié un guide des bonnes pratiques pour les cantines scolaires basé sur une analyse comparée des systèmes alimentaires de quatorze territoires dans huit pays (France, Iran, Mexique, Chili, Maroc, Tunisie, Afrique du Sud et Vietnam) au regard des objectifs de développement durable fixés par l'ONU (Fauchet et al., 2021). Pour finir, six recommandations pour développer des cantines saines et durables ont été retenues : reconnaître le rôle multifonctionnel des cantines scolaires (développement des enfants, justice sociale, éducation alimentaire, soutien à l'économie agricole territoriale), faire des cantines scolaires un outil éducatif universel, encourager un approvisionnement local, définir un projet alimentaire au sein de chaque cantine avec des objectifs ambitieux et chiffrés, associer tous les acteurs concernés et accompagner et former les métiers qui gravitent autour des cantines. Le partage des bonnes pratiques entre chercheurs, acteurs et professionnels de la restauration scolaire est indispensable pour accélérer la transition vers une restauration scolaire plus durable.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats de cette thèse indiquent que l'offre végétarienne est nécessaire pour améliorer la durabilité de la restauration scolaire, en particulier pour réduire son impact environnemental. L'introduction de repas végétariens devrait toutefois se faire sous certaines conditions pour garantir une alimentation nutritionnellement adéquate aux enfants. D'une part, les plats végétariens proposés doivent être diversifiés. Ils peuvent contenir aussi bien des produits végétaux que des produits animaux (produits laitiers, œufs), mais nos résultats suggèrent qu'il serait bon d'alterner entre les plats à base de fromage, les plats à base d'œufs mais sans fromage et les plats végétaliens. D'autre part, le service de repas végétariens doit se faire en complémentarité avec le service de repas à base de poisson et de viande. Un bon compromis entre nutrition et environnement serait de servir douze repas végétariens sur vingt repas à cinq composantes et, pour respecter la réglementation actuelle relative à la restauration scolaire, quatre repas à base de poisson et quatre repas à base de viande de ruminant. Pour réduire encore plus l'impact environnemental des repas sans compromettre leur qualité nutritionnelle, on pourrait remplacer la viande de ruminant, dont la production est forte émettrice de gaz à effet de serre, par de la viande de porc ou de volaille. Il faut noter cependant, que ce dernier scénario ne tient pas compte des bénéfices associés à l'élevage de ruminants, notamment sur la biodiversité et l'économie. La suppression du service de plats à base de viande de ruminant dans les restaurants scolaires risquerait donc *in fine* de déstabiliser la durabilité des systèmes alimentaires.

Les résultats de cette thèse ouvrent le champ à de nouvelles perspectives pour améliorer la durabilité des repas en restauration scolaire.

- Conduire une étude sur la consommation effective des enfants en restauration scolaire

Notre recherche de données de restes à l'assiette afin d'établir les « justes portions » consommées par les enfants a révélé qu'aujourd'hui, en France, il n'existe pas d'enquête nationale sur la consommation « effective » des enfants en restauration scolaire, pour connaître notamment les quantités d'aliments qu'ils consomment en fonction de ce qui est servi. Il serait donc intéressant de mener une étude représentative sur le territoire afin de mesurer la portion servie et les quantités jetées par enfant, en veillant à ce que les restes à l'assiette soient bien séparés, aliment par aliment.

- Identifier d'autres leviers pour améliorer la durabilité des repas en restauration scolaire

Il serait possible de compléter notre étude avec de nouveaux scénarios, notamment un scénario alternatif, qui contiendrait, sur vingt repas, douze repas végétariens, quatre repas dont le plat principal est le poisson et quatre repas dont le plat principal est la viande, en alternant volaille, porc, bœuf et agneau (plutôt que volaille et porc uniquement). On pourrait aussi imaginer un scénario alternant les repas à quatre ou cinq composantes, comme c'est le cas dans plusieurs villes. Il serait également intéressant d'intégrer de nouvelles règles fréquentielles qui correspondent à certaines des recommandations alimentaires du HCSP pour les enfants (HCSP, 2020) actuellement non prises en compte dans les règles fréquentielles existantes (par exemple favoriser les céréales complètes, privilégier les huiles de colza, de noix et d'olive ou consommer des légumineuses deux fois par semaine) pour estimer si elles peuvent améliorer la qualité nutritionnelle des scénarios avec douze repas végétariens. Le prix pourrait aussi être intégré dans la base de données de plats. Sous réserve d'avoir accès aux prix effectivement payés par les collectivités pour les ingrédients mis en œuvre dans

les plats « faits maison » et pour les achats de plats « industriels », nous pourrions estimer l'impact des différents scénarios sur le coût « matières premières » des repas.

- Valoriser la base de données de plats proposés en restauration scolaire

La base de données de plus de 2000 plats proposés en restauration scolaire a constitué un véritable atout pour notre recherche. La demande de l'Anses de pouvoir en disposer pour ses propres études a d'ailleurs confirmé l'intérêt et l'unicité de cette base. C'est pourquoi nous souhaiterions la mettre à disposition - ainsi que la composition nutritionnelle et les indicateurs d'impacts environnementaux rattachés à chaque ingrédient - des acteurs ou chercheurs qui le désireraient sur une plateforme collaborative. En échange, les professionnels pourraient saisir leurs propres plats à partir de leurs fiches techniques, de leurs propres fiches ingrédients et des ingrédients déjà présents dans la base de données. L'avantage par rapport aux bases de données déjà existantes serait de disposer de données sur l'impact environnemental des plats servis aux enfants, de leur composition nutritionnelle détaillée (et pas seulement des informations nutritionnelles nécessaires à l'application des règles fréquentielles, comme la teneur en lipides dans les entrées par exemple), ainsi que d'autres informations utiles à l'évaluation de la durabilité (signes de qualité, prix, mode de conservation, ...). Disposer de telles informations permettrait aux acteurs de la restauration scolaire de faire un premier état des lieux sur la durabilité des repas qu'ils offrent afin qu'ils puissent envisager des solutions pour l'améliorer et ensuite la suivre dans le temps.

- Développer un outil d'aide à la décision pour améliorer la durabilité des repas en restauration scolaire

En se basant sur l'approche par programmation linéaire utilisée pour identifier des scénarios conciliant nutrition et environnement, et en utilisant notre base de données de plats proposés en restauration scolaire, il est possible de développer un prototype d'optimisation de la durabilité des repas en restauration scolaire. Il permettrait de générer automatiquement des séries de repas en fonction des contraintes de l'utilisateur (règles fréquentielles, stocks, qualité nutritionnelle, coût, temps de production, diversité des plats ...) mais aussi de modifier des séries existantes pour les améliorer sur les différentes dimensions de la durabilité. Dans le modèle de programmation linéaire envisagé, les variables sont la liste de plats proposés par l'utilisateur, et leurs caractéristiques associées (composante, composition nutritionnelle, critères fréquents respectés, indicateurs d'impact environnemental, prix, ...). La fonction objectif serait également choisie par l'utilisateur : il pourra s'agir de tirer aléatoirement des plats dans la base de données comme nous l'avons déjà fait ou de minimiser l'impact environnemental (Benvenuti et al., 2016), minimiser l'écart à une série de repas existante (Eustachio Colombo et al., 2019), etc. On peut imaginer coupler ce prototype avec l'application « MS-Recipe » (évoquée en discussion) pour améliorer la durabilité des plats. Le prototype ne se substituerait pas au travail des diététiciens mais constituerait un outil d'aide à la décision. Les diététiciens contribueraient à apporter un retour « humain » et à ajuster les séries de repas proposées par le prototype.

- Mettre en pratique le service de douze repas végétariens

Une perspective importante serait de conduire une recherche interventionnelle pour éprouver en conditions réelles les séries de repas identifiées comme les plus durables à partir des scénarios

d'optimisation. Ainsi, avec l'aide de diététiciens, nous pourrions décliner dans un ou plusieurs restaurants scolaires en France des séries de repas générées par notre scénario comprenant douze repas végétariens sur vingt repas (soit trois repas végétariens hebdomadaires), quatre repas à base de poisson et quatre repas à base de viande de ruminant afin de les servir dans. Aujourd'hui, le service de trois repas végétariens par semaine est très rare, voire inexistant, alors que cette fréquence est compatible avec le respect de la totalité des règles fréquentielles relatives à la composition nutritionnelle des repas servis en restauration scolaire. A l'instar de l'intervention réalisée en Suède (Schäfer Elinder et al., 2020), nous pourrions mettre en place ce scénario dans plusieurs écoles pilotes en France. L'acceptabilité par les enfants pourrait être mesurée en comparant les consommations « effectives » des séries de repas (méthode quantitative) et/ou leur appréciation par un questionnaire (méthode qualitative) avant et après implémentation des nouvelles séries de repas supposées comme « plus durables ».

En conclusion, les acteurs de la restauration scolaire ne cessent de se remettre en question pour proposer des repas plus durables aux enfants sans déroger à la qualité nutritionnelle. A cet égard, on peut regretter que la « cantine » ne bénéficie pas d'une meilleure image auprès des enfants, de leurs parents, et, plus généralement, de la société civile. Nos travaux de recherche, appuyés par le collectif EnScol, apportent des éléments tangibles pour éclairer la réflexion vers de nouvelles règles de fréquence relatives à la qualité nutritionnelle des repas en restauration scolaire, intégrant différentes dimensions de la durabilité.

ANNEXES

Annexe 1 : Contribution 1 : Chapitre de livre

Chapitre 18 : Alimentation en collectivité

POINSOT Romane, PhD, MS-Nutrition (Modélisations et statistiques pour la nutrition)

HUC Marie-Line, Diététicienne-nutritionniste - membre du GEM RCN

DARMON Nicole, Directrice de Recherche INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)

Liste des abréviations :

CNRC : Conseil national de la restauration collective

EAJE : Etablissements d'accueil de jeunes enfants (crèches collectives, familiales, multi-accueils, ...)

GEMRCN : Groupe d'étude des marchés de restauration collective et de nutrition

PAI : Projet d'accueil individualisé

1 Introduction

En France, chaque semaine les EAJE (Etablissement d'accueil de jeunes enfants) accueillent environ 400 000 jeunes enfants (Observatoire national de la petite enfance, 2016) avant leur entrée en école maternelle et les restaurants scolaires environ 8,5 millions d'enfants de la maternelle au lycée (Anses, 2021). Soumis à une réglementation en constante évolution, les repas servis en collectivité constituent un levier majeur pour promouvoir une alimentation plus saine et plus durable. Des recommandations relatives à l'alimentation en EAJE et dans les établissements scolaires ont été élaborées par le Groupe d'étude des marchés de restauration collective et de nutrition (GEMRCN, 2015) dans le but d'aider les professionnels dans l'élaboration de l'offre.

2 Alimentation dans les EAJE

2.1 Organisation des structures d'accueil

Pour être admis dans les EAJE, les enfants doivent avoir entre 2 mois et 3 ans et être en règle au regard des vaccinations obligatoires.

Les EAJE sont habituellement ouverts de 7h à 19h, il est donc fréquent d'y servir deux repas par jour : le déjeuner et le goûter.

2.2 Structure des déjeuners

L'alimentation proposée évolue avec l'âge de l'enfant, avec une introduction progressive des aliments d'abord mixés, puis hachés, râpés et solides (GEMRCN, 2015). De 8-9 mois à 12 mois, le repas est composé d'un plat protidique (viande, poisson, œuf), d'une garniture (légumes et pommes de terre ou produit céréalier adapté selon l'âge, avec matières grasses crues), et d'un dessert (fruits) et

éventuellement une préparation pour nourrisson utilisée en complément. De 12 à 15-18 mois, un produit laitier (fromage ou laitage) est ajouté. De 15-18 mois à 3 ans, une entrée est ajoutée.

2.3 Structure des goûters

Les goûters, comme les déjeuners, adaptés à l'âge de l'enfant, sont composés d'un produit laitier, d'un fruit et éventuellement de compléments céréaliers (GEMRCN, 2015).

2.4 Recommandations nutritionnelles pour l'élaboration des menus

Les recommandations nutritionnelles en collectivité se présentent sous la forme de règles de fréquence de service (ou règles fréquentielles) de certains types de plats à limiter ou à encourager (Annexe A). Le contrôle du respect des règles fréquentielles s'effectue sur une série de 20 repas consécutifs. Par exemple, les entrées contenant plus de 15% de lipides ne doivent pas être servis plus d'une fois sur vingt repas consécutifs aux enfants de 15-18 mois à 3 ans. Il existe 15 règles de fréquence de service pour les nourrissons et jeunes enfants, détaillées dans le document « Recommandation Nutrition » publié par le GEMRCN en 2007 et actualisé en 2015 (GEMRCN, 2015).

3 Alimentation en milieu scolaire

3.1 Organisation de l'offre alimentaire dans les établissements scolaires (de l'école primaire au lycée)

3.1.1 Fonctionnement des restaurants scolaires

Les restaurants scolaires sont apparus en France pour la première fois à Lannion (Côtes-d'Armor) en 1844 (Nourrisson, 2004). L'objectif était de faire preuve de charité en offrant quotidiennement un repas chaud aux enfants les plus démunis. Depuis, la restauration scolaire s'est largement développée dans toute la France et, bien qu'elle ne soit pas obligatoire à l'école primaire, 80% des municipalités proposent ce service (Cnesco, 2017).

Les communes sont responsables du fonctionnement de la restauration scolaire dans les écoles maternelles et élémentaires publiques. Pour les collèges et lycées publiques, ce sont respectivement le département et la région qui en assurent le fonctionnement. Quand c'est la collectivité qui gère les repas, on parle de gestion « directe » ou de « régie ». Dans le cas où la gestion est déléguée à une société de restauration, il s'agit d'une gestion « concédée ». Les repas peuvent être soit cuisinés au sein de l'établissement, soit préparés dans une cuisine centrale pour être distribués ensuite dans les cuisines des établissements, appelées cuisines satellites.

3.1.2 Déjeuner et dîner

Lorsque l'établissement dispose d'une restauration scolaire, les élèves ne sont pas obligés d'y déjeuner. En 2014-2015, 58% des enfants français en primaire (67% au collège et lycée) fréquentaient régulièrement la restauration scolaire (4 à 5 fois par semaine), 16% (11% au collège et lycée) occasionnellement (1 à 3 fois par semaine) et 26% (21% au collège et lycée) rarement ou jamais (Anses, 2021).

Il n'existe pas d'offre alimentaire alternative aux repas proposés par l'établissement et, depuis la rentrée 2005, les distributeurs automatiques sont interdits dans l'enceinte des établissements scolaires (Annexe A).

3.1.3 *Goûter et autres collations*

Le goûter ou les autres collations ne sont habituellement pas distribués à l'école. Le ministère de l'Education nationale rappelle que : « La collation matinale à l'école n'est ni systématique, ni obligatoire et aucun argument nutritionnel ne justifie la collation matinale de 10 heures, qui aboutit à un déséquilibre de l'alimentation et à une modification des rythmes alimentaires des enfants » (Annexe A).

3.2 Réglementation relative à la composition des repas servis en restauration scolaire

3.2.1 *Réglementation nutritionnelle*

En 2011, les 15 règles fréquentielles du GEMRCN pour la restauration scolaire, qui se basent sur le même principe que celles décrites pour les EAJE, sont devenues obligatoires dans les établissements scolaires par décret et arrêté (Annexe A). Les repas doivent être structurés en 4 ou 5 composantes (plat protidique, garniture, produit laitier obligatoirement, entrée et/ou dessert). Des tailles de portions sont recommandées dans le guide du GEMRCN pour tous les aliments, en fonction de l'âge des enfants. C'est uniquement pour les produits prêts à consommer préparés par des fournisseurs extérieurs que le respect de ces tailles de portions est obligatoire.

Le respect des 15 règles fréquentielles permet d'assurer la bonne qualité nutritionnelle des repas proposés à l'école élémentaire (Vieux et al., 2018).

3.2.2 *Les enjeux de durabilité*

La réduction des produits animaux au profit des produits végétaux est indispensable pour diminuer l'impact environnemental des repas scolaires et passe par l'intégration de plus de repas végétariens (Poinot et al. 2021). La réglementation concernant la restauration collective inclut maintenant des enjeux de durabilité :

- Depuis le 1er novembre 2019, tous les restaurants scolaires doivent servir un repas végétarien au moins une fois par semaine, soit 4 à 5 repas végétariens dans une série de 20 repas (Annexe A). Des fréquences sont recommandées par le Conseil National de la Restauration Collective (CNRC) pour le service des plats végétariens, en fonction de leur composition (Annexe A).
- Au 1er janvier 2022, les repas devront compter 50% (en valeur d'achat) de denrées alimentaires dites « de qualité et durables » (Annexe A) dont au moins 20% de produits issus de l'agriculture biologique.

4 Régimes alimentaires particuliers

Les enfants ne sont pas autorisés à apporter leur propre repas, sauf lorsqu'ils sont atteints de troubles de la santé nécessitant un régime particulier, comme une allergie ou une intolérance alimentaire (Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports, 2021). Dans ce cas, un

projet d'accueil individualisé (PAI) est élaboré par le directeur de l'établissement avec le médecin scolaire ou le médecin de la protection maternelle et infantile et l'infirmier scolaire, en accord avec la famille et en lien avec le médecin qui suit l'enfant. Le PAI permet de disposer d'aménagements adaptés au moment du repas en collectivité.

5 Conclusion

Au-delà de la couverture des besoins nutritionnels, les différents enjeux de la restauration en collectivité montrent qu'elle constitue un véritable levier pour proposer un environnement alimentaire favorable à la santé des enfants, quelle que soit leur origine sociale, pour développer leur goût, leurs connaissances alimentaires et pour les sensibiliser à l'impact environnemental de leur alimentation (Darmon & Huc, 2021).

Bibliographie

Anses. (2021). Consommations alimentaires et apports nutritionnels dans la restauration hors foyer en France. <https://www.anses.fr/fr/system/files/OQALI2018SA0291Ra.pdf>

Cnesco. (2017). Contribution sur la restauration scolaire : une disparité en termes d'accès et de service. http://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2017/10/171002_Restauration_scolaire_VF.pdf

Darmon, N., & Huc, M. L. (2021). Au-delà de la polémique sur les menus sans viande, les multiples enjeux de la restauration scolaire. *Cahiers de Nutrition et de Dietétique*, 56(2), 89–90. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2021.03.001>

GEMRCN. (2015). Recommandation nutrition. Version 2.0 - Juillet 2015. <https://www.economie.gouv.fr/daj/recommandation-nutrition>

Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports. (2021). L'accueil des élèves à besoins spécifiques : la mise en place d'un projet d'accueil individualisé. <https://www.education.gouv.fr/l-accueil-des-eleves-besoins-specifiques-la-mise-en-place-d-un-projet-d-accueil-individualise-6695>

Nourrisson, D. (2004). Manger à l'école: une histoire moral. *Food & History*, 2(1), 227–240.

Observatoire national de la petite enfance. (2016). L'accueil du jeune enfant en 2016. Données statistiques. https://www.caf.fr/sites/default/files/cnaf/Documents/Dser/observatoire_petite_enfance/Accueil-Jeune-Enfant_2017-donnees2016.pdf

Poinsot, R., Vieux, F., Maillot, M., & Darmon, N. (2021). Number of meal components, nutritional guidelines, vegetarian meals, avoiding ruminant meat: what is the best trade-off for improving school meal sustainability? En Cours d'évaluation Dans : *European Journal of Nutrition*.

Vieux, F., Dubois, C., Duchêne, C., & Darmon, N. (2018). Nutritional Quality of School Meals in France: Impact of Guidelines and the Role of Protein Dishes. *Nutrients*, 10(2), 205. <https://doi.org/10.3390/nu10020205>

Annexe A : Règles fréquentielles et textes réglementaires relatifs à l'alimentation collectivité

**Annexe 2 : Composition nutritionnelle des plats complets végétariens et non-végétariens
proposés en restauration scolaire : une étude du collectif EnScol**

Composition nutritionnelle des plats complets végétariens et non-végétariens proposés en restauration scolaire : une étude du collectif EnScol

Collectif EnScol

**Darmon, N. et Vieux, F. (animateurs du collectif), Poinot, R. (doctorante),
Cocchiello, L., De Alexandris, C., Dubois, C., Galissant, C., Huc, M.L., Lacombe, B.,
Le Gonidec, D., Lignon, L., Méjean, C., Monnery-Patris, S., Nicklaus, S.,
Perignon, M., Rodhain, A., Sebbane, M.**

WORKING PAPER MOISA 2020-3

WORKING-PAPER – UMR MOISA

Composition nutritionnelle des plats complets végétariens et non-végétariens proposés en restauration scolaire : une étude du collectif EnScol

Collectif EnScol

Nicole Darmon^a et Florent Vieux^b (animateurs du collectif), Romane Poinot^{a,b} (doctorante), Lugdivine Cocchiello^c, Constance De Alexandris^d, Christophe Dubois^e, Carole Galissant^{f,g}, Marie-Line Huc^{h,i}, Brice Lacombe^{j,k}, Delphine Le Gonidec^l, Luc Lignon^l, Caroline Méjean^a, Sandrine Monnery-Patris^m, Sophie Nicklaus^m, Marlène Perignon^a, Angélique Rodhain^{n,o}, Maxime Sebbane^p

^a MOISA, INRAE, Univ Montpellier, CIHEAM-IAMM, CIRAD, Montpellier SupAgro, Montpellier, France

^b MS-Nutrition, faculté de médecine La Timone, 13385 Marseille

^c Aix Marseille Provence Métropole, Direction de l'Agriculture, Service Alimentation, économie Agricole et Innovation, 13002 Marseille

^d Ecoceaty, 13012 Marseille

^e Trophis, 13170 Les Pennes Mirabeau

^f Sodexo, Service aux Opérations France, Pôle culinaire Education-Expertise Nutrition, 78043 Guyancourt

^g SNRC, Syndicat national de la restauration collective, Commission Nutrition, 75008 Paris

^h CENA, Club Experts Nutrition et Alimentation, 73570 Brides-les-Bains

ⁱ AFDN, Association Française des Diététiciens-Nutritionnistes, 75012 Paris

^j ADHEN, Association Pour Le Développement de l'Hygiène et l'Equilibre Nutritionnel, 45000 Orléans

^k Restau'Co, 75009 Paris

^l Mairie de Montpellier, Direction de la Politique Alimentaire, Département de la Réussite Educative et Patrimoine Immobilier, 34000 Montpellier

^m Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, 21000 Dijon, France

ⁿ Association des parents d'Élèves des Écoles du plan des 4 seigneurs, 34090 Montpellier

^o MRM, Montpellier Recherche en Management, Université de Montpellier, 34090 Montpellier

^p Centre de Recherche de l'Institut Paul Bocuse, 69130 Ecully

Le collectif EnScol a été créé en 2019 grâce au dispositif de soutien à la recherche participative CO3 (CO-Construction des Connaissances pour la transition écologique et solidaire) de l'ADEME, la Fondation de France, Agropolis Fondation, la Fondation Daniel & Nina Carasso et la fondation Charles Léopold Mayer – FPH. (voir Annexe 1 pour une description du collectif EnScol)



WORKING-PAPER – UMR MOISA

Résumé

Contexte : En France, depuis le 1er novembre 2019, tous les restaurants scolaires de la maternelle au lycée sont tenus de proposer au moins une fois par semaine un menu végétarien. La présente étude a été initiée et co-élaborée par les membres du collectif EnScol, un collectif de chercheurs et de professionnels de la restauration scolaire.

Objectif : Evaluer la composition nutritionnelle de plats végétariens servis aux enfants à l'école primaire.

Méthodes : La composition nutritionnelle de plats complets (c'est-à-dire l'association plat protidique et accompagnement) a été étudiée, et comparée selon qu'ils étaient végétariens (n=315) ou non-végétariens (n=669). Au sein des plats complets végétariens, trois catégories ont été définies et comparées entre elles : plats sans aucun ingrédient d'origine animale, plats avec fromage, plats contenant des œufs et/ou des produits laitiers autres que du fromage.

Résultats : Les plats complets, qu'ils soient végétariens ou non-végétariens, affichent des teneurs élevées en protéines et des teneurs convenables pour tous les nutriments « protecteurs », à l'exception des acides gras oméga 3 (acide alpha-linolénique-ALA et acide docosahexaénoïque-DHA) et de la vitamine D. Les teneurs en calcium sont convenables pour les plats végétariens dans leur ensemble mais pas pour les non-végétariens. Les trois catégories de plats complets végétariens affichent des teneurs convenables en plusieurs nutriments « protecteurs » (fibres, vitamines A, B1, B3, B6, B9, E, fer, magnésium, cuivre, iode, sélénium), chaque catégorie présentant ses propres caractéristiques nutritionnelles :

- les plats sans aucun ingrédient d'origine animale contiennent beaucoup de fibres et peu d'acides gras saturés (AGS) mais ils présentent des teneurs faibles en vitamines B2 et B12, et en calcium et ils manquent totalement de vitamine D et de DHA. Ils contiennent beaucoup de fer, mais il s'agit de fer non-héminique dont l'absorption est plus faible que le fer héminique d'origine animale.
- les plats végétariens avec fromage sont ceux qui contiennent le plus de calcium mais ils ont davantage d'AGS que les deux autres catégories.
- les plats végétariens contenant des œufs et/ou des produits laitiers autres que du fromage ont des teneurs intermédiaires entre celles des plats des deux précédentes catégories pour la plupart des nutriments. Ils apparaissent comme un bon compromis, car ils apportent les nutriments essentiels associés aux œufs et aux produits laitiers frais, sans apporter les teneurs potentiellement élevées d'AGS et de sodium liées au fromage quand il est présent en quantité importante.

Conclusion : Il est nécessaire d'assurer un équilibre entre ingrédients d'origine végétale non raffinés (légumes, légumes secs, céréales complètes, ...) et ingrédients d'origine animale (œufs et produits laitiers) en quantité adaptée, dans l'élaboration des plats composant les menus végétariens en restauration scolaire.

Mots-clés : Restauration scolaire, végétarien, enfants, qualité nutritionnelle, alimentation durable, France.



WORKING-PAPER – UMR MOISA

Titre en anglais

Nutritional content of vegetarian and non-vegetarian dishes in French school meals: a study by the « EnScol » group

Abstract

Context: In France, since 1 November 2019, all school restaurants are required to offer a vegetarian menu at least once a week. This study was initiated and co-developed by researchers and school catering professionals from the « EnScol » team.

Aim: To assess the nutritional content of vegetarian dishes served in school meals in France.

Methods: The nutritional content of main dishes (i.e. the combination of protein dish and side dish) was studied and compared according to whether the dishes were vegetarian (n=315) or non-vegetarian (n=669). Within the vegetarian main dishes, three categories were defined and compared: dishes without any ingredient of animal origin, dishes with cheese, and dishes containing eggs and/or dairy products other than cheese.

Results: The main dishes, whether vegetarian or non-vegetarian, show adequate levels of all beneficial nutrients, with the exception of omega-3 fatty acids (alpha-linolenic acid-ALA and docosahexaenoic acid-DHA) and vitamin D, and (for non-vegetarian dishes only) calcium. The three categories of vegetarian main dishes have adequate levels of several beneficial nutrients (fibre, vitamins A, B1, B3, B6, B9, E, iron, magnesium, copper, iodine, selenium). However, each category displays its own nutritional characteristics:

- dishes without any ingredient of animal origin contain a lot of fibre and few saturated fatty acids (SFA), but they are low in vitamins B2 and B12 and calcium, and are totally lacking vitamin D and DHA. They contain a lot of iron, but it is non-heme iron that is less absorbed than heme iron of animal origin.
- vegetarian dishes with cheese contain the highest content of calcium, but they have more SFA than the other two categories.
- vegetarian dishes containing eggs and/or dairy products other than cheese display, for most beneficial nutrients, intermediate levels between the two previous categories. They appear to be a good compromise as they provide the essential nutrients associated with eggs and fresh dairy products without providing the potentially high levels of SFA and sodium associated with cheese when it is present in too high amounts.

Conclusion: It is necessary to ensure a balance between unrefined plant-based ingredients (vegetables, pulses, whole grains, etc.) and animal-based ingredients (eggs and dairy products) in appropriate quantities when preparing vegetarian dishes for school meals

Keywords: School, vegetarian, children, nutritional quality, sustainable diets, France

JEL : D12, E21, I12, Q18

Darmon, N. et le groupe EnScol "Place des plats végétariens en restauration scolaire".

Journée d'information de l'AFDN "Végétarisme chez l'enfant ou menu végétarien en restauration scolaire : quels accompagnements", Paris, 20/09/2019.

Présentation lors de la réunion du pôle SAND (Systèmes alimentaires et nutritionnels durables) de l'UMR MOISA, Montpellier, 27/02/2020.



INTRODUCTION

La restauration scolaire est un vecteur privilégié d'éducation à l'alimentation et notamment à une alimentation plus durable. A titre expérimental, la loi « EGALIM »¹, a rendu obligatoire depuis le 1^{er} novembre 2019 et pour 2 ans, de servir un menu végétarien par semaine dans tous les restaurants scolaires de la maternelle au lycée. Afin de ne pas dégrader la qualité nutritionnelle de l'offre, il semble important de s'assurer que les plats servis aux élèves soient judicieusement composés.

Dès janvier 2019, une étude a été initiée et co-élaborée par les membres du collectif EnScol. Ce collectif de chercheurs et de professionnels de la restauration scolaire a identifié la question du menu végétarien comme un sujet prioritaire à traiter, et s'est donné comme premier objectif de mieux connaître les caractéristiques nutritionnelles des plats végétariens servis en restauration scolaire.

OBJECTIF

La présente étude vise à évaluer la composition nutritionnelle de plats complets végétariens et non-végétariens servis aux enfants à l'école primaire en France.

METHODES

Le collectif EnScol disposait déjà d'une base de données compilée dans le cadre d'une précédente étude réalisée sur 40 séries de 20 repas servis à l'école primaire [1]. Les données de cette étude préalable avaient été collectées en 2015. Or, les plats végétariens proposés il y a 5 ans dans les restaurants scolaires étaient peu nombreux et peu diversifiés (principalement des plats à base d'œufs et/ou de fromage, et plus rarement des plats constitués exclusivement d'ingrédients d'origine végétale). C'est pourquoi, afin d'enrichir la base de données initiale, les professionnels du collectif ont fourni de nombreuses fiches techniques de plats végétariens.

Ces fiches techniques (c'est-à-dire la liste des ingrédients et leurs contributions pondérales à la recette, et éventuellement d'autres informations) ont été transmises au premier trimestre 2019 par quatre partenaires : la ville de Montpellier, l'entreprise de restauration collective Sodexo, l'Association Française des Diététiciens Nutritionnistes (AFDN) et l'Association pour le Développement de l'Hygiène et de l'Equilibre Nutritionnel (ADHEN). La ville de Montpellier a donné des fiches techniques des plats végétariens préparés sur place (n=3) et de plats végétariens industriels (n=11) proposés au moins une fois dans les restaurants scolaires des écoles publiques de Montpellier. L'entreprise Sodexo a fourni toutes les fiches techniques des plats végétariens non industriels (n=79) présents dans sa base de données en avril 2019, ainsi que les fiches techniques de produits industriels végétariens présentés par les fournisseurs (n=13) mais non nécessairement servis dans les restaurants scolaires gérés par Sodexo. L'AFDN a fourni une liste de 75 fiches techniques de produits végétariens industriels, provenant d'un inventaire régulier des nouveaux produits végétariens proposés par les industriels en restauration collective de janvier à décembre 2018 [2] ainsi que 5 fiches techniques de plats végétariens non industriels servis au restaurant scolaire d'une commune de l'ouest de la France. L'ADHEN a extrait de la base de données de son logiciel « Menu-Co » l'ensemble des fiches techniques de plats végétariens non industriels (n=39) en évitant les fiches techniques incomplètes ainsi que les omelettes ou autres plats similaires à base d'œufs (ces fiches avaient déjà été fournies pour l'étude précédente).

La présente étude a porté sur des plats complets (appelés indifféremment plats ou plats complets ci-après), c'est-à-dire l'ensemble [plat protidique + accompagnement]. Leur composition nutritionnelle a été obtenue avec la même méthodologie que dans l'étude précédente [1].

Les comparaisons ont porté sur les teneurs en énergie, fibres, fruits et légumes, macro- et micro-nutriments, ainsi que sur des indicateurs globaux de qualité nutritionnelle : densité énergétique, SAIN (Score d'Adéquation Individuel aux recommandations Nutritionnelles), LIM (score des nutriments à LIMiter dans

¹ EGALIM, la "Loi pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et une alimentation saine et durable" aussi appelée Loi pour l'agriculture et l'alimentation a été adoptée par le parlement le 2 octobre 2018, et promulguée le 1er novembre 2018.

une alimentation équilibrée), Nutri-Score et rapport protéines/lipides. Pour les nutriments « protecteurs », les teneurs ont été exprimées en % de la recommandation journalière dans 100g de plat².

→ Tout d'abord, tous les plats complets végétariens (n=315) ont été comparés à tous les plats complets non-végétariens (n=669).

→ Puis, les plats complets végétariens ont également été comparés entre eux, en fonction de la présence ou non de certains ingrédients : œuf, fromage, produits laitiers autres que le fromage. Trois catégories de plats complets végétariens ont ainsi été définies et comparées :

- « FRO (et/ou autre PL, et/ou OEU) » : ces plats contiennent du fromage et éventuellement des œufs et/ou d'autres produits laitiers ;
- « ŒU et/ou PL (excl. FRO) » : ces plats contiennent des œufs et/ou des produits laitiers hors fromage ;
- « VEGETAL » : ces plats ne contiennent que des ingrédients d'origine végétale.

RESULTATS

Comparaison des caractéristiques nutritionnelles des plats complets végétariens et non-végétariens (voir Tableau 1 et Annexe 2)

*Nota-Bene : Dans le tableau 1, on observe que, en moyenne, 100g de plat complet, qu'il soit végétarien ou non, apporte 6,7% de l'apport journalier recommandé en énergie
→ pour les nutriments « protecteurs », on considérera donc que leur teneur dans le plat est convenable si elle est au moins égale à 6,7% d'adéquation/100g*

(voir aussi note de bas de page 2 pour une explication plus complète).

Indicateurs de qualité nutritionnelle : Les plats complets, qu'ils soient végétariens ou non, ont en moyenne un bon LIM (inférieur à 7,5), un bon SAIN (supérieur à 5% d'adéquation pour 100kcal), un bon Nutri-Score (inférieur à 0) et un rapport protéines/lipides également considéré comme bon (supérieur à 1) (**Tableau 1**). En revanche, qu'ils soient végétariens ou non, les plats complets ont un rapport LA/ALA (acide linoléique/acide alpha-linolénique) trop élevé, du fait d'une insuffisance en ALA (voir ci-dessous). Leur densité énergétique moyenne (134 kcal/100g) est aussi un peu trop élevée (une densité énergétique maximum de 125 kcal/100g est recommandée par le Fonds Mondial de Recherche contre le Cancer).

La teneur en protéines est très élevée (bien supérieure au seuil de 6,7%) dans les plats complets, qu'ils soient végétariens ou non. Comme on pouvait s'y attendre, la teneur moyenne en protéines est significativement supérieure dans les plats non-végétariens par rapport aux végétariens : 100g de plat complet non végétarien apportent en moyenne 31,8% de la recommandation journalière en protéines (égale à 25g), et 100g de plat complet végétarien apportent en moyenne 22,6% de la recommandation journalière.

La teneur en nutriments « protecteurs » est majoritairement convenable, voire très convenable, dans les plats complets, qu'ils soient végétariens ou non (voir note de bas de page pour la définition de « convenable » dans ce document). Parmi les nutriments « protecteurs » présents à 6,7% (ou plus) de la recommandation journalière dans 100g, certains sont présents à des teneurs similaires (*i.e.* en moyenne non significativement différentes) entre plats végétariens et non-végétariens (vit B1, iode, vit E), d'autres à des teneurs supérieures dans les plats non-végétariens (B2, B3, B6, B12, potassium, zinc, sélénium), et d'autres encore à des teneurs supérieures dans les plats végétariens (fibres, vit B9, vit A, fer, magnésium, cuivre, acide linoléique).

² L'intérêt de ce mode d'expression est qu'on peut facilement juger si la teneur en un nutriment dans un plat est "convenable" ou non : on la jugera "convenable" si le % de couverture de l'apport recommandé en ce nutriment est supérieur ou égal au % de couverture par ce plat de l'apport recommandé en énergie. Les niveaux d'apports recommandés utilisés dans le calcul de ces pourcentages de couverture sont ceux du tableau 3 : ils ont été calculés en tenant compte de la distribution d'âge et de sexe des enfants à l'école primaire, selon une méthodologie précédemment décrite [1].

Cependant, excepté pour le fer, ces différences ne méritent pas vraiment qu'on s'y arrête dans la mesure où les teneurs sont toujours convenables puisque le seuil de 6,7% est toujours atteint, et souvent assez largement. Le cas du fer mérite en revanche qu'on s'y intéresse : il est présent en moyenne à 13,4% de la recommandation dans les plats végétariens, mais avec une proportion plus faible de fer héminique (présent uniquement dans les aliments d'origine animale, et mieux absorbé/disponible que le fer non-héminique) vs non-héminique, que dans les plats non-végétariens. Cependant, même en admettant que l'absorption du fer présent dans les plats végétariens ne soit que de 5% (au lieu de 10% dans une alimentation omnivore, hypothèse utilisée pour définir le niveau actuel de recommandation en fer), cela doublerait la recommandation en fer et donc diviserait par deux le pourcentage de couverture dans 100g, soit 6,7% (=13,4/2) exactement.

Le cas des nutriments « protecteurs » présents à moins de 6,7% de la recommandation journalière dans 100g doit être examiné avec attention :

- Vitamine C : la teneur moyenne en vitamine C est presque égale (mais inférieure) à 6,7% dans les plats végétariens (6,24%) ou non-végétariens (6,56%) : ceci n'est pas problématique puisque la vitamine C est quand même présente à un niveau intéressant et surtout car ce sont les fruits et les crudités (et non les plats complets) qui sont les sources principales de vitamine C dans les repas.

- Calcium : la teneur moyenne en calcium est presque égale à 6,7% dans les plats végétariens (6,57%) mais elle est nettement plus faible dans les plats non-végétariens (3,60%). Ceci indique qu'il est important de continuer à veiller à la teneur en calcium des repas servis aux enfants, notamment si les fréquences de service de produits laitiers sources de calcium venaient à être modifiées.

- Vitamine D et DHA : la teneur moyenne en vitamine D des plats complets est inférieure à 6,7% dans les plats non-végétariens (4,49%), et elle est particulièrement faible dans les plats végétariens (1,99%). La teneur en acide docosahexaénoïque (DHA) est bien supérieure au seuil de 6,7% dans les plats non-végétariens (15%), mais elle est particulièrement faible dans les plats végétariens (1,91%). Ces résultats sont logiques compte tenu du fait que ces deux nutriments lipidiques sont très majoritairement apportés par les poissons gras, et, dans une moindre mesure, par les œufs.

- ALA et LA/ALA : l'acide alpha-linolénique (ALA) est présent en quantité trop faible, et ceci que les plats soient végétariens (4,98%) ou non-végétariens (3,66%). Compte tenu du fait que les apports en acide linoléique (LA) sont quant à eux bien supérieurs au seuil de 6,7%, le rapport LA/ALA des plats complets est nettement trop élevé par rapport à l'attendu : il est égal à 9,46 pour les non-végétariens et à 10,6 pour les végétariens, alors qu'il serait préférable qu'il ne dépasse pas 5.

Pour les nutriments que les recommandations de santé publique visent à « limiter », on remarque que les teneurs moyennes en AGS et en sodium sont du même ordre de grandeur entre plats complets végétariens et non-végétariens, mais avec un léger avantage pour les plats végétariens. En ce qui concerne les sucres libres, leur teneur a été estimée à 0,1g/100g en moyenne dans les plats végétariens comme dans les plats non-végétariens (données non montrées), ce qui est tout à fait négligeable.

Comparaison des caractéristiques nutritionnelles des trois catégories de plats complets végétariens : « FRO (et/ou autre PL, et/ou ŒU) », « ŒU et/ou PL (excl. FRO) » et « VEGETAL »

(voir Tableau 2 et Annexe 3)

Indicateurs de qualité nutritionnelle : les trois catégories de plats complets végétariens ont en moyenne un bon LIM (inférieur à 7,5) et un rapport protéines/lipides également considéré comme bon (supérieur à 1) (**Tableau 2**). Elles ont aussi un bon SAIN en moyenne (supérieur à 5% d'adéquation pour 100kcal). En revanche, quelle que soit la catégorie, le rapport LA/ALA est en moyenne trop élevé, du fait d'une insuffisance en ALA. Les teneurs moyennes en protéines sont également élevées, supérieures à 20% de la recommandation dans 100g (sans différences significatives entre les catégories).

La teneur en nutriments « protecteurs » est convenable dans les trois catégories de plats végétariens pour la plupart des nutriments considérés, et notamment pour les fibres, les vitamines B1, B3, B6, B9, A et E, le fer, le magnésium, le cuivre, l'iode et le sélénium.

Cependant, chaque catégorie présente des caractéristiques spécifiques qu'il convient de souligner :

- La catégorie « VEGETAL »

La principale *force* de la catégorie « VEGETAL » est sa faible teneur en AGS (la plus faible), ce qui explique aussi qu'elle ait le meilleur LIM et le meilleur Nutri-Score.

En termes de nutriments « protecteurs », c'est la catégorie la plus contrastée, avec, par rapport aux deux autres catégories de plats végétariens, à la fois les teneurs les plus élevées en certains nutriments et les plus faibles en d'autres nutriments³.

Les plats de cette catégorie contiennent beaucoup de fer, mais c'est du fer non-héminique dont l'absorption est plus faible que le fer héminique d'origine animale.

Contrairement à ce qu'on aurait pu penser, c'est la catégorie « VEGETAL » qui présente le rapport protéines/lipides le plus élevé (=1,81), et sa teneur moyenne en protéines n'est pas significativement différente, sur le plan statistique, de celle des deux autres catégories de plats végétariens, qui pourtant contiennent des ingrédients d'origine animale⁴.

La catégorie « VEGETAL » présente la teneur en *fibres* la plus élevée, 100g de plat complet couvrant 26% de la recommandation journalière, qui est de 13g par jour pour les enfants en école primaire (soit moins que la moitié de la recommandation adulte qui est aujourd'hui de 30g).

Les principales *faiblesses* de la catégorie « VEGETAL » sont ses faibles teneurs en vitamines B2 et B12 (non seulement les plus faibles par rapport aux autres catégories mais aussi faibles dans l'absolu) et en calcium, et le manque total de vitamine D et de DHA (les faibles niveaux en ces deux nutriments témoignant de l'absence d'œufs et, bien sûr, de poisson).

→ On note que ni le Nutri-Score (meilleur que celui des 2 autres catégories de plats complets végétariens) ni le SAIN (similaire à celui des 2 autres catégories) ne mettent en évidence ces faiblesses, ce qui s'explique par le fait que les nutriments présents en quantité insuffisante dans les plats de cette catégorie ne sont pas pris en compte dans ces scores (sauf la vitamine D dans le SAIN).

- La catégorie « ŒU et/ou PL (excl. FRO) » a une composition nutritionnelle *intermédiaire* entre les deux autres catégories de plats complets végétariens pour de nombreux nutriments. Elle présente l'*avantage* notable d'avoir la meilleure (la plus faible) densité énergétique (elle respecte la recommandation de 125 kcal/100g maximum) et de contenir de l'iode, du DHA et de la vitamine D en quantité non négligeable.

- La catégorie « FRO (et/ou autre PL, et/ou ŒU) » présente la teneur la plus élevée en calcium, et elle partage, avec la catégorie précédente, l'*intérêt* d'avoir des teneurs élevées en vitamines B2, B12 et en iode. Mais cette catégorie présente le *défait* d'avoir une forte densité énergétique (néanmoins pas plus forte que celle de la catégorie "VEGETAL"), et le LIM le plus élevé dû à la teneur la plus forte en AGS.

→ Une analyse complémentaire sur la place du fromage dans les plats de la catégorie « ŒU et PL incl. FRO », a montré que la quantité de fromage pour 100g est corrélée positivement au Nutri-Score et au score LIM dans cette catégorie (coefficients de corrélation de Spearman respectivement égaux à 0,37 et 0,63, $p < 0,001$). L'annexe 4, qui représente l'ensemble des plats complets végétariens sur le plan SAIN, LIM, indique que (à une exception près) tous les plats dont le LIM est supérieur au seuil 7,5 font partie de la catégorie « FRO et/ou autre PL et/ou ŒU ». Le score LIM tend à dépasser le seuil de 7,5 lorsque la teneur en fromage atteint 12,7 g/100, ce qui suggère qu'il serait judicieux de limiter la quantité de fromage dans les plats complets à 12g pour 100g au maximum, et/ou de choisir les variantes de fromages les moins grasses et/ou les moins salées car le fromage est une source importante de calcium.

³ La catégorie "VEGETAL" présente les teneurs significativement les plus élevées en vitamines B1, B3, potassium, magnésium et cuivre, mais ceci ne lui procure pas un avantage notable par rapport aux autres catégories, puisque ces dernières affichent aussi des teneurs convenables en ces nutriments. La catégorie « VEGETAL » affiche aussi les teneurs les plus faibles en vitamine A et en iode, mais ce n'est pas problématique car ces teneurs sont convenables.

⁴ Une portion de 100g de plat complet "VEGETAL" couvre en moyenne 21,0% de la recommandation journalière en protéines (vs 23,7% pour « FRO (et/ou autre PL, et/ou ŒU) » et 21,5% pour « ŒU et/ou PL (excl. FRO) »)

LIMITES ET PERSPECTIVES

Comme toutes les études, ce travail présente des limites, mais ces limites sont autant de pistes pour les travaux à mener ultérieurement.

Premièrement, la base de données des plats complets utilisée pour la présente étude ne peut prétendre à être représentative de l'ensemble des plats complets servis en restauration scolaire en France. Néanmoins les fiches techniques collectées reflètent les pratiques actuelles, car elles ont été transmises par des acteurs majeurs de la profession en 2019.

Deuxièmement, la composition nutritionnelle des plats a été calculée sur la base de la composition nutritionnelle d'ingrédients qui sont de type générique. Il n'a donc pas été possible de tenir compte d'éventuelles caractéristiques associées à l'utilisation d'ingrédients particuliers, sauf lorsque ces caractéristiques étaient associées à des compositions nutritionnelles connues et disponibles sur la fiche technique du produit. En fait, les seules bases de données de composition nutritionnelle disponibles à ce jour portent sur des aliments de type générique. Notamment, il n'existe pas de données indiquant la composition nutritionnelle des produits selon leur origine et/ou leur mode de production (par ex. bio, local, label rouge, de saison...), et les quelques études disponibles indiquent que ces caractéristiques ne sont pas associées à des différences de composition nutritionnelle majeures ni systématiques.

Troisièmement, les teneurs en nutriments « protecteurs » ont été rapportées aux niveaux actuellement recommandés pour les enfants, en tenant compte de la distribution d'âge et de sexe à l'école primaire, selon une méthodologie précédemment décrite [1]. Ces calculs devront être mis à jour quand les recommandations d'apports en nutriments pour les enfants auront été mises à jour par l'ANSES.

Quatrièmement, il n'a pas été tenu compte de la biodisponibilité des nutriments, c'est-à-dire la part de nutriment absorbée et utilisée par l'organisme. Ceci est potentiellement important pour des nutriments tels que les protéines, la vitamine A, le fer, le calcium et le zinc, dont la biodisponibilité varie selon les sources alimentaires (généralement plus faible dans les produits d'origine végétale) et selon certaines caractéristiques de l'alimentation (présence d'inhibiteurs et d'activateurs de l'absorption). A cet égard, il faut noter que les biodisponibilités du fer non-héminique et du zinc sont diminuées par la présence de phytates, des composés présents dans certains végétaux riches en fibres comme les céréales complètes et les légumes secs. Le niveau très élevé de fibres dans les plats de la catégorie « VÉGÉTAL » devrait donc faire l'objet d'une attention particulière. Néanmoins, pour considérer convenablement la biodisponibilité des nutriments, il serait plus pertinent de considérer le plat dans un repas, et plus largement dans un cycle de menus. Dans une prochaine étude, il est prévu d'étudier non plus seulement le plat complet végétarien de façon isolée mais l'ensemble du repas végétarien (que servir en entrée/dessert pour optimiser le repas végétarien ?), ainsi que la façon dont ce repas végétarien s'intègre dans un plan de 20 repas successifs (peut-on envisager un nombre de menus végétariens >1/semaine et si oui à quelles conditions ?).

Cinquièmement, dans le présent document ne sont présentées que des moyennes, or il existe une variabilité au sein de chaque catégorie de plats. Par exemple, des résultats complémentaires à la présente étude (en cours de publication) montrent que les plats complets contenant un accompagnement de légumes ont dans l'ensemble une meilleure qualité nutritionnelle que les plats contenant un accompagnement de féculents. Une étude détaillée de la variabilité des compositions nutritionnelles et des facteurs de cette variabilité permettrait d'identifier les plats de meilleur profil nutritionnel et de proposer des façons d'améliorer les plats de moins bon profil, notamment en jouant sur la qualité des accompagnements (féculents moins raffinés et/ou comprenant une proportion minimale de légumes). Cela fera l'objet d'un prochain travail.

Enfin, le dynamisme et l'implication des différents membres du collectif EnScol permet d'envisager aisément que cette base de données sera évolutive, et pourra être complétée par de nouveaux plats et de nouvelles informations sur les compositions des plats. Il est également envisagé de compléter ces données avec des caractéristiques telle que l'acceptabilité sociale et gustative des plats, des facteurs permettant d'évaluer la biodisponibilité de nutriments clés, les impacts environnementaux, la présence de contaminants, le risque de gaspillage, et des données économiques... autant de variables qui permettront d'évaluer la durabilité de l'offre de repas en restauration scolaire.

CONCLUSION ET PROPOSITIONS

Cette étude suggère que les plats complets proposés en restauration scolaire, qu'ils soient végétariens ou non, sont dans l'ensemble de bonne qualité nutritionnelle. On note un ratio LA/ALA trop élevé, mais ceci pourrait aisément être corrigé en ayant plus souvent recours à l'huile de colza ou à des mélanges d'huile contenant de l'huile de colza.

Les trois catégories de plats complets végétariens, qui diffèrent selon les ingrédients qui les constituent, affichent des teneurs convenables en plusieurs nutriments « protecteurs » (fibres, vitamines A, B1, B3, B6, B9, E, fer, magnésium, cuivre, iode, sélénium), ainsi que des caractéristiques nutritionnelles spécifiques à chaque catégorie :

- *Les plats complets végétariens exclusivement constitués d'ingrédients d'origine végétale* (catégorie « VEGETAL ») contiennent beaucoup de fibres et de potassium et peu d'acides gras saturés (AGS) mais ils présentent des teneurs faibles en vitamines B2 et B12, et en calcium. De plus, ils manquent totalement de vitamine D et de DHA, ce qui doit être un point de vigilance sachant que l'alimentation française est déjà déficitaire en ces nutriments. Ils contiennent beaucoup de fer, mais c'est du fer non-héminique dont l'absorption est plus faible que le fer héminique d'origine animale, notamment en présence de phytates, des composés présents dans les légumineuses et les céréales complètes.

→ La faible teneur des plats exclusivement constitués d'ingrédients d'origine végétale en vitamines B2, B12, D, et en DHA ne devrait pas poser de problème particulier, tant que le service de ces plats est complété par le service d'autres plats qui apportent ces nutriments à un niveau convenable ou élevé. Les fréquences optimales de service des différentes catégories de plats restent toutefois à définir.

→ La faible teneur en calcium des plats exclusivement constitués d'ingrédients d'origine végétale ne devrait pas non plus poser de problème particulier, mais il est important de continuer à veiller à la teneur en calcium des repas servis aux enfants, notamment si les fréquences de service de produits laitiers sources de calcium venaient à être modifiées.

→ Par ailleurs, les plats de la catégorie « VEGETAL », bien qu'ils soient exclusivement constitués d'ingrédients d'origine végétale, sont ceux qui présentent le quotient protéines/lipides le plus élevé. Ceci suggère qu'ils ne seraient pas négativement discriminés si le critère P/L était maintenu parmi les critères de fréquence de service des plats protidiques en restauration scolaire.

- *Les plats complets végétariens contenant du fromage* (catégorie « FRO (et/ou autre PL, et/ou CÉU) ») contiennent en moyenne trop d'AGS, mais il suffirait de réduire les quantités de fromage dans les plats qui en contiennent trop pour rehausser la qualité nutritionnelle de ces plats. Réduire les quantités de fromage sans le supprimer est une piste à étudier, notamment si la fréquence de service des produits laitiers venait à être réduite et celle des plats d'origine exclusivement végétale venait à être augmentée.

→ Nos résultats suggèrent qu'une quantité maximale de 10 à 12g de fromage dans 100g de plat complet végétarien permet de concilier l'apport intéressant en calcium du fromage sans trop charger le plat en sodium et en AGS.

- *Les plats complets végétariens contenant des œufs et/ou des produits laitiers autres que le fromage* (catégorie « CÉU et/ou PL (excl. FRO) ») présentent un très bon compromis nutritionnel entre les deux autres catégories de plats végétariens, car ils apportent les nutriments « protecteurs » associés aux œufs et aux produits laitiers frais sans apporter les teneurs potentiellement élevées d'AGS et de sodium liées au fromage quand il est présent en quantité importante.

→ Ceci suggère qu'il ne serait pas justifié du point de vue nutritionnel d'avoir une interprétation « végétalienne » du plat végétarien, et que les plats à base d'œufs et/ou de produits laitiers ont toute leur place en restauration scolaire, tant que les quantités de fromage sont maîtrisées.

Enfin, puisque le Nutri-Score ne permet pas de rendre compte finement de la qualité nutritionnelle de l'offre alimentaire en restauration collective, il est important d'évaluer les teneurs en nutriments « protecteurs » qui ne sont pas comptabilisés dans ce score. Il est également important de ne pas se contenter d'étudier les plats séparément, mais de les analyser dans le contexte du repas et de la diète.

NB : La présence d'additifs dans les plats végétariens de la base de données a fait l'objet d'une analyse spécifique, et les résultats ne soulèvent pas d'inquiétude particulière (voir Annexe 5).

Comme toujours en nutrition, l'important tient en 2 mots : diversité et modération ! Pour les plats végétariens, cela se traduit par un nécessaire équilibre entre ingrédients d'origine végétale (légumes, légumes secs, céréales complètes, ...) et ingrédients d'origine animale (œufs et produits laitiers) de bonne qualité et en quantité adaptée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Vieux, F.; Dubois, C.; Duchêne, C.; Darmon, N. Implications nutritionnelles des directives françaises sur l'offre alimentaire en restauration scolaire et place des plats protidiques. *Cah. Nutr. Diet.*, **2019**, 54(1):22-34.
2. Bordmann, M.; Huc, M. Plats protidiques végétariens : quelle qualité nutritionnelle dans l'assiette des convives de la restauration collective ? Analyse de la valeur nutritionnelle des produits proposés. *Inf. Diététique* **2019**, 2/2019, 32-40.

Tableau 1. Comparaison des caractéristiques nutritionnelles des plats complets végétariens et non-végétariens

(teneurs moyennes)	Végétariens n=315	Non-végétariens n=669	p-value ¹
Densité énergétique (kcal/100g)	134	134	0,499
SAIN (% d'adéquation/100 kcal)	6,45	5,97	<0,001
LIM (% d'excès/100 g)	5,14	5,83	<0,001
Nutri-Score	-1,66	-0,64	<0,001
Fruits & Légumes ² (g/100 g)	44,2	29,8	<0,001
Glucides (g/100g)	15,1	12,9	<0,001
Lipides (g/100g)	5,08	5,22	0,957
Protéines (g/100g)	5,67	7,98	<0,001
Protéines (g/100g)/Lipides (g/100g)	1,43	1,73	<0,001
Energie (%reco) ³	6,72	6,74	0,499
Protéines (%reco)	22,6	31,8	<0,001
Fibres (%reco)	20,4	12,9	<0,001
Vitamine B1 (%reco)	11,2	12,4	0,081
Vitamine B2 (%reco)	6,67	6,95	<0,001
Vitamine B3 (%reco)	7,64	20,8	<0,001
Vitamine B6 (%reco)	10,1	15,1	<0,001
Vitamine B9 (%reco)	20,2	11,9	<0,001
Vitamine B12 (%reco)	8,06	27,5	<0,001
Vitamine C (%reco)	6,24	6,56	0,143
Vitamine D (%reco)	1,99	4,49	<0,001
Vitamine E (%reco)	11,6	10,8	0,460
Vitamine A (%reco)	18,9	15,9	0,001
Calcium (%reco)	6,57	3,60	<0,001
Potassium (%reco)	7,39	8,03	<0,001
Fer (%reco)	13,4	10,2	<0,001
Magnésium (%reco)	15,3	11,2	<0,001
Zinc (%reco)	7,32	9,75	0,001
Cuivre (%reco)	11,62	8,85	<0,001
Iode (%reco)	10,0	10,8	0,449
Sélénium (%reco)	13,0	14,0	0,001
AG linoléique, LA (%reco)	9,59	7,82	0,019
AG alpha linolénique, ALA (%reco)	4,98	3,66	<0,001
AG docosahexaénoïque, DHA (%reco)	1,91	15,0	<0,001
LA (g/100g) /ALA (g/100g)	9,46	10,6	0,001
AGS (g/100 g)	1,60 g	1,80 g	<0,001
Sodium (mg/100 g)	249 mg	287 mg	<0,001
Sucres totaux (g/100 g)	2,01 g	1,30 g	<0,001

¹Test de Wilcoxon-Mann-Whitney : différence considérée comme significative si p-value <0.05.

² Tels que définis par l'algorithme du Nutri-Score : « fruits, légumes, légumineuses, fruits à coque et huiles de colza, de noix et d'olive ».

³ En % de la recommandation journalière (Tableau 3) dans 100g de plat.

Tableau 2. Comparaison des caractéristiques nutritionnelles des trois catégories de plats complets végétariens : « FRO (et/ou autre PL, et/ou CÉU) », « CÉU et/ou PL (excl. FRO) » et « VEGETAL ».

(teneurs moyennes)	FRO (et/ou autre PL et/ou CÉU) n=129	CÉU et/ou PL (excl. FRO) n= 53	VEGETAL n=133	p-value globale ¹
Densité énergétique (kcal/100g)	140 ^{a 2}	118 ^b	135 ^a	0,003
SAIN (% d'adéquation/100 kcal)	6,10	6,9	6,61	0,126
LIM (% d'excès/100 g)	6,48 ^a	4,84 ^b	3,97 ^c	<0,001
Nutri-Score	0,04 ^a	-1,53 ^a	-3,36 ^b	<0,001
Fruits & Légumes ³ (g/100 g)	40,5	45,1	47,5	0,138
Glucides (g/100g)	14,5 ^a	11,3 ^b	17,0 ^c	<0,001
Lipides (g/100g)	5,99 ^a	5,07 ^b	4,19 ^c	<0,001
Protéines (g/100g)	5,96	5,39	5,50	0,080
Protéines (g/100g)/Lipides (g/100g)	1,11 ^a	1,29 ^{a,b}	1,81 ^a	<0,001
Energie (%reco) ⁴	7,03 ^a	5,93 ^b	6,74 ^a	0,003
Protéines (%reco)	23,7	21,5	21,9	0,080
Fibres (%reco)	16,2 ^a	16,7 ^a	26,0 ^b	<0,001
Vitamine B1 (%reco)	9,91 ^a	10,2 ^a	12,8 ^b	<0,001
Vitamine B2 (%reco)	7,96 ^a	8,36 ^a	4,76 ^b	<0,001
Vitamine B3 (%reco)	6,97 ^a	6,45 ^a	8,76 ^b	<0,001
Vitamine B6 (%reco)	9,20 ^a	9,76 ^{a,b}	11,1 ^b	<0,001
Vitamine B9 (%reco)	16,8 ^a	21,1 ^b	23,1 ^b	<0,001
Vitamine B12 (%reco)	13,1 ^a	10,6 ^a	2,22 ^b	<0,001
Vitamine C (%reco)	6,17	6,43	6,24	0,832
Vitamine D (%reco)	2,67 ^a	3,62 ^a	0,68 ^b	<0,001
Vitamine E (%reco)	11,1	12,7	11,7	0,162
Vitamine A (%reco)	19,6 ^a	23,2 ^a	16,6 ^b	0,001
Calcium (%reco)	9,31 ^a	5,19 ^b	4,46 ^b	<0,001
Potassium (%reco)	6,47 ^a	7,34 ^a	8,30 ^b	<0,001
Fer (%reco)	11,4 ^a	13,8 ^b	15,1 ^b	<0,001
Magnésium (%reco)	13,2 ^a	13,6 ^a	18,1 ^b	<0,001
Zinc (%reco)	7,84 ^a	6,18 ^b	7,27 ^a	0,001
Cuivre (%reco)	9,67 ^a	10,2 ^a	14,1 ^b	<0,001
Iode (%reco)	11,5 ^a	11,7 ^a	7,9 ^b	<0,001
Sélénium (%reco)	13,1	12,2	13,2	0,533
AG linoléique, LA (%reco)	8,17 ^a	11,6 ^b	10,2 ^b	<0,001
AG alpha linolénique, ALA (%)	4,22 ^a	5,03 ^{a,b}	5,69 ^b	0,009
AG docosahexaénoïque, DHA (%reco)	2,11 ^a	5,24 ^a	0,39 ^b	<0,001
LA (g/100g) /ALA (g/100g)	8,89	9,78	9,89	0,125
Acides gras saturés, AGS (g/100 g)	2,46 ^a	1,36 ^b	0,87 ^c	<0,001
Sodium (mg/100 g)	252	254	244	0,775
Sucres totaux (g/100 g)	2,09	2,03	1,93	0,471

¹ Test de Kruskal-Wallis : différence globale considérée comme significative si p-value <0,05.

² Une même lettre en indice indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux catégories (test de Dunn avec correction de Bonferroni).

³ Tels que définis par l'algorithme du Nutri-Score : « fruits, légumes, légumineuses, fruits à coque et huiles de colza, de noix et d'olive ».

⁴ En % de la recommandation journalière (Tableau 3) dans 100g de plat.

Tableau 3. Recommandations d'apports journaliers en énergie, protéines et nutriments « protecteurs » pour les enfants de 4 à 13 ans fréquentant l'école primaire [3].

Nutriment	Recommandation journalière
Energie	1996 kcal
Protéines	25 g
AG linoléique (LA)	8,9 g
AG alpha linolénique (ALA)	2,2 g
AG DHA	152 mg
Fibres	13 g
Vitamine B1	0,8 mg
Vitamine B2	1,2 mg
Vitamine B3	9 mg
Vitamine B6	1 mg
Vitamine B9	201 µg
Vitamine B12	1,4 µg
Vitamine C	89 mg
Vitamine D	5 µg
Vitamine E	9,1 mg
Vitamine A	501 µg
Calcium	924 mg
Potassium	2892 mg
Fer	8,2 mg
Magnésium	203 mg
Zinc	9,2 mg
Cuivre	1,2 mg
Iode	120 µg
Sélénium	39 µg

ANNEXES

Annexe 1. Courte présentation du collectif EnScol

EnScol

Ensemble, poser les bases d'une évolution des pratiques pour une restauration scolaire plus durable.

(financé par la Fondation Daniel et Nina Carasso dans le cadre du dispositif CO3 de l'ADEME (Co-Construction des Connaissances), de soutien à la recherche participative encourageant la transition écologique et solidaire).

Nutrition (santé)

Environnement

Alimentation

Culture

Economie

Le collectif EnScol est constitué de :

- représentants de la Politique Agro écologique et Alimentaire de Montpellier Méditerranée,
- représentants du Projet Alimentaire Territorial porté par la métropole Aix-Marseille Provence,
- professionnels de la restauration collective (concédée et autogérée),
- statisticiens et modélisateurs de l'entreprise MS-Nutrition (Marseille),
- diététiciens spécialistes de la restauration scolaire,
- chercheurs en nutrition, santé publique, psychologie et comportement alimentaire, et en sciences de gestion,
- représentants de parents d'élèves.

Pour aller vers plus de durabilité dans les cantines scolaires, le collectif **EnScol** a l'ambition d'apporter des réponses concrètes et pragmatiques basées sur les résultats d'analyses factuelles d'observations et de données issues du terrain.

Les contacts entre les acteurs du collectif **EnScol** se font sous forme de partage d'informations et de connaissances, notamment lors de réunions physiques régulières (4 par an).

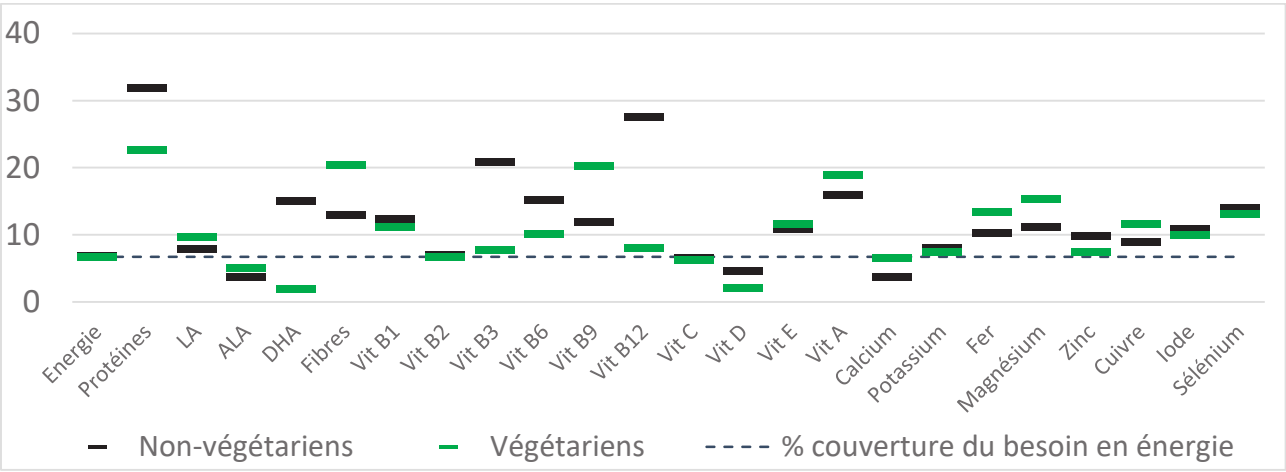
L'équipe-projet :

Nicole Darmon, directrice de recherche INRAE en Nutrition Publique, nicole.darmon@inrae.fr

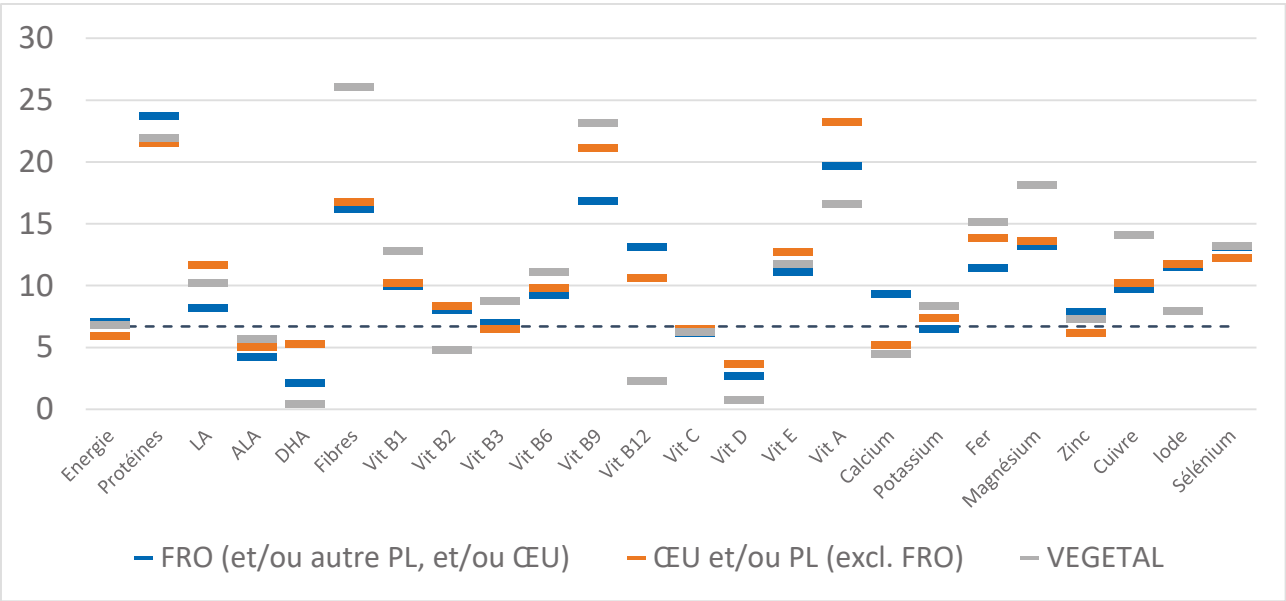
Florent Vieux, directeur g^{al} de MS-Nutrition et chercheur en Nutrition, florent.vieux@ms-nutrition.com

Romane Poinot, doctorante CIFRE, romane.poinot@ms-nutrition.com

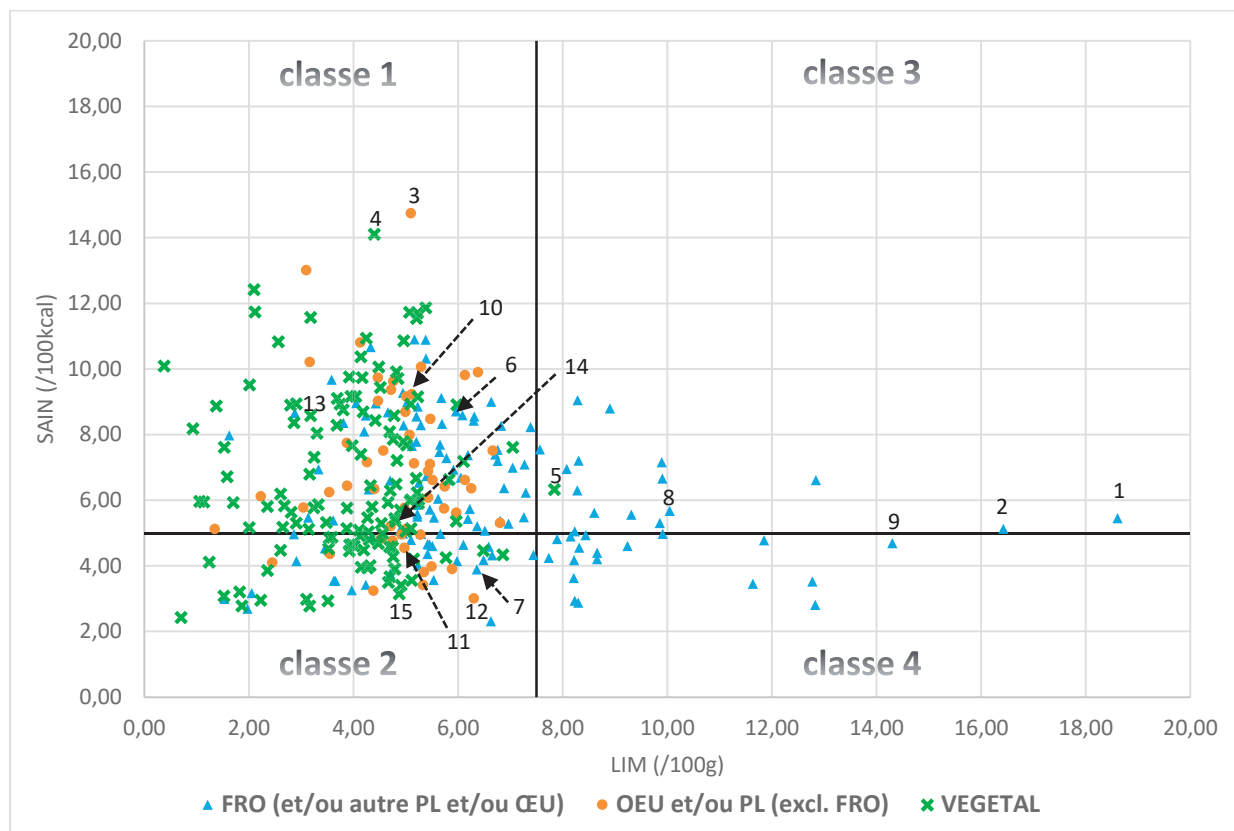
Annexe 2. Représentation graphique d’une partie des résultats du tableau 1 : teneurs en énergie et en nutriments « protecteurs », exprimées en % de la recommandation journalière (Tableau 3) dans 100g de plats complets végétariens et non-végétariens.



Annexe 3. Représentation graphique d’une partie des résultats du tableau 2 : teneurs en énergie et en nutriments « protecteurs », exprimées en % de la recommandation journalière (Tableau 3) dans 100g de plats complets appartenant aux trois catégories de plats végétariens.



Annexe 4. Projection sur le plan SAIN,LIM des plats complets végétariens (n=315) appartenant aux trois catégories. Les plats présentant des valeurs extrêmes de SAIN ou de LIM dans leur catégorie sont indiqués de 1 à 5 et les plats de 6 à 15 ont été sélectionnés aléatoirement pour illustrer la diversité des plats complets végétariens. 1. *Camembert demi-pané frit et salade*. 2. *Panini précuit aux trois fromages*. 3. *Œufs Florentine*. 4. *Haricots flageolets bio à la tomate*. 5. *Couscous végétarien*. 6. *Gratin de pommes de terre, chou-fleur et lentilles*. 7. *Cordon bleu végétarien*. 8. *Moussaka végétarienne*. 9. *Flamiche au brie*. 10. *Galette de quinoa, lentilles, amande et curry*. 11. *Omelette aux fines herbes*. 12. *Quenelles béchamel*. 13. *Fajitas aux légumes*. 14. *Steak de soja*. 15. *Ravioli tofu basilic*.



➔ On remarque que les plats avec le plus fort LIM (points 1 et 2) font partie de la catégorie « FRO et/ou autre PL et/ou ŒU », de même que tous ceux avec un LIM supérieur au seuil 7,5 (à l'exception du couscous végétarien -point 5- qui fait partie de la catégorie «VEGETAL»). Les plats avec le SAIN le plus élevé (points 3 et 4) font partie des deux catégories sans fromage (« ŒU et/ou PL (excl. FRO) » et « VEGETAL »). Les plats complets végétariens avec un LIM inférieur à 7,5 sont dispersés le long de l'axe du SAIN, en classe 1 ou en classe 2.

Annexe 5. Analyse complémentaire sur la présence d'additifs

Les additifs, parfois présents dans les plats industriels servis en restauration scolaire sont une préoccupation majeure des parents d'élèves et des professionnels de la restauration collective (diététiciens, gestionnaires). Si les données sur les additifs n'ont pas été exploitées dans la présente étude, de précédents travaux effectués dans le cadre d'un stage de fin d'études d'ingénieur agroalimentaire ont néanmoins permis de répertorier les additifs présents dans les plats végétariens industriels fournis par le collectif EnScol [a] et de les classer dans quatre classes, des plus acceptables à ceux qu'il faudrait éviter, selon la grille d'appréciation des additifs alimentaires autorisés proposée par l'UFC-Que Choisir [b]. Seulement 56% des plats végétariens industriels analysés contenaient des additifs. Sur les 19 additifs différents identifiés, deux agents de texture, l'amidon modifié et le diphosphate, retrouvés dans trois produits différents (pané au gouda, stick de mozzarella pané et boulettes de soja tomate basilic) étaient classés comme « peu recommandables » et aucun additif n'était classé comme « à éviter » (classe 4) selon la classification proposée par l'UFC-Que Choisir.

a. Dridi, N. Qualité nutritionnelle des plats protidiques végétariens en restauration scolaire, Rapport Master2, Montpellier SupAgro, 2019.

b. UFC-Que Choisir Evaluation additifs alimentaires <https://www.quechoisir.org/comparatif-additifs-alimentaires-n56877/> (accessed Feb 7, 2020).

Annexe 3 : Résumé du poster P002 « Développement d'un outil d'optimisation du Nutri-Score et d'autres critères de la durabilité : application à des plats servis en restauration scolaire » présenté aux JFN Live 2020 du 25 au 27 novembre 2020

P002

Développement d'un outil d'optimisation du Nutri-Score et d'autres critères de durabilité : application à des plats servis en restauration scolaire

R. Poinot^{1,2,*}, F. Costagliola², M. Maillot², R. Gazan², N. Darmon¹, F. Vieux²

¹INRAE, UMR MOISA, Montpellier, ²MS-Nutrition, Marseille, France

Introduction et but de l'étude : En restauration collective, le Nutri-Score n'est pas obligatoire mais de plus en plus de gestionnaires s'engagent à le déployer dans les cantines scolaires. L'objectif de l'étude était d'optimiser des plats proposés en restauration scolaire pour améliorer leur Nutri-Score, tout en prenant en compte 3 autres caractéristiques liées à l'alimentation durable (impact environnemental, coût et acceptabilité).

Matériel et méthodes : L'optimisation était effectuée sur une sélection de 19 plats dont les fiches techniques avaient été récoltées en 2015 et 2019. La composition nutritionnelle finale, le Nutri-Score, le prix et l'impact carbone (IC) des plats étaient déterminés à partir de ceux des ingrédients.

Dans un premier temps, l'application « MS-Food », proposée en ligne par l'entreprise MS-Nutrition, était utilisée pour déterminer les cibles nutritionnelles à atteindre pour passer à la classe Nutri-Score supérieure. Parmi les cibles proposées, les 10 plus proches de la composition nutritionnelle initiale étaient sélectionnées.

L'application « MS-Recipe » utilise la programmation linéaire pour corriger automatiquement une recette (ingrédients et quantités relatives) afin d'atteindre les contraintes choisies par l'utilisateur tout en minimisant ou maximisant une fonction objectif. Dans un second temps, pour chacune des 10 cibles, la recette du plat et la cible étaient saisies dans MS-Recipe. Des contraintes imposaient que l'ordre pondéral des ingrédients soit conservé. Deux fonctions objectif (MinMax et MinSum), représentant 2 façons différentes de rester au plus proches de la recette initiale étaient testées. Si MS-Recipe ne trouvait pas de solution ou si un ingrédient était supprimé, les contraintes sur les ingrédients étaient ajustées selon un arbre de décision préétabli.

Résultats et Analyse statistique : Pour chaque plat, 20 recettes optimisées (10 cibles * 2 fonctions objectif) étaient proposées au maximum.

Au total, 126 recettes optimisées étaient obtenues, correspondant à au moins une solution pour 17 plats. A titre illustratif, l'optimisation de la Quiche au brie de Meaux a conduit à 16 recettes optimisées dont le Nutri-Score était amélioré (de C à B). Cependant, ces améliorations conduisaient à une augmentation significative du prix et à des variations d'IC. Aucune recette améliorée ne présentait à la fois le plus faible coût, le plus faible impact carbone et le plus faible écart à la recette initiale. C'est à l'utilisateur de choisir, en fonction de ses priorités, une recette parmi les différentes solutions proposées.

Conclusion : Pour chaque plat, plusieurs recettes optimisées permettant d'améliorer le Nutri-Score ont été obtenues. L'aspect organoleptique n'a pas été pris en compte mais cette approche flexible permet de rajouter facilement de nouvelles contraintes pour affiner les solutions et contrôler la durabilité de la recette finale.

Annexe 4 : Poster P002 « Développement d'un outil d'optimisation du Nutri-Score et d'autres critères de la durabilité : application à des plats servis en restauration scolaire » présenté aux JFN Live 2020 du 25 au 27 novembre 2020



Développement d'un outil d'optimisation du Nutri-Score et d'autres critères de durabilité : application à des plats servis en restauration scolaire

Romane Poinot* ^{1, 2}, Florent Costagliola², Matthieu Maillot²,
Rozenn Gazan², Nicole Darmon¹, Florent Vieux²

¹INRAE, UMR MOISA, Montpellier,

²MS-Nutrition, Marseille, France

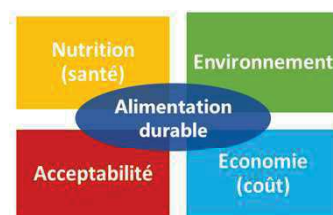
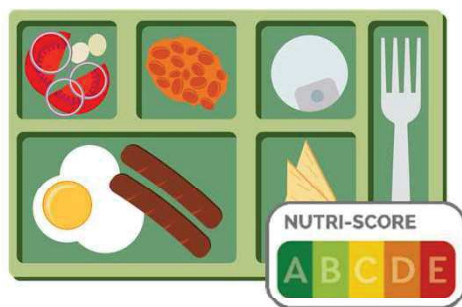
romane.poinot@ms-nutrition.com

florent.vieux@ms-nutrition.com

1



INTRODUCTION



L'objectif de l'étude était d'optimiser des plats proposés en restauration scolaire pour améliorer leur Nutri-Score, tout en prenant en compte 3 autres caractéristiques liées à l'alimentation durable (impact environnemental, coût et acceptabilité).

2



MATERIELS ET METHODES



Fiche technique
(récoltée en
2015 ou 2019)

Compo nut. pour 100 g
+ IC + prix



MS Food

Cibles nutritionnelles à atteindre pour passer
à la classe Nutri-Score supérieure (max 10)



MS Recipe

×19 plats



- Saisie de la recette (ingrédients et quantités relatives)
- Optimisation:
 - Respect des cibles nutritionnelles déterminées par MS-Food
 - Maintien de l'ordre pondéral des ingrédients
 - Proximité / à la recette initiale



10 Recettes optimisées max par plat

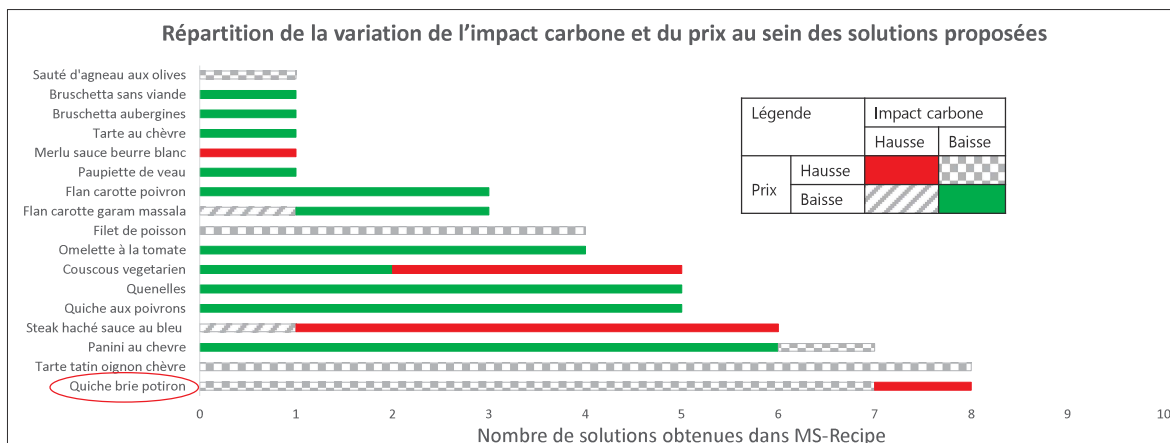


3



RESULTATS

- Sur les 19 plats étudiés, 17 avaient au moins une solution d'amélioration du Nutri-Score



- Toutes les solutions n'aboutissaient pas à une réduction du prix et/ou de l'impact carbone
- 8 solutions proposées pour la quiche brie potiron: aucune ne présentait une réduction de prix

4



RESULTATS

Quiche au brie et potiron



	Amande (g)	Cannelle (g)	Crème (g)	Brie (g)	Lait (g)	Œuf (g)	Pâte sablée (g)	Potiron (g)	Sel (g)	Sucre roux (g)	Prix (€)	IC (gCO2)
Originale	1,3	0,3	4,1	6,3	4,1	5,7	44,4	28,5	0,1	5,1	0,39	432,31
Solution la - chère	1,27	0,81	2,18	6,34	2,18	5,77	40,48	38,73	0,06	2,18	0,42	406,82

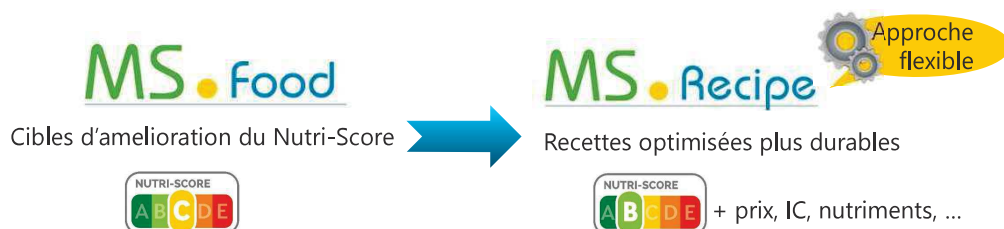
- La solution la moins chère s'obtenait par une réduction des teneurs en AGS, sucres et sodium et une augmentation de la teneur en fibres.
- Cette solution présentait une **diminution de l'impact carbone** et passait par une augmentation du potiron et des réductions de pâte sablée, crème, lait et sucre roux.

5



CONCLUSION

- Pour chaque plat, **plusieurs recettes optimisées permettant d'améliorer le Nutri-Score** ont été obtenues.
- Approche **flexible** = possibilité d'ajouter de nouvelles contraintes pour affiner les solutions et contrôler la durabilité



romane.poinsot@ms-nutrition.com
florent.vieux@ms-nutrition.com

6

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME. (2016a). *Approche du coût complet des pertes et gaspillage alimentaire en restauration collective*.
- ADEME. (2016b). *Pertes et gaspillages alimentaires : l'état des lieux et leur gestion par étapes de la chaîne alimentaire*. <http://files/164/2016-ADEME-pertes-gaspillages-alimentaires-etat-lieux.pdf>
- ADEME. (2018). *L'analyse du cycle de vie*. <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-l'action/dossier/lanalyse-cycle-vie/quest-lacv>
- ADEME. (2020). Le gaspillage alimentaire dans la restauration collective. *Faits et Chiffres*, 011317.
- ADEME. (2021). *Vers une alimentation plus durable en restauration collective*. <http://agriculture.gouv.fr/vers-une-alimentation-plus-durable>
- ADEME, A(R)GILE, Biens Communs, Framhein, Effet2Levier, & Maiom. (2021). *Freins et leviers pour une restauration scolaire plus durable, volet 1*. <https://librairie.ademe.fr/consommer-autrement/4556-freins-et-leviers-pour-une-restauration-collective-scolaire-plus-durable.html>
- ADEME, Asal, S., Doucet, M., & Martin, A. (2020). Etude de la variabilité des données Agribalyse 3.0. *Etude Réalisée Par Eco2 Initiative*, 51.
- ADEME, & Gouthière, L. (2018). *Bilan de l'opération : 100 écoles et collèges contre le gaspillage alimentaire (2018)*. <https://www.ademe.fr/bilan-l-operation-1000-ecoles-colleges-contre-gaspillage-alimentaire>
- ADEME, & INRAE. (2020). *L'évaluation environnementale des produits agricoles et alimentaires. Guide de l'utilisateur Agribalyse ®- Version 3.0. 3.0*. <https://doc.agribalyse.fr/documentation-en/agribalyse-data/data-access>
- AESAN Scientific Committee. (2020). Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) on the Impact of Consumption of Ultra-processed Foods on the Health of Consumers. *Revista Del Comité Científico de La AESAN*, 31, 49–76. <https://zenodo.org/record/2599968>
- Afssa. (2007). *Apport en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations*.
- Afssa. (2008). *Définition de profils nutritionnels pour l'accès aux allégations nutritionnelles et de santé: propositions et arguments*. <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT-Ra-Profils.pdf>
- AICR. (2012). *What is processed meat, anyway ?* <https://www.aicr.org/resources/blog/what-is-processed-meat-anyway/>
- Aleksandrowicz, L., Green, R., Joy, E. J. M., Smith, P., & Haines, A. (2016). The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: A systematic review. *PLoS ONE*, 11(11), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165797>
- Aliyar, R., Gelli, A., & Hamdani, S. H. (2015). A Review of Nutritional Guidelines and Menu Compositions for School Feeding Programs in 12 Countries. *Frontiers in Public Health*, 3(August), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2015.00148>
- Allès, B., Baudry, J., Méjean, C., Touvier, M., Péneau, S., Hercberg, S., & Kesse-Guyot, E. (2017). Comparison of Sociodemographic and Nutritional Characteristics between Self-Reported Vegetarians, Vegans, and Meat-Eaters from the NutriNet-Santé Study. *Nutrients*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/nu9091023>
- AMF. (2020). *Panorama de la restauration scolaire après la loi EGalim*. <https://www.amf.asso.fr/documents-panorama-la-restauration-scolaire-apres-la-loi-egalim/40445>

- Amorce, & ADEME. (2019). *Réduire le gaspillage alimentaire en restauration collective. Recommandations et bonnes pratiques pour ajuster les grammages des portions.*
- Animal Task Force. (2017). *Why is European animal production important today ? Facts and figures.*
- Anses. (2011). *Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras.*
- Anses. (2013). *Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux recommandations sur les bénéfices et les risques liés à la consommation de produits de la pêche dans le cadre de l'actualisation des repères d.* <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012sa0202.pdf>
- Anses. (2015). *Le guide nutrition des enfants et ados pour tous les parents.*
- Anses. (2016a). *Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles.* 280. <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-1.pdf>
- Anses. (2016b). *Actualisation des repères du PNNS : étude des relations entre consommation de groupes d'aliments et risque de maladies chroniques non transmissibles.*
- Anses. (2016c). *Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « l'actualisation des repères du PNNS : Révision des repères de consommations alimentaires ».*
- Anses. (2016d). *Table de composition nutritionnelle Ciqua pour le calcul des apports nutritionnels CALNUT.* <https://ciqua.anses.fr/>
- Anses. (2017). *Étude individuelle alimentaires des consommations nationale 3 (INCA 3).* 3(Inca 3).
- Anses. (2018). *Sucres dans l'alimentation.* <https://www.anses.fr/fr/content/sucres-dans-l'alimentation>
- Anses. (2019a). *AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'actualisation des repères alimentaires du PNNS pour les enfants de 4 à 17 ans (Issue 0).*
- Anses. (2019b). *Les protéines.* <https://www.anses.fr/fr/content/les-protéines>
- Anses. (2019c). *Note d'appui scientifique et technique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux recommandations nutritionnelles pour la mise en place d'une expérimentation en milieu scolaire de menus vég.* <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2019SA0205.pdf>
- Anses. (2020). *Table de composition des aliments Ciqua.* <https://ciqua.anses.fr/>
- Anses. (2021a). *Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à « Actualisation des références nutritionnelles françaises en vitamines et minéraux ».*
- Anses. (2021b). *Consommations alimentaires et apports nutritionnels dans la restauration hors foyer en France.* <https://www.anses.fr/fr/system/files/OQALI2018SA0291Ra.pdf>
- Anses. (2021c). *Les lipides.* <https://www.anses.fr/fr/content/les-lipides>
- Arnault, N., Caillot, L., Castetbon, K., Coronel, S., Deschamps, V., Fezeu, L., Figuet, M., Galan, P., Guénard-Charpentier, F., & Hercberg, S. (2013). *Table de Composition des aliments Nutrinet-Santé.* (Economica (ed.)).
- Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J. ., Jayet, P. ., Soussana, J. ., & Stengel, P. (2002). *Mitigation of*

- the greenhouse effect* Increasing carbon stocks in French agricultural soils? <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/f3c607ecec97b60d9e9d215d8976c2cf.pdf>
- Association Végétarienne de France, & Greenpeace. (2019). *Mon enfant a-t-il besoin de viande pour bien grandir ?*
- Balzaretto, C. M., Ventura, V., Ratti, S., Ferrazzi, G., Spallina, A., Carruba, M. O., & Castrica, M. (2018). Improving the overall sustainability of the school meal chain: the role of portion sizes. *Eating and Weight Disorders*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s40519-018-0524-z>
- Barbier, C., Couturier, C., Dumas, P., Kesse-Guyot, E., Martin, S., Pharabod, I., & Pierart, A. (2020). *Empreintes sol, énergie et carbone de l'alimentation. Partie 1 : empreintes de régimes laitiers selon les parts de protéines animales et végétales*. https://librairie.ademe.fr/produire-autrement/4396-empreintes-sol-energie-et-carbone-de-l-alimentation.html?search_query=Empreintes+sol%2C+energie+et+carbone+de+l%27alimentati on&results=2349
- Barbier, C., Couturier, C., Pourouchottamin, P. R., Cayla, J.-M. R., Silvestre, M., & Pharabod, I. (2019). *L'empreinte énergétique et carbone de l'alimentation en France - de la production à la consommation*. [https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Hors catalogue Iddri/Empreinte-Carbone_Alimentation_France_VF_0.pdf](https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Hors_catalogue Iddri/Empreinte-Carbone_Alimentation_France_VF_0.pdf)
- Bardon, E., & Feigner, D. (2021). *Évaluation de l'expérimentation du menu végétarien hebdomadaire en restauration collective scolaire*. <https://agriculture.gouv.fr/evaluation-de-lexperimentation-du-menu-vegetarien-hebdomadaire-en-restauration-collective-scolaire>
- Baroni, L., Cenci, L., Tettamanti, M., & Berati, M. (2007). Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(2), 279–286. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602522>
- Barré, 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. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191767>
- Batlle-Bayer, L., Bala, A., Aldaco, R., Vidal-Monés, B., Colomé, R., & Fullana-i-Palmer, P. (2021). An explorative assessment of environmental and nutritional benefits of introducing low-carbon meals to Barcelona schools. *Science of the Total Environment*, 756, 143879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143879>
- Baudry, J., Assmann, K. E., Touvier, M., Allès, B., Seconda, L., Latino-Martel, P., Ezzedine, K., Galan, P., Hercberg, S., Lairon, D., & Kesse-Guyot, E. (2018). Association of Frequency of Organic Food Consumption with Cancer Risk: Findings from the NutriNet-Santé Prospective Cohort Study. *JAMA Internal Medicine*, 178(12), 1597–1606. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2018.4357>
- Baudry, J., Debrauwer, L., Durand, G., Limon, G., Delcambre, A., Vidal, R., Taupier-Letage, B., Druesne-Pecollo, N., Galan, P., Hercberg, S., Lairon, D., Cravedi, J. P., & Kesse-Guyot, E. (2019). Urinary pesticide concentrations in French adults with low and high organic food consumption: results from the general population-based NutriNet-Santé. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 29(3), 366–378. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0062-9>
- Bechthold, A. (2014). Food energy density and body weight. A scientific statement from the DGE. *Ernaehrungs Umschau International*, 61(1), 2–11. <https://doi.org/10.4455/eu.2014.002>
- Bechthold, A., Boeing, H., Tetens, I., Schwingshackl, L., & Nöthlings, U. (2018). Perspective: Food-based

- dietary guidelines in Europe-scientific concepts, current status, and perspectives. *Advances in Nutrition*, 9(5), 544–560. <https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMY033>
- Behrens, P., Kieft-De Jong, J. C., Bosker, T., Rodrigues, J. F. D., De Koning, A., & Tukker, A. (2017). Evaluating the environmental impacts of dietary recommendations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(51), 13412–13417. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711889114>
- Benton, T. G., Vickery, J. A., & Wilson, J. D. (2003). Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 18, Issue 4, pp. 182–188). Elsevier Ltd. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)
- Benvenuti, L., & De Santis, A. (2020). Making a Sustainable Diet Acceptable: An Emerging Programming Model With Applications to Schools and Nursing Homes Menus. *Frontiers in Nutrition*, 7(November), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.562833>
- Benvenuti, L., De Santis, A., Santesarti, F., & Tocca, L. (2016). An optimal plan for food consumption with minimal environmental impact: The case of school lunch menus. *Journal of Cleaner Production*, 129, 704–713. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.051>
- Berners-Lee, M., Hoolohan, C., Cammack, H., & Hewitt, C. N. (2012). The relative greenhouse gas impacts of realistic dietary choices. *Energy Policy*, 43, 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.054>
- Bertin, M., Lafay, L., Calamassi-Tran, G., Volatier, J.-L., & Dubuisson, C. (2011). La restauration scolaire dans les établissements publics français du second degré : respect des recommandations nationales et profils d'établissements. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 59(1), 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.respe.2010.10.007>
- Bertin, M., Lafay, L., Calamassi-Tran, G., Volatier, J.-L., & Dubuisson, C. (2012). School meals in French secondary state schools: do national recommendations lead to healthier nutrition on offer? *British Journal of Nutrition*, 107(3), 416–427. <https://doi.org/10.1017/S000711451100300X>
- Bertrand, C., Lesturgeon, A., Amiot, M.-J., Dimier-Vallet, C., Dufeu, I., Habersetzer, T., Lairon, D., Majou, D., Mondejar, G., Taupier-Letage, B., Tchamitchian, M., & Vidal, R. (2018). Alimentation biologique : état des lieux et perspectives. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2018.02.004>
- Beslay, M., Srour, B., Méjean, C., Allès, B., Fiolet, T., Debras, C., Chazelas, E., Deschasaux, M., Wendue-Foyet, M. G., Hercberg, S., Galan, P., Monteiro, C. A., Deschamps, V., Calixto Andrade, G., Kesse-Guyot, E., Julia, C., & Touvier, M. (2020). Ultra-processed food intake in association with BMI change and risk of overweight and obesity: A prospective analysis of the French NutriNet-Santé cohort. *PLOS Medicine*, 17(8), e1003256. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003256>
- Biesbroek, S., Monique Verschuren, W. M., van der Schouw, Y. T., Sluijs, I., Boer, J. M. A., & Temme, E. H. M. (2018). Identification of data-driven Dutch dietary patterns that benefit the environment and are healthy. *Climatic Change*, 147(3–4), 571–583. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2153-y>
- Birch, L. L., McPhee, L., Steinberg, L., & Sullivan, S. (1990). Conditioned flavor preferences in young children. *Physiology and Behavior*, 47(3), 501–505. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(90\)90116-L](https://doi.org/10.1016/0031-9384(90)90116-L)
- Bocquier, A., Vieux, F., Lioret, S., Dubuisson, C., Caillavet, F., & Darmon, N. (2015). Socio-economic characteristics, living conditions and diet quality are associated with food insecurity in France. In *Public Health Nutrition* (Vol. 18, Issue 16, pp. 2952–2961). Cambridge University Press.

- <https://doi.org/10.1017/S1368980014002912>
- Boer, J. De, & Aiking, H. (2020). *Limiting vs . diversifying patterns of recommendations for key protein sources emerging : a study on national food guides worldwide from a health and sustainability perspective*. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2020-0126>
- Bordmann, M., & Huc, M. (2019). Plats protidiques végétariens : quelle qualité nutritionnelle dans l'assiette des convives de la restauration collective ? Analyse de la valeur nutritionnelle des produits proposés. *Information Diététique*, 2/2019, 32–40.
- Boutron-Ruault, M. C., Mesrine, S., & Pierre, F. (2017). Meat Consumption and Health Outcomes. In F. Mariotti (Ed.), *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention* (pp. 197–214). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803968-7.00012-5>
- Bouvard, V., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., Ghissassi, F. El, Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Mattock, H., Straif, K., Stewart, B. W., Smet, S. D., Corpet, D., Meurillon, M., Caderni, G., Rohrmann, S., Verger, P., Sasazuki, S., Wakabayashi, K., Weijenberg, M. P., ... Wu, K. (2015). Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. In *The Lancet Oncology* (Vol. 16, Issue 16, pp. 1599–1600). Lancet Publishing Group. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)00444-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00444-1)
- Braesco, V. (2021). Les aliments ultratransformés, un concept utile, mais mal utilisé. *Pratiques En Nutrition*, 17(66), 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.pranut.2021.03.004>
- Bray, G. A. (2003). Risks of obesity. In *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America* (Vol. 32, Issue 4, pp. 787–804). W.B. Saunders. [https://doi.org/10.1016/S0889-8529\(03\)00067-7](https://doi.org/10.1016/S0889-8529(03)00067-7)
- Burlingame, B. (2015). Plant/animal protein ratio. *Proceedings of an International Workshop Assessing Sustainable Diets within the Sustainability of Food Systems - Mediterranean Diet, Organic Food: New Challenges*, 95–96.
- Burlingame, B., & Dernini, S. (2012). Sustainable diets and biodiversity: directions and solutions for policy, research and action. *The International Scientific Symposium on Biodiversity and Sustainable Diets: United Against Hunger; 3-5 Nov 2010*.
- Caisse ces écoles du 9ème. (2014). *Historique*. <http://www.cde9.fr/presentation/historique/>
- Cameron, A. J., Spence, A. C., Laws, R., Hesketh, K. D., Lioret, S., & Campbell, K. J. (2015). A Review of the Relationship Between Socioeconomic Position and the Early-Life Predictors of Obesity. *Current Obesity Reports*, 4(3), 350–362. <https://doi.org/10.1007/s13679-015-0168-5>
- Camier, A., Chabanet, C., Davisse-Paturet, C., Ksiazek, E., Lioret, S., Charles, M.-A., Nicklaus, S., & de Lauzon-Guillain, B. (2020). Characterization of Infant Feeding Practices and Related-Family Characteristics in the French Nationwide ELFE Birth Cohort. *Nutrients*, 13(1), 33. <https://doi.org/10.3390/nu13010033>
- Camilleri, G. M., Verger, E. O., Huneau, J. F., Carpentier, F., Dubuisson, C., & Mariotti, F. (2013). Plant and animal protein intakes are differently associated with nutrient adequacy of the diet of French adults. *Journal of Nutrition*, 143(9), 1466–1473. <https://doi.org/10.3945/jn.113.177113>
- Cardon, P., Depecker, T., & Plessz, M. (2019). *Sociologie de l'alimentation*. Armand Colin.
- Carlsson-Kanyama, A. (1998). Climate change and dietary choices - how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? *Food Policy*, 23(3–4), 277–293. [https://doi.org/10.1016/S0306-9192\(98\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0306-9192(98)00037-2)
- Cartron, F., & Fichet, J.-L. (2020). *Rapport d'information au nom de la délégation sénatoriale à la prospective (1) sur « Vers une alimentation durable : Un enjeu sanitaire, social, territorial et environnemental majeur pour la France »* (Issue 476). <http://www.senat.fr/rap/r19-476/r19->

4761.pdf

- Casey, R., Chaix, B., Weber, C., Schweitzer, B., Charreire, H., Salze, P., Badariotti, D., Banos, A., Oppert, J. M., & Simon, C. (2012). Spatial accessibility to physical activity facilities and to food outlets and overweight in French youth. *International Journal of Obesity*, 36(7), 914–919. <https://doi.org/10.1038/ijo.2012.10>
- Castetbon, K., & Hercberg, S. (2007). *Étude nationale nutrition santé ENNS, 2006. Situation nutritionnelle en France en 2006 selon les indicateurs d'objectif et les repères du Programme national nutrition santé (PNNS)*. 77.
- Cerutti, A. K., Ardente, F., Contu, S., Donno, D., & Beccaro, G. L. (2017). Modelling, assessing, and ranking public procurement options for a climate-friendly catering service. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(1), 95–115. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1306-y>
- Cerutti, A. K., Contu, S., Ardente, F., Donno, D., & Beccaro, G. L. (2016). Carbon footprint in green public procurement: Policy evaluation from a case study in the food sector. *Food Policy*, 58, 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.12.001>
- Chaltiel, D., Adjibade, M., Deschamps, V., Touvier, M., Hercberg, S., Julia, C., & Kesse-Guyot, E. (2019). Programme national nutrition santé - Guidelines score 2 (pnns-gs2): Development and validation of a diet quality score reflecting the 2017 French dietary guidelines. *British Journal of Nutrition*, 122(3), 331–342. <https://doi.org/10.1017/S0007114519001181>
- Chaltiel, D., Julia, C., Chaltiel, R., Baudry, J., Touvier, M., Deschamps, V., Latino-Martel, P., Fezeu, L., Hercberg, S., & Kesse-Guyot, E. (2021). Prospective association between adherence to the 2017 French dietary guidelines and risk of death, CVD and cancer in the NutriNet-Santé cohort. *British Journal of Nutrition*, 1–11. <https://doi.org/10.1017/S0007114521001367>
- Chardon, O., Guignon, N., De Saint Pol, T., Guthmann, J.-P., Ragot, M., & Delmas, M.-C. (2015). La santé des élèves de grande section de maternelle en 2013: des inégalités sociales dès le plus jeune âge. *Etudes et Résultats*, 920, 6. <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/er920.pdf>
- Chaudhary, A., & Krishna, V. (2019). Country-specific sustainable diets using optimization algorithm. *Environmental Science and Technology*, 53(13), 7694–7703. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06923>
- Chen, C., Chaudhary, A., & Mathys, A. (2019). Dietary change scenarios and implications for environmental, nutrition, human health and economic dimensions of food sustainability. *Nutrients*, 11(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/nu11040856>
- CITEPA. (2020). *Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2018*. https://www.citepa.org/wp-content/uploads/Citepa_Rapport-Secten_ed2020_v1_09072020.pdf
- Clarys, P., Deliens, T., Huybrechts, I., Deriemaeker, P., Vanaelst, B., De Keyser, W., Hebbelinck, M., & Mullie, P. (2014). Comparison of Nutritional Quality of the Vegan, Vegetarian, Semi-Vegetarian, Pesco-Vegetarian and Omnivorous Diet. *Nutrients*, 6(3), 1318–1332. <https://doi.org/10.3390/nu6031318>
- CNA. (2004). *Avis sur la restauration scolaire révisant les avis antérieurs du CNA*. 1–29.
- CNA. (2017). *Les enjeux de la restauration collective en milieu scolaire*. http://files/188/2017_CNA_Avis77_enjeux-restau-collective-milieu-scolaire.pdf
- Cnesco. (2017). *Contribution sur la restauration scolaire : une disparité en termes d'accès et de service*. http://www.cnesco.fr/wp-content/uploads/2017/10/171002_Restauration_scolaire_VF.pdf

- CNRC. (2020). *Expérimentation du menu végétarien*. <https://agriculture.gouv.fr/restauration-scolaire-tout-savoir-sur-le-menu-vegetarien-hebdomadaire>
- Coelho, C. R. V., Pernollet, F., & Van Der Werf, H. M. G. (2016). Environmental life cycle assessment of diets with improved omega-3 fatty acid profiles. *PLoS ONE*, 11(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160397>
- Cohen, J. F. W., Hecht, A. A., Mcloughlin, G. M., Turner, L., & Schwartz, M. B. (2021). Universal School Meals and Associations with Student Participation, Attendance, Academic Performance, Diet Quality, Food Security , and Body Mass Index : A Systematic Review. *Nutrients*, 13(911), 1–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu13030911>
- Coleman, F. C., & Williams, S. L. (2002). Overexploiting marine ecosystem engineers: Potential consequences for biodiversity. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 17, Issue 1, pp. 40–44). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02330-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02330-8)
- Cook, J. D., & Monsen, E. R. (1977). Vitamin C, the common cold, and iron absorption. *American Journal of Clinical Nutrition*, 30(2), 235–241. <https://doi.org/10.1093/ajcn/30.2.235>
- Cooreman-Algoed, M., Huysveld, S., Lachat, C., & Dewulf, J. (2020). How to integrate nutritional recommendations and environmental policy targets at the meal level: A university canteen example. *Sustainable Production and Consumption*, 21, 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.10.004>
- Couch, S. C., Glanz, K., Zhou, C., Sallis, J. F., & Saelens, B. E. (2014). Home food environment in relation to children's diet quality and weight status. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(10), 1569-1579.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.05.015>
- Cour des comptes. (2020). *Les services communaux de la restauration collective : une maîtrise des coûts inégale , des attentes nouvelles*.
- Czernichow, S., & Martin, A. (2000). *Nutrition et Restauration scolaire, de la maternelle au lycée : Etat des lieux*. ANSES.
- Dagnelie, P. C., & Mariotti, F. (2017). Vegetarian Diets: Definitions and Pitfalls in Interpreting Literature on Health Effects of Vegetarianism. In *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention* (pp. 3–10). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803968-7.00001-0>
- Dantzig, G. B. (1990). The Diet Problem. *Interfaces*, 20(4), 43–47. <https://resources.mpi-inf.mpg.de/departments/d1/teaching/ws14/Ideen-der-Informatik/Dantzig-Diet.pdf>
- Darmon, N., & Drewnowski, A. (2008). Does social class predict diet quality? In *American Journal of Clinical Nutrition* (Vol. 87, Issue 5, pp. 1107–1117). American Society for Nutrition. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1107>
- 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. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv027>
- Darmon, N., Ferguson, E., & Briend, A. (2003). Do economic constraints encourage the selection of energy dense diets? *Appetite*, 41(3), 315–322. [https://doi.org/10.1016/S0195-6663\(03\)00113-2](https://doi.org/10.1016/S0195-6663(03)00113-2)
- Darmon, N., Ferguson, E. L., & Briend, A. (2002). A cost constraint alone has adverse effects on food selection and nutrient density: An analysis of human diets by linear programming. *Journal of Nutrition*, 132(12), 3764–3771. <https://doi.org/10.1093/jn/132.12.3764>
- Darmon, N., & Huc, M. L. (2021). Au-delà de la polémique sur les menus sans viande, les multiples enjeux de la restauration scolaire. *Cahiers de Nutrition et de Dietetique*, 56(2), 89–90.

- <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2021.03.001>
- Darmon, N., & Moy, F. (2008). Un outil à découvrir en nutrition humaine : la programmation linéaire. *Cahiers de Nutrition et Diététique*, 43(6), 303–312. [http://files/30/2008 Publi programmation linéaire.pdf](http://files/30/2008_Publi_programmation_lineaire.pdf)
- Darmon, N., Vieux, F., Maillot, M., Volatier, J.-L., & Martin, A. (2009). Nutrient profiles discriminate between foods according to their contribution to nutritionally adequate diets: a validation study using linear programming and the SAIN,LIM system. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(4), 1227–1236. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26465>
- Darmon, N., Vieux, F., Poinot, R., Cocchiello, L., De Alexandris, C., Dubois, C., Galissant, C., Huc, M.-L., Lacombe, B., Le Gonidec, D., Lignon, L., Méjean, C., Monnery-Patris, S., Nicklaus, S., Perignon, M., Rhodain, A., & Sebbane, M. (2020). Composition nutritionnelle des plats complets végétariens et non-végétariens proposés en restauration scolaire : une étude du collectif EnScol Collectif. *Working-Paper MOISA*, 3.
- Dauchet, L., & Jung, Y. J. (2019). Association entre régimes végétariens et pathologies chroniques : une approche épidémiologique. *Cahiers de Nutrition et de Dietetique*. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2019.07.004>
- de Gavelle, E., Huneau, J. F., Bianchi, C. M., Verger, E. O., & Mariotti, F. (2017). Protein adequacy is primarily a matter of protein quantity, not quality: Modeling an increase in plant: Animal protein ratio in French adults. *Nutrients*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/nu9121333>
- de Gavelle, E., Leroy, P., Perrimon, M., Huneau, J. F., Sirot, V., Orset, C., Fouillet, H., Soler, L. G., & Mariotti, F. (2020). Modeled gradual changes in protein intake to increase nutrient adequacy lead to greater sustainability when systematically targeting an increase in the share of plant protein. *Climatic Change*, 161(1), 129–149. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02592-6>
- De Keyser, W., Van Caneghem, S., Heath, A. L. M., Vanaelst, B., Verschraegen, M., De Henauw, S., & Huybrechts, I. (2012). Nutritional quality and acceptability of a weekly vegetarian lunch in primary-school canteens in Ghent, Belgium: “Thursday Veggie Day.” *Public Health Nutrition*, 15(12), 2326–2330. <https://doi.org/10.1017/S1368980012000870>
- De Laurentiis, V., Hunt, D. V. L., Lee, S. E., & Rogers, C. D. F. (2019). EATS: a life cycle-based decision support tool for local authorities and school caterers. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(7), 1222–1238. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1460-x>
- De Laurentiis, V., Hunt, D. V. L., & Rogers, C. D. F. (2017). Contribution of school meals to climate change and water use in England. *Energy Procedia*, 123, 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.241>
- de Lauzon-Guillain, B., Jones, L., Oliveira, A., Moschonis, G., Betoko, A., Lopes, C., Moreira, P., Manios, Y., Papadopoulos, N. G., Emmett, P., & Charles, M. A. (2013). The influence of early feeding practices on fruit and vegetable intake among preschool children in 4 European birth cohorts. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 98(3), 804–812. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.057026>
- Délégation interministérielle à la prévention et à la lutte contre la pauvreté. (2021a). *Cantines à 1€.* *Tarifification sociale des cantines. Présentation de la mesure.* https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/tarifification_sociale_cantines.pdf
- Délégation interministérielle à la prévention et à la lutte contre la pauvreté. (2021b). *La cantine à 1€.* *Dossier de presse.*
- Demas, A., Kindermann, D., & Pimentel, D. (2010). School meals: A nutritional and environmental

- perspective. *Perspectives in Biology and Medicine*, 53(2), 249–256. <https://doi.org/10.1353/pbm.0.0160>
- Derqui, B., & Fernandez, V. (2017). The opportunity of tracking food waste in school canteens: Guidelines for self-assessment. *Waste Management*, 69, 431–444. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.030>
- Derqui, B., Fernandez, V., & Fayos, T. (2018). Towards more sustainable food systems. Addressing food waste at school canteen. *Appetite*. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.06.022>
- Dimbleby, H., & Vincent, J. (2013). The School Food Plan. *School Food Plan*, July, 149. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/251020/The_School_Food_Plan.pdf
- Dinu, M., Abbate, R., Gensini, G. F., Casini, A., & Sofi, F. (2017). Vegetarian, vegan diets and multiple health outcomes: A systematic review with meta-analysis of observational studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(17), 3640–3649. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1138447>
- Diplomeo. (2020). *Sondage 2020 : les jeunes, de plus en plus veggies ?* https://diplomeo.com/actualite-sondage_vegetariens_jeunes
- Direction générale de l'alimentation, & Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt. (2012). *QUESTIONS/RÉPONSES destinées aux élus d'ordre général sur les règles nutritionnelles en restauration scolaire*.
- Dourmad, J.-Y., van der Werf, H. M. G., Mairesse, G., Schmitt, B., Chesneau, G., Kerhoas, N., & Mourot, J. (2019). Evaluation multidimensionnelle et outil d'exploration de voies d'amélioration de la durabilité de menus. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 54, 223–229.
- Drewnowski, A., Dwyer, J., King, J. C., & Weaver, C. M. (2019). A proposed nutrient density score that includes food groups and nutrients to better align with dietary guidance. In *Nutrition Reviews* (Vol. 77, Issue 6, pp. 404–416). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz002>
- Driessen, C. E., Cameron, A. J., Thornton, L. E., Lai, S. K., & Barnett, L. M. (2014). Effect of changes to the school food environment on eating behaviours and/or body weight in children: A systematic review. *Obesity Reviews*, 15(12), 968–982. <https://doi.org/10.1111/obr.12224>
- Dubois, C., Tharrey, M., & Darmon, N. (2017). Identifying foods with good nutritional quality and price for the Opticourses intervention research project. *Public Health Nutrition*, 20(17), 3051–3059. <https://doi.org/10.1017/S1368980017002282>
- Dubuisson, C. (2013). *Restauration scolaire et alimentation des enfants et des adolescents en France : état des lieux et efficacité de la réglementation*. AgroParisTech.
- Dubuisson, C., Dufour, A., & Lafay, L. (2007). *Évaluation de la connaissance et de l'application de la circulaire du 25 juin 2001 en restauration scolaire relative à la composition des repas servis et à la sécurité des aliments dans les établissements publics du second degrés (2005-2006)*.
- Dubuisson, C., Lioret, S., Calamassi-Tran, G., Volatier, J.-L., & Lafay, L. (2009). School meals in French secondary state schools with regard to the national recommendations. *British Journal of Nutrition*, 102(02), 293. <https://doi.org/10.1017/S0007114508149212>
- Dubuisson, C., Lioret, S., Dufour, A., Calamassi-Tran, G., Volatier, J.-L., Lafay, L., & Turck, D. (2015). The relationship between school lunch attendance and the food intakes of French schoolchildren aged 3–17 years. *Public Health Nutrition*, 18(9), 1647–1657. <https://doi.org/10.1017/S1368980014002900>

- Dubuisson, C., Lioret, S., Dufour, A., Volatier, J.-L., Lafay, L., & Turck, D. (2012). Associations between usual school lunch attendance and eating habits and sedentary behaviour in French children and adolescents. *European Journal of Clinical Nutrition*, 66(12), 1335–1341. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2012.137>
- Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., & Thomas, M. (2020). Agroécologie en élevage : quelles opportunités face au défi climatique ? In S. Chriki, M.-P. Ellies-Oury, & J.-F. Hocquette (Eds.), *L'élevage pour l'agroécologie et une alimentation durable* (pp. 157–175). Editions France Agricole.
- Dunham, L., & Kollar, L. M. (2006). Vegetarian eating for children and adolescents. *Journal of Pediatric Health Care*, 20(1), 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.pedhc.2005.08.012>
- Dupin, H., & François, A. (1981). *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*. Technique et Documentation.
- Dutch National Institute for Public Health and the Environment. (2017). ReCiPe 2016 v1.1. In *RIVM Report 2016-0104*. https://pre-sustainability.com/legacy/download/Report_ReCiPe_2017.pdf
- Eco-Score. (2021). *Documentation sur la notation environnementale "Eco-score."* <https://docs.score-environnemental.com/>
- Education nationale. (2001). *Circulaire no 2001-118 du 25 juin 2001*.
- EFSA. (2010a). Scientific Opinion on establishing Food-Based Dietary Guidelines. *EFSA Journal*, 8(3). <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2010.1460>
- EFSA. (2010b). Scientific Opinion on principles for deriving and applying Dietary Reference Values. *EFSA Journal*, 8(3), 1–30. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1458>
- EFSA. (2013). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for energy. *EFSA Journal*, 11(1), 1–112. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3005>
- EFSA. (2015). Scientific opinion on Dietary References Values for calcium. *EFSA Journal*, 13(5). <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2015.4101>
- EFSA. (2017). Dietary Reference Values for nutrients. Summary report. *EFSA Supporting Publications*, 14(12). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
- EIB. (2016). Short-Lived Climate Pollutants (SLCPs). *Unep, November*, 14–54. www.ccacoalition.org/en/science-resources
- Elior Group. (2020). *Innovation culinaire. Elior déploie le Nutri-Score dans les cantines scolaires, une première en restauration collective*. (Ministère des Solidarités et de la Santé, 2021).
- Elior Group. (2021). *Tester l'affichage environnemental en restaurant d'entreprise pour guider les convives vers une alimentation respectueuse de l'environnement*. <https://foodforgood.eliorgroup.com/fr/planete/impact-carbone/tester-laffichage-environnemental-en-restaurant-dentreprise-pour-guider-les>
- EMApp. (2019). *EMApp.fr*. <https://emapp.fr/>
- Energie Plus. (2007). *Cuisiner ou assembler ?* <https://energieplus-lesite.be/techniques/cuisine-collective6/concepts-de-production/cuisiner-ou-assembler/>
- Epstein, L. H., Gordy, C. C., Raynor, H. A., Beddome, M., Kilanowski, C. K., & Paluch, R. (2001). Increasing fruit and vegetable intake and decreasing fat and sugar intake in families at risk for Childhood Obesity. *Obesity Research*, 9(3), 171–178. <https://doi.org/10.1038/oby.2001.18>
- Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen). (2017). *Etude de santé sur*

- l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (ESTEBAN 2014-2016). volet Nutrition. Chapitre Corpulence.*
- Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen). (2018). *Etude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (ESTEBAN 2014-2016). Volet Nutrition. Chapitre Consommations alimentaires.*
- Equipe de surveillance et d'épidémiologie nutritionnelle (Esen). (2020). *Etude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (ESTEBAN 2014-2016). volet Nutrition. Chapitre activité physique et sédentarité. 2ème édition.* <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/documents/rapport-synthese/etude-de-sante-sur-l-environnement-la-biosurveillance-l-activite-physique-et-la-nutrition-esteban-2014-2016.-volet-nutrition.-chapitre-activ>
- Etilé, F., & Plessz, M. (2018). Women's employment and the decline of home cooking: Evidence from France, 1985–2010. *Review of Economics of the Household*, 16(4), 939–970. <https://doi.org/10.1007/s11150-018-9423-3>
- European Commission. (2018). *Agricultural and farm income.*
- Eustachio Colombo, P., Patterson, E., Lindroos, A. K., Parlesak, A., & Schäfer Elinder, L. (2020a). Sustainable and acceptable school meals through optimization analysis : an intervention study. *Nutrition Journal*, 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12937-020-00579-z>
- Eustachio Colombo, P., Patterson, E., Schäfer Elinder, L., & Lindroos, A. K. (2020b). The importance of school lunches to the overall dietary intake of children in Sweden : a nationally representative study. *Public Health Nutrition*, 17. <https://doi.org/10.1017/S1368980020000099>
- Eustachio Colombo, P., Patterson, E., Schäfer Elinder, L., Lindroos, A. K., Sonesson, U., Darmon, N., & Parlesak, A. (2019). Optimizing School Food Supply: Integrating Environmental, Health, Economic, and Cultural Dimensions of Diet Sustainability with Linear Programming. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/ijerph16173019>
- Evans, C. E. L., Mandl, V., Christian, M. S., & Cade, J. E. (2016). Impact of school lunch type on nutritional quality of English children's diets. *Public Health Nutrition*, 19(1), 36–45. <https://doi.org/10.1017/S1368980015000853>
- Fairchild, R., & Collins, A. (2011). Serving up Healthy and Sustainable School Meals? An Analysis of School Meal Provision in Cardiff (UK). *Journal of Environmental Policy and Planning*, 13(3), 209–229. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2011.578402>
- Fantin, R., Delpierre, C., Dimeglio, C., Lamy, S., Barboza Solís, C., Charles, M. A., & Kelly-Irving, M. (2016). Disentangling the respective roles of the early environment and parental BMI on BMI change across childhood: A counterfactual analysis using the Millennium Cohort Study. *Preventive Medicine*, 89, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.05.028>
- FAO. (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agricultures (SOLAW). Managing systems at risk.* (FAO & Earthscan (eds.)). <http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e.pdf>
- FAO. (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. In *FAO food and nutrition paper* (Issue 92). <http://www.fao.org/3/i3124e/i3124e.pdf>
- FAO. (2015). *World aquaculture 2015: a brief overview.* <http://www.fao.org/3/i7546e/i7546e.pdf>
- FAO. (2018). *The future of food and agriculture- Alternative pathways to 2050. Summary version.* <http://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf>

- FAO. (2020). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*. <http://www.fao.org/3/ca9231fr/CA9231FR.pdf>
- FAO. (2021). *Food-based dietary guidelines*. <http://www.fao.org/nutrition/education/food-dietary-guidelines/en/>
- FAO, FIDA, OMS, PAM, & UNICEF. (2020). *L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde. Transformer les systèmes alimentaires pour une alimentation saine et abordable* (FAO (ed.)). <https://doi.org/https://doi.org/10.4060/ca9692fr>
- FAO, & INRAE. (2020). *Systèmes alimentaires durables - Un manuel pour s'y retrouver*. <https://doi.org/10.4060/ca9917fr>
- FAO, & OMS. (2019). *Sustainable healthy diets : guiding principles*.
- Fauchet, A., Lançon, L., Alonso, J., Buttet, G., Durand, C., Goldberg, C., Innocenti, C., Joffet, I., Judenne, P., Orenge, T., Oudda, L., & Santini, C. (2021). *Les cantines scolaires au service de systèmes alimentaires territoriaux durables*. <https://letsfoodcities.com/wp-content/uploads/2021/01/Publication-resto-co-LF-2.pdf>
- FCPE Paris. (2016). *Cuisines sur place, liaison froide ou liaison chaude : que quoi parle-t-on ? - fcpe Paris*. <https://www.fcpe75.org/cuisines-sur-place-liaison-froide-ou-liaison-chaude-que-quoi-parle-t-on/>
- Ferguson, E. L., Darmon, N., Briend, A., & Premachandra, I. M. (2004). Food-Based Dietary Guidelines Can Be Developed and Tested Using Linear Programming Analysis. *Journal of Nutrition*, 134(4), 951–957. <https://doi.org/10.1093/jn/134.4.951>
- Fiolet, T., Srour, B., Sellem, L., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., Deschasaux, M., Fassier, P., Latino-Martel, P., Beslay, M., Hercberg, S., Lavalette, C., Monteiro, C. A., Julia, C., & Touvier, M. (2018). Consumption of ultra-processed foods and cancer risk: Results from NutriNet-Santé prospective cohort. *BMJ (Online)*, 360, 322. <https://doi.org/10.1136/bmj.k322>
- Fischer, C. G., & Garnett, T. (2016). *Plates , pyramids , planet*.
- Fischler, C. (1988). Food, self and identity. *Social Science Information*, 27(2), 275–292. <https://doi.org/10.1177/053901888027002005>
- Flament, C. (2017). *Méthode de quantification des émissions de gaz à effet de serre des menus de la restauration collective Rennaise & mise en place d'une évaluation des progrès réalisés, dans le cadre du Plan Alimentaire Durable Rennais*. AgroCampus Ouest.
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., ... Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Fonds Français pour l'Alimentation et la Santé. (2019). *Etat des lieux - Les protéines dans l'alimentation : vers un équilibre animal-végétal*.
- Forrestal, S., Potamites, E., Guthrie, J., & Paxton, N. (2021). Associations among food security, school meal participation, and students' diet quality in the first school nutrition and meal cost study. *Nutrients*, 13(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nu13020307>
- FranceAgriMer. (2019). Combien de végétariens en Europe ? - Synthèse des résultats à partir de l'étude « Panorama de la consommation végétarienne en Europe », réalisée par le CREDOC pour FranceAgriMer et l'OCHA en 2018. *LES ETUDES de FranceAgriMer*, 36.

- Fulkerson, J. A., Larson, N., Horning, M., & Neumark-Sztainer, D. (2014). A review of associations between family or shared meal frequency and dietary and weight status outcomes across the lifespan. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 46(1), 2–19. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2013.07.012>
- Gallup. (2018). *Snapshot: Few Americans Vegetarian or Vegan*. https://news.gallup.com/poll/238328/snapshot-few-americans-vegetarian-vegan.aspx?g_source=link_NEWSV9&g_medium=NEWSFEED&g_campaign=item_&g_content=Snapshot%3A%2520Few%2520Americans%2520Vegetarian%2520or%2520Vegan
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.10.010>
- Gazan, R., Brouzes, C. M. C., 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. <https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMY049>
- Gearan, E. C., Monzella, K., Jennings, L., & Fox, M. K. (2020). Differences in Diet Quality between School Lunch by Income and Race. *Nutrients*, 12(3891).
- GEMRCN. (2007). *Recommandation relative à la nutrition du 4 mai 2007*. 1–28. http://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/marches_publics/oeap/recensement/chiffres-recensement-2013.pdf
- GEMRCN. (2015). *Recommandation nutrition. Version 2.0 - Juillet 2015*. <https://www.economie.gouv.fr/daj/recommandation-nutrition>
- Gerber, P., Steingfeld, H., Henderson, H., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). *Tackling climate through livestock. A global assessments of emissions and mitigations opportunities*.
- Gibson, R. S. (2007). The role of diet- and host-related factors in nutrient bioavailability and thus in nutrient-based dietary requirement estimates. *Food and Nutrition Bulletin*, 28(1 SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1177/15648265070281s108>
- Gibson, R. S., Heath, A.-L. M., & Szymlek-Gay, E. A. (2014). Is iron and zinc nutrition a concern for vegetarian infants and young children in industrialized countries? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100(suppl_1), 459S–468S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.071241>
- GIEC. (2019). *Réchauffement planétaire de 1,5 °C*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_french.pdf
- Gómez-Donoso, C., Sánchez-Villegas, A., Martínez-González, M. A., Gea, A., Mendonça, R. de D., Lahortiga-Ramos, F., & Bes-Rastrollo, M. (2020). Ultra-processed food consumption and the incidence of depression in a Mediterranean cohort: the SUN Project. *European Journal of Nutrition*, 59(3), 1093–1103. <https://doi.org/10.1007/s00394-019-01970-1>
- González-García, S., González-García, R., González Vázquez, L., Moreira, M. T., & Leis, R. (2020). Tracking the environmental footprints of institutional restaurant service in nursery schools. *Science of the Total Environment*, 728. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138939>
- Gorczyca, D. (2017). Nutritional status of vegetarian children. In F. Mariotti (Ed.), *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*. Elsevier.
- GPED/DA. (1999). *Recommandation du Groupe Permanent d'Etude des Marchés de Denrées Alimentaires (GPEDMA) relative à la nutrition*. Brochure JO de La Direction Des Affaires Juridiques

- Du Ministère de l'Economie, Des Finances et de l'industrie,.
<https://www.education.gouv.fr/bo/2001/special9/annexe.htm>
- GRCN. (2019). *Recommandations nutritionnelles -Complément de la fiche plat protidique de 2015- Diversification des sources de protéines en restauration collective (Hors structures petite enfance et établissements pour personnes âgées).*
- Greenpeace. (2020a). *Les cantines à la loupe.*
- Greenpeace. (2020b). *Menus végétariens dans les cantines... Quels impacts pour la planète ?*
- Guéguen, L. (2021). *Devrions-nous manger bio ?* Fondation pour l'innovation politique.
- Guignon, N., Delmas, M.-C., Fonteneau, L., & Perrine, A.-L. (2017). La santé des élèves de CM2 en 2015 : un bilan contrasté selon l'origine sociale. *Etudes et Résultats, 0993*, 1–6.
- Guimard, P., Bacro, F., Ferriere, S., Florin, A., & Gaudonville, T. (2016). *BE-Scol2 : Evaluation du bien-être perçu des élèves : étude longitudinale à l' école élémentaire et au collège. Recherche complémentaire.* <http://cren.univ-nantes.fr/wp-content/uploads/2017/06/Rapport-Be-Scol2-20161.pdf>
- Hache-Bissette, F., & Saillard, D. (2007). *Gastronomie et identité culturelle française. Discours et représentations XIX-XXIème siècles.* Nouveau Monde éditions.
- Hall, K. D., Ayuketah, A., Brychta, R., Cai, H., Cassimatis, T., Chen, K. Y., Chung, S. T., Costa, E., Courville, A., Darcey, V., Fletcher, L. A., Forde, C. G., Gharib, A. M., Guo, J., Howard, R., Joseph, P. V., McGehee, S., Ouwerkerk, R., Raisinger, K., ... Zhou, M. (2019). Ultra-Processed Diets Cause Excess Calorie Intake and Weight Gain: An Inpatient Randomized Controlled Trial of Ad Libitum Food Intake. *Cell Metabolism, 30*(1), 67-77.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2019.05.008>
- Hallström, E., Carlsson-Kanyama, A., & Börjesson, P. (2015). Environmental impact of dietary change: A systematic review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 91, pp. 1–11). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.008>
- Harper, C., Wood, L., & Mitchell, C. (2008). *The provision of school food in 18 countries. July*, 1–46. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.654.9233&rep=rep1&type=pdf>
- Haute Autorite de Sante. (2011). Surpoids et obésité de l'enfant et de l'adolescent. *Inpes*, 34.
- HCSP. (2017). *Avis relatif à la révision des repères alimentaires pour les adultes du futur Programme national nutrition santé 2017-2021.* 7. <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=600>
- HCSP. (2020). *Avis relatif à la révision des repères alimentaires pour les enfants âgés de 0-36 mois et de 3-17 ans.* <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=924>
- Hedin, B., Claesson, P., & Odqvist, P. (2018). Visualizing carbon footprint from school meals. *5th IFIP Conference on Sustainable Internet and ICT for Sustainability, SustainIT 2017*, 1–3. <https://doi.org/10.23919/SustainIT.2017.8379805>
- Heller, M. C., Keoleian, G. A., & Willett, W. C. (2013). Toward a life cycle-based, diet-level framework for food environmental impact and nutritional quality assessment: A critical review. *Environmental Science and Technology, 47*(22), 12632–12647. <https://doi.org/10.1021/es4025113>
- Henry, C. (2005). Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public Health Nutrition, 8*(7a), 1133–1152. <https://doi.org/10.1079/phn2005801>
- Herforth, A., Arimond, M., Álvarez-Sánchez, C., Coates, J., Christianson, K., & Muehlhoff, E. (2019). A

- Global Review of Food-Based Dietary Guidelines. *Advances in Nutrition*, 10(4), 590–605. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy130>
- Herrmann, W. (2017). Vitamin B12 Deficiency in Vegetarians. In F. Mariotti (Ed.), *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*. Elsevier.
- Hill, J. O., Wyatt, H. R., & Peters, J. C. (2012). Energy balance and obesity. *Circulation*, 126(1), 126–132. <https://doi.org/doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.111.087213>.
- Hirschman, J., & Chriqui, J. F. (2013). School food and nutrition policy, monitoring and evaluation in the USA. *Public Health Nutrition*, 16(6), 982–988. <https://doi.org/10.1017/S1368980012004144>
- Hirvonen, K., Bai, Y., Headey, D., & Masters, W. A. (2020). Affordability of the EAT–Lancet reference diet: a global analysis. *The Lancet Global Health*, 8(1), e59–e66. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30447-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30447-4)
- HLPE. (2014). HLPE Report on Food losses and waste in the context of sustainable food systems Extract from the Report: Summary and Recommendations. *High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition, May*, 1–9. <http://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/en/>
- Hoolohan, C., Berners-Lee, M., McKinstry-West, J., & Hewitt, C. N. (2013). Mitigating the greenhouse gas emissions embodied in food through realistic consumer choices. *Energy Policy*, 63, 1065–1074. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.046>
- Horta, P. M., Carmo, A. S. do, Junior, E. V., & Santos, L. C. dos. (2019). Consuming school meals improves Brazilian children’s diets according to their social vulnerability risk. *Public Health Nutrition*, 9, 1–6. <https://doi.org/10.1017/S1368980019001459>
- Huc, M. (2006). Dossier : La restauration scolaire : évolution et contraintes réglementaires - Institut Danone. *Objectif Nutrition. La Lettre de l’Institut Danone*. <https://institutdanone.org/objectif-nutrition/la-restauration-scolaire-evolution-et-contraintes-reglementaires/dossier-la-restauration-scolaire-evolution-et-contraintes-reglementaires/>
- Hughes, S. O., & Frazier-Wood, A. C. (2016). Satiety and the Self-Regulation of Food Take in Children: a Potential Role for Gene-Environment Interplay. In *Current obesity reports* (Vol. 5, Issue 1, pp. 81–87). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13679-016-0194-y>
- INCa. (2019). *Alimentation*. <https://www.e-cancer.fr/Comprendre-prevenir-depister/Reduire-les-risques-de-cancer/Alimentation>
- Insee. (2020). *Les données de caisses dans le calcul de l’indice des prix à la consommation*. <https://www.insee.fr/fr/information/4318285>
- Insee. (2021). *Prix moyens de vente de détail*. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/series/103157792>
- Inserm. (2014). Inégalités sociales de santé en lien avec l’alimentation et l’activité physique. *Collection Expertise Collective*, 747.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. <https://doi.org/10.1111/padr.12283>
- ISO. (2016). *ISO 14004:2016 Systèmes de management environnemental — Lignes directrices générales pour la mise en application*. <https://www.iso.org/fr/standard/60856.html>
- Jackson, P., & Viehoff, V. (2016). Reframing convenience food. *Appetite*, 98, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.11.032>
- Jia, J., Moore, L. L., Cabral, H., Hanchate, A., & Larochelle, M. R. (2020). Changes to dietary and health

- outcomes following implementation of the 2012 updated US Department of Agriculture school nutrition standards : analysis using National Health and Nutrition Examination Survey , 2005 – 2016. *Public Health Nutrition*, 1–9. <https://doi.org/10.1017/S1368980020001986>
- Jones, L., Moschonis, G., Oliveira, A., De Lauzon-Guillain, B., Manios, Y., Xepapadaki, P., Lopes, C., Moreira, P., Charles, M. A., & Emmett, P. (2015). The influence of early feeding practices on healthy diet variety score among pre-school children in four European birth cohorts. *Public Health Nutrition*, 18(10), 1774–1784. <https://doi.org/10.1017/S1368980014002390>
- Julia, C., & Hercberg, S. (2017). Development of a new front-of-pack nutrition label in France: the five-colour Nutri-Score. *Public Health Panorama*, 03(04), 712–725.
- Kanellopoulos, A., Gerdessen, J. C., Ivancic, A., Geleijnse, J. M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Van't Veer, P. (2020). Designing healthier and acceptable diets using data envelopment analysis. *Public Health Nutrition*, 1–13. <https://doi.org/10.1017/S1368980019004774>
- Kantar. (2021). *Kantar Worldpanel*. <https://www.kantarworldpanel.com/global/Sectors/FMCG>
- Kaufer Christoffel, K., Wang, X., & Binns, H. J. (2012). Early origins of child obesity: Bridging disciplines and phases of development - September 30-October 1, 2010. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(4), 1227–1262. <https://doi.org/10.3390/ijerph9041227>
- Kesse-Guyot, E., Ahluwalia, N., Lassale, C., Hercberg, S., Fezeu, L., & Lairon, D. (2013). Adherence to Mediterranean diet reduces the risk of metabolic syndrome: A 6-year prospective study. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 23(7), 677–683. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2012.02.005>
- Kesse-Guyot, E., Chaltiel, D., Wang, J., Pointereau, P., Langevin, B., Allès, B., Rebouillat, P., Lairon, D., Vidal, R., Mariotti, F., Egnell, M., Touvier, M., Julia, C., Baudry, J., & Hercberg, S. (2020). Sustainability analysis of French dietary guidelines using multiple criteria. *Nature Sustainability*, 3(5), 377–385. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0495-8>
- Kesse-Guyot, E., Fouillet, H., Baudry, J., Dussot, A., Langevin, B., Allès, B., Rebouillat, P., Brunin, J., Touvier, M., Hercberg, S., Lairon, D., Mariotti, F., & Pointereau, P. (2021). Halving food-related greenhouse gas emissions can be achieved by redistributing meat consumption: progressive optimization Results of the NutriNet-Santé cohort. *Science of The Total Environment*, 789, 147901. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147901>
- Kolbe, K. (2020). Mitigating climate change through diet choice: Costs and CO2 emissions of different cookery book-based dietary options in Germany. *Advances in Climate Change Research*. <https://doi.org/10.1016/j.accres.2020.11.003>
- Kovacs, V. A., Messing, S., Sandu, P., Nardone, P., Pizzi, E., Hassapidou, M., Brukalo, K., Tecklenburg, E., & Abu-Omar, K. (2020). Improving the food environment in kindergartens and schools: An overview of policies and policy opportunities in Europe. *Food Policy*, February, 101848. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101848>
- Kramer, G., Durlinger, B., Blonk, H., & Broekema, R. (2017a). *Eating for 2 degrees - new and updated Livewell Plates*. https://www.wwf.org.uk/sites/default/files/2017-09/WWF_Livewell_Plates_Summary_Report_Sept2017_Web.pdf
- Kramer, G., Tyszler, M., Veer, P. V. T., & Blonk, H. (2017b). Decreasing the overall environmental impact of the Dutch diet: How to find healthy and sustainable diets with limited changes. *Public Health Nutrition*, 20(9), 1699–1709. <https://doi.org/10.1017/S1368980017000349>
- Krebs-Smith, S. M., Pannucci, T. R. E., Subar, A. F., Kirkpatrick, S. I., Lerman, J. L., Tooze, J. A., Wilson,

- M. M., & Reedy, J. (2018). Update of the Healthy Eating Index: HEI-2015. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(9), 1591–1602. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.05.021>
- Labonté, M. E., Poon, T., Gladanac, B., Ahmed, M., Franco-Arellano, B., Rayner, M., & L'Abbé, M. R. (2018). Nutrient profile models with applications in government-led nutrition policies aimed at health promotion and noncommunicable disease prevention: A systematic review. *Advances in Nutrition*, 9(6), 741–788. <https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMY045>
- Lacour, C., Seconda, L., Allès, B., Hercberg, S., Langevin, B., Pointereau, P., Lairon, D., Baudry, J., & Kesse-Guyot, E. (2018). Environmental Impacts of Plant-Based Diets: How Does Organic Food Consumption Contribute to Environmental Sustainability? *Frontiers in Nutrition*, 5. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00008>
- Lafay, L., Volatier, J.-L., & Martin, A. (2002). La restauration scolaire dans l'enquête INCA : 2e partie : les repas servis en restauration scolaire : apports nutritionnels, alimentaires et impact sur la nutrition des enfants. *Cahiers de Nutrition et de Dietetique*, 37(6).
- Larsson, C. L., & Johansson, G. K. (2002). Dietary intake and nutritional status of young vegans and omnivores in Sweden. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 100–106. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.100>
- Le Maout, O. (2019). *Comparative Study of Primary School Meals in England and France* (Issue May).
- Le Petit Robert. (2021). *Viande - Définitions, synonymes, conjugaison, exemples*. <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/viande>
- Leip, A., Achermann, B., Billen, G., Bleeker, A., Bouwman, A., Vries, W. de, Dragosits, U., Doring, U., Fernall, D., Geupel, M., Herolstab, jurg, Johnes, P., Gall, A. C. Le, Monni, S., Neveceral, R., Orlandini, L., Prud'homme, M., Reuter, H., Simpson, D., ... Winiwarter, W. (2011). *Integrating nitrogen fluxes at the European scale* (pp. 345–376). Cambridge University Press. <https://research-information.bris.ac.uk/en/publications/integrating-nitrogen-fluxes-at-the-european-scale>
- Leip, A., Billen, G., Garnier, J., Grizzetti, B., Lassaletta, L., Reis, S., Simpson, D., Sutton, M. A., De Vries, W., Weiss, F., & Westhoek, H. (2015). Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 10(11), 115004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/11/115004>
- Leip, A., Weiss, F., Wassenaar, T., Perez, I., Fellmann, T., Loudjani, P., Tubiello, F., Grandgirard, D., Monni, S., & Biala, K. (2010). *Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS)*. https://agritrop.cirad.fr/558780/1/document_558780.pdf
- Lemale, J., Mas, E., Jung, C., Bellaiche, M., & Tounian, P. (2019). Vegan diet in children and adolescents. Recommendations from the French-speaking Pediatric Hepatology, Gastroenterology and Nutrition Group (GFHGNP). *Archives de Pédiatrie*, 26(7), 442–450. <https://doi.org/10.1016/J.ARCPED.2019.09.001>
- Let's Move. (2010). *Child Nutrition Reauthorization Healthy, Hunger-Free Kids Act of 2010*. https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/Child_Nutrition_Fact_Sheet_12_10_10.pdf
- Lioret, S., Campbell, K. J., McNaughton, S. A., Cameron, A. J., Salmon, J., Abbott, G., & Hesketh, K. D. (2020). Lifestyle patterns begin in early childhood, persist and are socioeconomically patterned, confirming the importance of early life interventions. *Nutrients*, 12(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/nu12030724>

- Lioret, S., Touvier, M., Dubuisson, C., Dufour, A., Calamassi-Tran, G., Lafay, L., Volatier, J.-L., & Maire, B. (2009). Trends in child overweight rates and energy intake in France from 1999 to 2007: Relationships with socioeconomic status. *Obesity*, 17(5), 1092–1100. <https://doi.org/10.1038/oby.2008.619>
- Livingstone, M. B. E., & Pourshahidi, L. K. (2014). Portion size and obesity. *Advances in Nutrition*, 5(6), 829–834. <https://doi.org/10.3945/an.114.007104>
- Livsmedelsverket. (2015). *The swedish dietary guidelines*. <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/publikationsdatabas/andra-sprak/kostraden/kostrad-eng.pdf>
- Liz Martins, M., Rodrigues, S. S. P., Cunha, L. M., & Rocha, A. (2020). School lunch nutritional adequacy: What is served, consumed and wasted. *Public Health Nutrition*, 8, 1–9. <https://doi.org/10.1017/S1368980020004607>
- Lombardini, C., & Lankoski, L. (2013). Forced Choice Restriction in Promoting Sustainable Food Consumption: Intended and Unintended Effects of the Mandatory Vegetarian Day in Helsinki Schools. *Journal of Consumer Policy*, 36(2), 159–178. <https://doi.org/10.1007/s10603-013-9221-5>
- Lupoli, R., Vitale, M., Calabrese, I., Giosuè, A., Riccardi, G., & Vaccaro, O. (2021). White Meat Consumption, All-Cause Mortality, and Cardiovascular Events: A Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Nutrients*, 13(676), 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nu13020676>
- MacLeod, M. J., Hasan, M. R., Robb, D. H. F., & Mamun-Ur-Rashid, M. (2020). Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific Reports*, 10(1), 11679. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>
- Madden, J. P., & Yoder, M. (1972). *Program evaluation : food stamps and commodity distribution in rural areas of central Pennsylvania*. Bulletin (Pennsylvania State University. Agricultural Experiment Station).
- Magkos, F., Tetens, I., Bügel, S. G., Felby, C., Schacht, S. R., Hill, J. O., Ravussin, E., & Astrup, A. (2019). A Perspective on the Transition to Plant-Based Diets: a Diet Change May Attenuate Climate Change, but Can It Also Attenuate Obesity and Chronic Disease Risk? *Advances in Nutrition*. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz090>
- Maillot, M., & Darmon, N. (2020). Modeling the impact of compliance with the new French food-based dietary guidelines on nutrient intakes of adults. *Cahiers de Nutrition et de Dietetique*, 55(1), 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2019.10.003>
- Maillot, M., Darmon, N., Drewnowski, A., Arnault, N., & Hercberg, S. (2006). Le coût et la qualité nutritionnelle des groupes d'aliments: Quelle hiérarchie? *Cahiers de Nutrition et de Dietetique*, 41(2), 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0007-9960\(06\)70612-5](https://doi.org/10.1016/S0007-9960(06)70612-5)
- Maillot, M., Darmon, N., Vieux, F., & Drewnowski, A. (2007). Low energy density and high nutritional quality are each associated with higher diet costs in French adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 86(3), 690–696. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17823434>
- 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. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28426>
- Maillot, M., Vieux, F., Delaere, F., Lluch, A., & Darmon, N. (2017). Dietary changes needed to reach nutritional adequacy without increasing diet cost according to income: An analysis among French adults. *PLoS ONE*, 12(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174679>

- Mansfield, J. L., & Savaiano, D. A. (2017). Effect of school wellness policies and the Healthy, Hunger-Free Kids Act on food-consumption behaviors of students, 2006-2016: A systematic review. *Nutrition Reviews*, 75(7), 533–552. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux020>
- Mariotti, F. (2017). Plant Protein, Animal Protein, and Protein Quality. In *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention* (pp. 621–642). Elsevier.
- Mariotti, F., & Gardner, C. D. (2019). Dietary protein and amino acids in vegetarian diets—A review. *Nutrients*, 11(11), 1–19. <https://doi.org/10.3390/nu11112661>
- 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*. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa176>
- Martin, A. (2001). *Apports nutritionnels conseillés pour la population française* (Lavoisier).
- Martínez-González, M. A., Fernández-Jarne, E., Serrano-Martínez, M., Martí, A., Martínez, J. A., & Martín-Moreno, J. M. (2002). Mediterranean diet and reduction in the risk of a first acute myocardial infarction: An operational healthy dietary score. *European Journal of Nutrition*, 41(4), 153–160. <https://doi.org/10.1007/s00394-002-0370-6>
- Martínez-González, M. A., Sánchez-Tainta, A., Corella, D., Salas-Salvadó, J., Ros, E., Arós, F., Gómez-Gracia, E., Fiol, M., Lamuela-Raventós, R. M., Schröder, H., Lapetra, J., Serra-Majem, L., Pinto, X., & Ruiz-Gutierrez, V. (2014). A provegetarian food pattern and reduction in total mortality in the Prevención con Dieta Mediterránea (PREDIMED) study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100(suppl_1), 320S–328S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.071431>
- Martinez, S., Delgado, M. del M., Marin, R. M., & Alvarez, S. (2020). Carbon footprint of school lunch menus adhering to the Spanish dietary guidelines. *Carbon Management*, 11(4), 427–439. <https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1796169>
- Marty, L., Miguët, M., Bournez, M., Nicklaus, S., Chambaron, S., & Monnery-Patris, S. (2017). Do hedonic- versus nutrition-based attitudes toward food predict food choices? A cross-sectional study of 6- to 11-year-olds. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0618-4>
- Marty, L., Nicklaus, S., Miguët, M., Chambaron, S., & Monnery-Patris, S. (2018). When do healthiness and liking drive children’s food choices? The influence of social context and weight status. *Appetite*, 125, 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.03.003>
- Mâsse, L. C., de Niet-Fitzgerald, J. E., Watts, A. W., Naylor, P. J., & Saewyc, E. M. (2014). Associations between the school food environment, student consumption and body mass index of Canadian adolescents. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11(1), 29. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-11-29>
- Masset, G., Soler, L.-G., Vieux, F., & Darmon, N. (2014a). 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. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.02.002>
- Masset, G., Vieux, F., & Darmon, N. (2015). Which functional unit to identify sustainable foods? *Public Health Nutrition*, 18(13), 2488–2497. <https://doi.org/10.1017/S1368980015000579>
- Masset, G., Vieux, F., Verger, E. O., Soler, L.-G., Touazi, D., & Darmon, N. (2014b). 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.

- <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.077958>
- Mazac, R., Renwick, K., Seed, B., Black, J. L., & Ahmed, S. (2021). An Approach for Integrating and Analyzing Sustainability in Food-Based Dietary Guidelines. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5(April), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.544072>
- Mc Kinsey Global Institute. (2020). *Prioritizing health: A prescription for prosperity*. <https://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/prioritizing-health-a-prescription-for-prosperity#>
- McColl, K., & Tim Lobstein. (2015). Nutrient Profiling : Changing the food of Britain. In *London: Coronary Prevention Group and World Obesity Federation*.
- MEAD Mouans-Sartoux. (n.d.). *Manger bio*. Accessed August 4, 2021, available at <https://mead-mouans-sartoux.fr/manger-bio/>
- Meier, T., & Christen, O. (2013). Environmental impacts of dietary recommendations and dietary styles: Germany as an example. *Environmental Science and Technology*, 47(2), 877–888. <https://doi.org/10.1021/es302152v>
- Melina, V., Craig, W., & Levin, S. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Vegetarian Diets. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(12), 1970–1980. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.09.025>
- Mendonça, R. de D., Pimenta, A. M., Gea, A., De La Fuente-Arrillaga, C., Martinez-Gonzalez, M. A., Lopes, A. C. S., & Bes-Rastrollo, M. (2016). Ultraprocessed food consumption and risk of overweight and obesity: The University of Navarra Follow-Up (SUN) cohort study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 104(5), 1433–1440. <https://doi.org/10.3945/ajcn.116.135004>
- Mennella, J. A. (2014). Ontogeny of taste preferences: Basic biology and implications for health1-5. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99(3), 704–711. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.067694>
- Menu-Co. (2021). *Menu-Co - Restauration collective*. <http://www.menu-co.com/>
- Menu 2foisBON. (2018). *Des acteurs de la restauration collective mènent une action commune exemplaire pour le développement durable*.
- Midi Libre. (2021). “Cité de l’alimentation” : la future cuisine centrale de Montpellier verra le jour en 2026. <https://www.midilibre.fr/2021/07/28/cite-de-lalimentation-la-future-cuisine-centrale-du-fait-maison-9697973.php>
- Ministère de l’agriculture de l’alimentation de la pêche de la ruralité et de l’aménagement du territoire. (2011a). *Arrêté du 30 septembre 2011 relatif à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire*. Journal Officiel De La République Française. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2011/9/30/AGRG1032380A/jo/texte>
- Ministère de l’agriculture de l’alimentation de la pêche de la ruralité et de l’aménagement du territoire. (2011b). Décret n° 2011-1227 du 30 septembre 2011 relatif à la qualité nutritionnelle des repas servis dans le cadre de la restauration scolaire. In *Journal officiel De La République Française*. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/decret/2011/9/30/AGRG1032342D/jo/texte>
- Ministère de l’Agriculture et de l’Alimentation. (2016). *Localim : la boîte à outils des acheteurs publics de restauration collective*. <https://agriculture.gouv.fr/localim-la-boite-outils-des-acheteurs-publics-de-restauration-collective>
- Ministère de l’Agriculture et de l’Alimentation. (2017). *Agriculture biologique : quelle réglementation ?* <https://agriculture.gouv.fr/lagriculture-biologique-1>

- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. (2018). « *Plaisir à la cantine* », un programme pour les collégiens. <https://agriculture.gouv.fr/plaisir-la-cantine-un-programme-pour-les-collegiens>
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. (2019a). Décret n° 2019-351 du 23 avril 2019 relatif à la composition des repas servis dans les restaurants collectifs en application de l'article L. 230-5-1 du code rural et de la pêche maritime. *Journal Officiel de La République Française*, 23–24. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000038403867>
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. (2019b). *Programme national pour l'alimentation 2019-2023*. <https://agriculture.gouv.fr/programme-national-pour-lalimentation-2019-2023-territoires-en-action>
- Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. (2021). *Fruits & légumes à l'école / Lait & produits laitiers à l'école*.
- Ministère de l'éducation Nationale. (2004). *Collation matinale à l'école*. 33(0), 1–5. https://cache.media.eduscol.education.fr/file/Action_sanitaire_et_sociale/36/4/note-collation-25-03-04_116364.pdf
- Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports. (2020). *La restauration scolaire*. <https://www.education.gouv.fr/la-restauration-scolaire-6254>
- Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports. (2021a). *Des petits déjeuners dans les écoles pour favoriser l'égalité des chances*. <https://www.education.gouv.fr/des-petits-dejeuners-dans-les-ecoles-pour-favoriser-l-egalite-des-chances-1061>
- Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports. (2021b). *L'accueil des élèves à besoins spécifiques : la mise en place d'un projet d'accueil individualisé*. <https://www.education.gouv.fr/l-accueil-des-eleves-besoins-specifiques-la-mise-en-place-d-un-projet-d-accueil-individualise-6695>
- Ministère de l'Education Nationale de la Jeunesse et des Sports. (2021c). *Vademecum. Éducation à l'alimentation et au goût*.
- Ministère de l'Emploi et de la Solidarité. (2001). *Programme National Nutrition-Santé PNNS 2001-2005*. <https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/1n1.pdf>
- Ministère de la Santé et des Solidarités. (2006). *Deuxième Programme National Nutrition-Santé (PNNS) 2006-2010*. 51.
- Ministère de la santé publique et de la sécurité sociale. (1971). Circulaire du 9 juin 1971 relative à la nutrition de l'écolier. *Journal Officiel de La République Française*, 223. [https://www.legifrance.gouv.fr/download/securePrint?token=\\$c0tY5qiHbisHW3qWcn2](https://www.legifrance.gouv.fr/download/securePrint?token=$c0tY5qiHbisHW3qWcn2)
- Ministère de la Transition Ecologique. (2018). *Changement climatique : causes, effets et enjeux*. <https://www.ecologie.gouv.fr/changement-climatique-causes-effets-et-enjeux>
- Ministère de la Transition Écologique. (2021). *Gaspillage alimentaire*. <https://www.ecologie.gouv.fr/gaspillage-alimentaire-0>
- Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, & ADEME. (2020). *Protocole d'encadrement de l'expérimentation "affichage environnemental" dans le secteur alimentaire*. https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/protocole_experimentation_affichage.pdf
- Ministère des solidarités et de la santé. (2017). Arrêté du 31 octobre 2017 fixant la forme de présentation complémentaire à la déclaration nutritionnelle recommandée par l'Etat en application des articles L. 3232-8 et R. 3232-7 du code de la santé publique. *Journal Officiel de La*

- République Française, 1–5.
https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=pyLXld4S8MbrQnkdzFdY_Cw5UJagoAhIWSi4tIYHSno=
- Ministère des Solidarités et de la Santé. (2019). *Programme national nutrition santé 2019-2023*.
<https://doi.org/10.1007/s10269-006-0403-5>
- Ministère des Solidarités et de la Santé. (2021). *Bilan à mi-parcours du programme national nutrition santé 2019-2023*. https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnns_4_bilan_5mai2021.pdf
- Monasta, L., Batty, G. D., Cattaneo, A., Lutje, V., Ronfani, L., Van Lenthe, F. J., & Brug, J. (2010). Early-life determinants of overweight and obesity: A review of systematic reviews. In *Obesity Reviews* (Vol. 11, Issue 10, pp. 695–708). Obes Rev. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2010.00735.x>
- Monsivais, P., Scarborough, P., Lloyd, T., Mizdrak, A., Luben, R., Mulligan, A. A., Wareham, N. J., & Woodcock, J. (2015). Greater accordance with the Dietary Approaches to Stop Hypertension dietary pattern is associated with lower diet-related greenhouse gas production but higher dietary costs in the United Kingdom. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 102(1), 138–145. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.090639>
- Monteiro, C. A., Cannon, G., Levy, R., Moubarac, J.-C., Jaime, P., Martins, A. P., Canella, D., Louzada, M., & Parra, D. (2016). NOVA. The Star Shines Bright (Food Classification. Public Health). *World Nutrition*, 7(1–3), 28–38. <https://worldnutritionjournal.org/index.php/wn/article/view/5>
- Mota, J. D. O., Guillou, S., Pierre, F., & Membré, J. M. (2021). Public health risk-benefit assessment of red meat in France: Current consumption and alternative scenarios. *Food and Chemical Toxicology*, 149, 111994. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111994>
- Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., & Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. In *Global Food Security* (Vol. 14, pp. 1–8). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>
- Musher-Eizenman, D. R., de Lauzon-Guillain, B., Holub, S. C., Leporc, E., & Charles, M. A. (2009). Child and parent characteristics related to parental feeding practices. A cross-cultural examination in the US and France. *Appetite*, 52(1), 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.08.007>
- National Research Council. (1941). *Recommended Dietary Allowances*.
- Nations Unies. (1992a). *Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*. https://unfccc.int/files/cooperation_and_support/cooperation_with_international_organizations/application/pdf/convfr.pdf
- Nations Unies. (1992b). *Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement*. <https://www.un.org/french/events/rio92/aconf15126vol1f.htm>
- Nations Unies. (1997). *Protocole de Kyoto à la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/french/cop3/kpfrench.pdf>
- Nations Unies. (2002). *La conférence des nations unies sur l'environnement et le développement*. <https://www.un.org/french/events/wssd/pages/cnued.html>
- Nations Unies. (2005). *Action 21. Table des matières*. <https://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/french/action0.htm>
- Nations Unies. (2015a). *Accord de Paris. 21ème Conférence Des Parties*, 1–18. https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf

- Nations Unies. (2015b). *Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030*. 1–38.
- Nekitsing, C., Blundell-Birtill, P., Cockcroft, J. E., & Hetherington, M. M. (2018). Systematic review and meta-analysis of strategies to increase vegetable consumption in preschool children aged 2–5 years. *Appetite*, 127, 138–154. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.04.019>
- Nicklaus, S., Boggio, V., Chabanet, C., & Issanchou, S. (2004). A prospective study of food preferences in childhood. *Food Quality and Preference*, 15(7-8 SPEC.ISS.), 805–818. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2004.02.010>
- Nicklaus, S., Boggio, V., Chabanet, C., & Issanchou, S. (2005). A prospective study of food variety seeking in childhood, adolescence and early adult life. *Appetite*, 44(3), 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2005.01.006>
- Nicklaus, S., & Issanchou, S. (2015). Périodes et facteurs sensibles pour la formation précoce des préférences alimentaires. M.L. Frelut (Ed.), *Le Livre Électronique (EBook) de l'ECOG Sur l'obésité Des Enfants et Des Adolescents*.
- Nicklaus, S., & Remy, E. (2013). *Early Origins of Overeating : Tracking Between Early Food Habits and Later Eating Patterns*. 179–184. <https://doi.org/10.1007/s13679-013-0055-x>
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S. J., Saouter, E., & Sonesson, U. (2017). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*, 140, 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.071>
- Nourrisson, D. (2002). *A votre santé !: éducation et santé sous la IVe République*. Université de Saint-Etienne.
- Nourrisson, D. (2004). Manger à l'école: une histoire moral. *Food & History*, 2(1), 227–240.
- ObEpi. (2012). *Enquête épidémiologique nationale sur le surpoids et l'obésité*. http://www.roche.fr/content/dam/corporate/roche_fr/doc/obepi_2012.pdf
- Olds, T., Maher, C., Zumin, S., Péneau, S., Lioret, S., Castetbon, K., Bellisle, De Wilde, J., Hohepa, M., Maddison, R., Lissner, L., Sjöberg, A., Zimmermann, M., Aeberli, I., Ogden, C., Flegal, K., & Summerbell, C. (2011). Evidence that the prevalence of childhood overweight is plateauing: Data from nine countries. In *International Journal of Pediatric Obesity* (Vol. 6, Issues 5–6, pp. 342–360). Int J Pediatr Obes. <https://doi.org/10.3109/17477166.2011.605895>
- OMS. (2014). *Limiting portion sizes to reduce the risk of childhood overweight and obesity*. WHO; World Health Organization.
- OMS. (2015). *What do you consider as red meat*. <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/cancer-carcinogenicity-of-the-consumption-of-red-meat-and-processed-meat>
- OMS. (2020). *Obésité et surpoids*. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- OMS, & FAO. (1998). Preparation and use of food-based dietary guidelines. In *WHO technical reports series* (Vol. 880).
- Oostindjer, M., Aschemann-Witzel, J., Wang, Q., Skuland, S. E., Egeland, B., Amdam, G. V., Schjøll, A., Pachucki, M. C., Rozin, P., Stein, J., Lengard Almli, V., & Van Kleef, E. (2017). Are school meals a viable and sustainable tool to improve the healthiness and sustainability of children's diet and food consumption? A cross-national comparative perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(18), 3942–3958. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1197180>

- Our World in Data. (2017). *Daily protein sources from plant-based and animal products, World, 1961 to 2013*. https://ourworldindata.org/grapher/daily-protein-plant-and-animal-products?country=~OWID_WRL
- PAM. (2020). *La situation de l'alimentation scolaire dans le monde en 2020*. <https://reliefweb.int/report/world/la-situation-de-l-alimentation-scolaire-dans-le-monde-en-2020>
- Parayre, S. (2017). L'école primaire après la Libration. *Après-Demain*, 42.
- Parker, H. W., & Vadiveloo, M. K. (2019). Diet quality of vegetarian diets compared with nonvegetarian diets: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 77(3), 144–160. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy067>
- Paumier, R. (1967). *Un homme se penche sur une assiette* (M. Brézol (ed.)).
- Payne, C. L. R., 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. <https://doi.org/10.1017/S1368980016000495>
- Pearson, N., Biddle, S. J. H., & Gorely, T. (2009). Family correlates of fruit and vegetable consumption in children and adolescents: A systematic review. In *Public Health Nutrition* (Vol. 12, Issue 2, pp. 267–283). Public Health Nutr. <https://doi.org/10.1017/S1368980008002589>
- Peretti, N., Darmaun, D., Chouraqui, J.-P., Bocquet, A., Briend, A., Feillet, F., M.L. Frelut, Guimber, D., Hankard, R., Lapillonne, A., Rozé, J. ., Simeoni, U., Turck, D., & Dupont, C. (2020). Vegetarian diet in children and adolescents: a health benefit? *Archives de Pédiatrie*, 27(4), 173–175. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2020.03.010>
- Perignon, M., Barré, T., Gazan, R., Amiot, M. J., & Darmon, N. (2018). The bioavailability of iron, zinc, protein and vitamin A is highly variable in French individual diets: Impact on nutrient inadequacy assessment and relation with the animal-to-plant ratio of diets. *Food Chemistry*, 238, 73–81. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.070>
- Perignon, M., & Darmon, N. (2021). Advantages and limitations of the methodological approaches used to study dietary shifts towards improved nutrition and sustainability. *Nutrition Reviews*, en révision.
- Perignon, M., Masset, G., Ferrari, G., Barré, T., Vieux, F., Maillot, M., Amiot, M.-J., & 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. <https://doi.org/10.1017/S1368980016000653>
- 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. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw043>
- Peter Koch, & Thibault Salou. (2014). *Agribalyse®: Rapport Methodologique V 1.1*. 386. http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=39BAD313FA5D4CAB73C4FBB83DDC0392_tomcatlocal1394623955789.pdf
- Petersen, K. S., Flock, M. R., Richter, C. K., Mukherjea, R., Slavin, J. L., & Kris-Etherton, P. M. (2017). Healthy Dietary Patterns for Preventing Cardiometabolic Disease: The Role of Plant-Based Foods and Animal Products. *Current Developments in Nutrition*, 1(12), cdn.117.001289. <https://doi.org/10.3945/cdn.117.001289>

- Peyraud, J. L. (2020a). Faire évoluer l'élevage pour une agriculture agroécologique ? In S. Chriki, M.-P. Ellies-Oury, & J.-F. Hocquette (Eds.), *L'élevage pour l'agroécologie et une alimentation durable* (pp. 139–155). Editions France Agricole.
- Peyraud, J. L. (2020b). L'élevage détruit-il la planète ? In S. Chriki, M.-P. Ellies-Oury, & J.-F. Hocquette (Eds.), *L'élevage pour l'agroécologie et une alimentation durable*. Editions France Agricole.
- Physicians Committee for Responsible Medicine. (2019). *U.S. Doctors Blast Belgian Misinformation on Vegan Diets*. <https://www.pcrm.org/news/news-releases/us-doctors-blast-belgian-misinformation-vegan-diets>
- Poinsot, R. (2017). *Développement d'un outil informatique de reformulation pour évaluer et améliorer la qualité nutritionnelle de recettes*. AgroSup Dijon.
- Polish Eurydice Unit. (2016). *School meals in Europe*. <https://doi.org/10.2165/00128413-199208410-00059>
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Pope, C. A., Thun, M. J., Namboodiri, M. M., Dockery, D. W., Evans, J. S., Speizer, F. E., & Heath, C. W. (1995). Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 151(3_pt_1), 669–674. https://doi.org/10.1164/ajrccm/151.3_pt_1.669
- Rabès, A., Seconda, L., Langevin, B., Allès, B., Touvier, M., Hercberg, S., Lairon, D., Baudry, J., Pointereau, P., & Kesse-Guyot, E. (2020). Greenhouse gas emissions, energy demand and land use associated with omnivorous, pesco-vegetarian, vegetarian, and vegan diets accounting for farming practices. *Sustainable Production and Consumption*, 22, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.02.010>
- Ramos-Pérez, J. M., Miranda, G., Segredo, E., León, C., & Rodríguez-León, C. (2021). Application of multi-objective evolutionary algorithms for planning healthy and balanced school lunches. *Mathematics*, 9(1), 1–24. <https://doi.org/10.3390/math9010080>
- Raworth, K. (2012). A Safe and Just Space for Humanity. Can we live within the doughnut? In *Oxfam Discussion Papers*. <https://www.oxfam.org/en/research/safe-and-just-space-humanity>
- Rayner, M., Scarborough, P., & Tim Lobstein. (2009). The UK Ofcom Nutrient Profiling Model. *UK Ofcom*, 1–11. <https://www.ndph.ox.ac.uk>
- République Française. (2004). *Loi n° 2004-806 du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique*. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000787078/>
- République Française. (2017). *LOI no 2017-86 du 27 janvier 2017 relative à l'égalité et à la citoyenneté*. *Journal Officiel de La République Française*. https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=0yxRDEjbo8W8kePWEROji4iX_erjxoTD_Jy3AVXRFk=
- République Française. (2018). *Loi n° 2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous*. *Journal Officiel de La République Française*, 1–23. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2018/10/30/AGRX1736303L/jo/texte>
- République Française. (2020). *LOI n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire*. *Journal Officiel de La République Française*. <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=tlvIngK1->

pPYKGFzbZJvgnBOLa5rYk6ys5dm_FwTPZs=

- République Française. (2021). Loi no 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets (1). *Journal Officiel de La République Française*. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924>
- Réseau des Nouvelles des Marchés. (2021). *Le prix des produits alimentaires et des fleurs*. <https://rnm.franceagrimer.fr/>
- Restau'Co, & Fondation Nicolase Hulot pour la Nature et l'Homme. (2019). *Mon Restau Responsable*. <https://www.monrestauresponsable.org/>
- Ribal, J., Fenollosa, M. L., García-Segovia, P., Clemente, G., Escobar, N., & Sanjuán, N. (2016). Designing healthy, climate friendly and affordable school lunches. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(5), 631–645. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0905-8>
- Rico-Campà, A., Martínez-González, M. A., Alvarez-Alvarez, I., De Deus Mendonça, R., De La Fuente-Arrillaga, C., Gómez-Donoso, C., & Bes-Rastrollo, M. (2019). Association between consumption of ultra-processed foods and all cause mortality: SUN prospective cohort study. *The BMJ*, 365. <https://doi.org/10.1136/bmj.l1949>
- Ridoutt, B. G., Hendrie, G. A., & Noakes, M. (2017). Dietary Strategies to Reduce Environmental Impact: A Critical Review of the Evidence Base. *Advances in Nutrition*, 8(6), 933–946. <https://doi.org/10.3945/an.117.016691>
- Rizzo, N. S., Jaceldo-Siegl, K., Sabate, J., & Fraser, G. E. (2013). Nutrient profiles of vegetarian and nonvegetarian dietary patterns. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 113(12), 1610–1619. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.06.349>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. In *Nature* (Vol. 461, Issue 7263, pp. 472–475). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Rolland-Cachera, M. F., Akrou, M., & Péneau, S. (2016). Nutrient intakes in early life and risk of obesity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph13060564>
- Rolland-Cachera, M. F., Deheeger, M., Akrou, M., & Bellisle, F. (1995). Influence of macronutrients on adiposity development: A follow up study of nutrition and growth from 10 months to 8 years of age. *International Journal of Obesity*, 19(8), 573–578. <https://europepmc.org/article/med/7489029>
- Rolland-Cachera, M. F., Deheeger, M., Bellisle, F., Sempé, M., Guillaud-Bataille, M., & Patois, E. (1984). Adiposity rebound in children: a simple indicator for predicting obesity. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 39(1), 129–135. <https://doi.org/10.1093/ajcn/39.1.129>
- Rolland-Cachera, M. F., Deheeger, M., Maillot, M., & Bellisle, F. (2006). Early adiposity rebound: Causes and consequences for obesity in children and adults. *International Journal of Obesity*, 30, S11–S17. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803514>
- Rolland-Cachera, M. F., Maillot, M., Deheeger, M., Souberbielle, J. C., Péneau, S., & Hercberg, S. (2013). Association of nutrition in early life with body fat and serum leptin at adult age. *International Journal of Obesity*, 37(8), 1116–1122. <https://doi.org/10.1038/ijo.2012.185>
- Rolland-Cachera, M. F., Sempé, M., Guillaud-Bataille, M., Patois, E., Péquignot-Guggenbuhl, F., &

- Fautrad, V. (1982). Adiposity indices in children. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 36(1), 178–184. <https://doi.org/10.1093/ajcn/36.1.178>
- Rose, D., Heller, M. C., & Roberto, C. A. (2019). Position of the Society for Nutrition Education and Behavior: The Importance of Including Environmental Sustainability in Dietary Guidance. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 51(1), 3-15.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2018.07.006>
- Rossi, L., Ferrari, M., Martone, D., & Benvenuti, L. (2021). *The Promotions of Sustainable Lunch Meals in School Feeding Programs : The Case of Italy*.
- Roudelle, O. (2019). *Les impacts d'un projet de restauration scolaire « durable »* [Université Toulouse Jean Jaurès]. <https://www.urbalfood.org/resources/#reports>
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>
- Royal Academy of Medicine of Belgium. (2019). *Clarification on the vegetarian diet for children, pregnant and breastfeeding women*. http://www.armb.be/index.php?elD=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&hash=3784cc718af628ab5de26a36de409a5ab3281506&file=fileadmin/sites/armb/upload/armb_super_editor/armb_editor/pdf/Avis/2019/Mise_au_point__version_anglaise_.pdf
- Sala, S., Cerutti, A. K., & Pant, R. (2018). Development of a weighting approach for the Environmental Footprint. In *Publications Office of the European Union*. <https://doi.org/10.2760/446145>
- Salomé, M., de Gavelle, E., Dufour, A., Dubuisson, C., Volatier, J.-L., Fouillet, H., Huneau, J.-F., & Mariotti, F. (2019). Plant-Protein Diversity Is Critical to Ensuring the Nutritional Adequacy of Diets When Replacing Animal With Plant Protein: Observed and Modeled Diets of French Adults (INCA3). *The Journal of Nutrition*. <https://doi.org/10.1093/jn/nxz252>
- Salomé, M., Huneau, J., Baron, C. Le, Kesse-guyot, E., & Fouillet, H. (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)*. 12, 1–11.
- Salomé, M., Kesse-Guyot, E., Fouillet, H., Touvier, M., Hercberg, S., Huneau, J. F., & Mariotti, F. (2020). Development and evaluation of a new dietary index assessing nutrient security by aggregating probabilistic estimates of the risk of nutrient deficiency in two French adult populations. *British Journal of Nutrition*, 1–12. <https://doi.org/10.1017/S0007114520005115>
- Santé publique France. (2019). *Recommandations relatives à l'alimentation, à l'activité physique et à la sédentarité pour les adultes*. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/documents/rapport-synthese/recommandations-relatives-a-l-alimentation-a-l-activite-physique-et-a-la-sedentarite-pour-les-adultes>
- Santé publique France. (2020). *Les 1000 premiers jours*. <https://www.santepubliquefrance.fr/la-sante-a-tout-age/la-sante-a-tout-age/les-1000-premiers-jours>
- Scaglioni, S., Salvioni, M., & Galimberti, C. (2008). Influence of parental attitudes in the development of children eating behaviour. In *British Journal of Nutrition* (Vol. 29, Issue SUPPL.1). Br J Nutr. <https://doi.org/10.1017/S0007114508892471>
- Scarborough, P., Appleby, P. N., Mizdrak, A., Briggs, A. D. M., Travis, R. C., Bradbury, K. E., & Key, T. J. (2014). Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK. *Climatic Change*, 125(2), 179–192. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1169-1>
- Schäfer, A. C., Schmidt, A., Bechthold, A., Boeing, H., Watzl, B., Darmon, N., Devleeschauwer, B.,

- Heckelei, T., Pires, S. M., Nadaud, P., Van Dooren, C., & Vieux, F. (2020). 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*, September, 23–24. <https://doi.org/10.1017/S0007114520004857>
- Schäfer Elinder, L., Eustachio Colombo, P., Patterson, E., Parlesak, A., & Lindroos, A. K. (2020). Successful Implementation of Climate-Friendly, Nutritious, and Acceptable School Meals in Practice: The OPTIMAT™ Intervention Study. *Sustainability*, 12(20), 8475. <https://doi.org/10.3390/su12208475>
- Schnabel, L., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Touvier, M., Srouf, B., Hercberg, S., Buscail, C., & Julia, C. (2019). Association between Ultraprocessed Food Consumption and Risk of Mortality among Middle-aged Adults in France. *JAMA Internal Medicine*, 179(4), 490–498. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2018.7289>
- Schwingshackl, L., Bogensberger, B., & Hoffmann, G. (2018). Diet Quality as Assessed by the Healthy Eating Index, Alternate Healthy Eating Index, Dietary Approaches to Stop Hypertension Score, and Health Outcomes: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(1), 74-100.e11. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2017.08.024>
- Searchinger, T., Waite, R., Hanson, C., & Ranganathan, J. (2018). Word Resources Report - Creating a Sustainable Food Future. *Worlds Resources Institute*, December, 1–96.
- Seconda, L., Baudry, J., Allès, B., Soler, L. G., Hercberg, S., Langevin, B., Pointereau, P., Lairon, D., & Kesse-Guyot, E. (2018). Identification of sustainable dietary patterns by a multicriteria approach in the NutriNet-Santé cohort. *Journal of Cleaner Production*, 196, 1256–1265. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.143>
- Seconda, L., Baudry, J., Pointereau, P., Lacour, C., Langevin, B., Hercberg, S., Lairon, D., Allès, B., & Kesse-Guyot, E. (2019). Development and validation of an individual sustainable diet index in the NutriNet-Santé study cohort. *British Journal of Nutrition*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1017/s0007114519000369>
- Seconda, L., Fouillet, H., Huneau, J., Pointereau, P., Baudry, J., Langevin, B., Lairon, D., Allès, B., Touvier, M., Hercberg, S., Mariotti, F., & Kesse-guyot, E. (2021). Conservative to disruptive diets for optimizing nutrition , environmental impacts and cost in French adults from the NutriNet-Santé cohort. *Nature Food*, 2, 174–182. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00227-7>
- Segredo, E., Miranda, G., Ramos, J. M., León, C., & Rodríguez-león, C. (2020). SCHOOLTHY : Automatic Menu Planner for Healthy and Balanced School Meals. *IEE Access*, X. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3003067>
- Sellem, L., Srouf, B., Jackson, K. G., Hercberg, S., Galan, P., Kesse-Guyot, E., Julia, C., Fezeu, L. K., Deschasaux, M., Lovegrove, J., & Touvier, M. (2021). Consumption of dairy products and cardiovascular disease risk: Results from the French prospective cohort NutriNet-Santé. In *British Journal of Nutrition*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0007114521001422>
- Seves, S. M., Verkaik-Kloosterman, J., Biesbroek, S., & Temme, E. H. M. (2017). Are more environmentally sustainable diets with less meat and dairy nutritionally adequate? *Public Health Nutrition*, 20(11), 2050–2062. <https://doi.org/10.1017/S1368980017000763>
- Sobiecki, J. G., Appleby, P. N., Bradbury, K. E., & Key, T. J. (2016). High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition–Oxford study. *Nutrition Research*, 36(5), 464–477. <https://doi.org/10.1016/J.NUTRES.2015.12.016>

- Solagro. (2016). *Le scénario Afterres2050 version 2016*. <https://afterres2050.solagro.org/a-propos/le-projet-afterres-2050/>
- Soret, S., Mejia, A., Batech, M., Jaceldo-Siegl, K., Harwatt, H., & Sabaté, J. (2014). Climate change mitigation and health effects of varied dietary patterns in real-life settings throughout North America. *American Journal of Clinical Nutrition*, 100(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.071589>
- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herrero, M., Carlson, K. M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L. J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., ... Willett, W. (2018a). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562(7728), 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>
- Springmann, M., Spajic, L., Clark, M. A., Poore, J., Herforth, A., Webb, P., Rayner, M., & Scarborough, P. (2020). The healthiness and sustainability of national and global food based dietary guidelines: Modelling study. *The BMJ*, 370, 2322. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2322>
- Springmann, M., Wiebe, K., Mason-D'Croz, D., Sulser, T. B., Rayner, M., & Scarborough, P. (2018b). 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. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(18\)30206-7](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(18)30206-7)
- Srour, B., Fezeu, L. K., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Debras, C., Druesne-Pecollo, N., Chazelas, E., Deschasaux, M., Hercberg, S., Galan, P., Monteiro, C. A., Julia, C., & Touvier, M. (2020). Ultraprocessed Food Consumption and Risk of Type 2 Diabetes among Participants of the NutriNet-Santé Prospective Cohort. *JAMA Internal Medicine*, 180(2), 283–291. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2019.5942>
- Srour, B., Fezeu, L. K., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., Andrianasolo, R. M., Chazelas, E., Deschasaux, M., Hercberg, S., Galan, P., Monteiro, C. A., Julia, C., & Touvier, M. (2019). Ultra-processed food intake and risk of cardiovascular disease: Prospective cohort study (NutriNet-Santé). *The BMJ*, 365. <https://doi.org/10.1136/bmj.l1451>
- Steenhuis, I. H. M., Waterlander, W. E., & De Mul, A. (2011). Consumer food choices: The role of price and pricing strategies. *Public Health Nutrition*, 14(12), 2220–2226. <https://doi.org/10.1017/S1368980011001637>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sorlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855–1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stelmach-Mardas, M., Rodacki, T., Dobrowolska-Iwanek, J., Brzozowska, A., Walkowiak, J., Wojtanowska-Krosniak, A., Zagrodzki, P., Bechthold, A., Mardas, M., & Boeing, H. (2016). Link between food energy density and body weight changes in obese adults. *Nutrients*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/nu8040229>
- Storcksdieck genannt Bonsmann, S., Kardakis, T., Wollgast, J., Nelson, M., & Caldeira, S. (2014). *Mapping of National School Food Policies across the EU28 plus Norway and Switzerland*. <https://doi.org/10.2788/8214>
- Sylvie Bardou Boisnier. (2021). L'alimentation bio dans les cantines scolaires. Element distinctif de l'action politique des collectivités locales. In P. Cardon & S. De Iulio (Eds.), *Cantine et friandises. L'école et l'alimentation des enfants* (pp. 103–124). Presses Universitaires François-Rabelais.

- Szeremeta Spak, M. D., & Colmenero, J. C. (2021). University restaurants menu planning using mathematical modelling. *Journal of Food and Nutrition Research*, February, 1–11.
- Takacs, B., & Borrion, A. (2020). The use of life cycle-based approaches in the food service sector to improve sustainability: A systematic review. *Sustainability*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/SU12093504>
- Tanzil, D., & Beloff, B. R. (2006). Assessing impacts: Overview on sustainability indicators and metrics. *Environmental Quality Management*, 15(4), 41–56. <https://doi.org/10.1002/tqem.20101>
- Tavoularis, G., & Sauvage, E. (2018). Les nouvelles générations transforment la consommation de viande. In *Consommation et modes de vie* (Vol. 300).
- Temme, E. H. M., Toxopeus, I. B., Kramer, G. F. H., Brosens, M. C. C., Drijvers, J. M. M., Tyszler, M., & Ocké, M. C. (2015). Greenhouse gas emission of diets in the Netherlands and associations with food, energy and macronutrient intakes. *Public Health Nutrition*, 18(13), 2433–2445. <https://doi.org/10.1017/S1368980014002821>
- Temme, E. H. M., Van Der Voet, H., Thissen, J. T. N. M., Verkaik-Kloosterman, J., Van Donkersgoed, G., & Nonhebel, S. (2013). Replacement of meat and dairy by plant-derived foods: Estimated effects on land use, iron and SFA intakes in young Dutch adult females. *Public Health Nutrition*, 16(10), 1900–1907. <https://doi.org/10.1017/S1368980013000232>
- Thane, C., Bates, C., & Prentice, A. (2003). Risk factors for low iron intake and poor iron status in a national sample of British young people aged 4–18 years. *Public Health Nutrition*, 6(5), 485–496. <https://doi.org/10.1079/phn2002455>
- Tharrey, M., Drogué, S., Privet, L., Perignon, M., Dubois, C., & Darmon, N. (2020). Industrially processed v. home-prepared dishes: What economic benefit for the consumer? *Public Health Nutrition*, 1–9. <https://doi.org/10.1017/S1368980019005081>
- Tilman, D., & Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518–522. <https://doi.org/10.1038/nature13959>
- Tukker, A., Goldbohm, R. A., de Koning, A., Verheijden, M., Kleijn, R., Wolf, O., Pérez-Domínguez, I., & Rueda-Cantuche, J. M. (2011). Environmental impacts of changes to healthier diets in Europe. *Ecological Economics*, 70(10), 1776–1788. <https://ideas.repec.org/a/eee/ecolec/v70y2011i10p1776-1788.html>
- Un Plus Bio. (2020). *Observatoire de la Restauration Collective Bio et Durable*.
- United Nations Environment Programme. (2020). *Emissions Gap Report 2020*. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>
- Urbal. (2018). *URBAL — Urban-Driven Innovations For Sustainable Food Systems*. <https://www.urbalfood.org/>
- USDA. (2013a). *Healthy Hunger-Free Kids Act*. <https://www.fns.usda.gov/cn/healthy-hunger-free-kids-act>
- USDA. (2013b). National School Lunch Program and School Breakfast Program: Nutrition Standards for All Foods Sold in School as Required by the Healthy, Hunger-Free Kids Act of 2010. Final rule and interim final rule. *Federal Register*, 78(125), 39068–39120.
- USDA. (2017). *The National School Lunch Program*. <http://www.fns.usda.gov/tn/team-nutrition>.
- USDA. (2021). *Ranking Of Countries With The Most Cattle*. <https://beef2live.com/story-world-cattle-inventory-ranking-countries-146-106905>

- Van Cauwenberghe, E., Maes, L., Spittaels, H., Van Lenthe, F. J., Brug, J., Oppert, J. M., & De Bourdeaudhuij, I. (2010). Effectiveness of school-based interventions in Europe to promote healthy nutrition in children and adolescents: Systematic review of published and grey literature. In *British Journal of Nutrition* (Vol. 103, Issue 6, pp. 781–797). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0007114509993370>
- Van Der Werf, H. M. G., Garnett, T., Corson, M. S., Hayashi, K., Huisingh, D., & Cederberg, C. (2014). Towards eco-efficient agriculture and food systems: Theory, praxis and future challenges. *Journal of Cleaner Production*, 73, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.017>
- van der Werf, H. M. G., Knudsen, M. T., & Cederberg, C. (2020). Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability*, 3(6), 419–425. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>
- van Dooren, C., Marinussen, M., Blonk, H., Aiking, H., & Vellinga, P. (2014). Exploring dietary guidelines based on ecological and nutritional values: A comparison of six dietary patterns. *Food Policy*, 44, 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.11.002>
- Vanham, D., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2013). The water footprint of the EU for different diets. *Ecological Indicators*, 32, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.020>
- Vanham, D., Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2020). Treenuts and groundnuts in the EAT-Lancet reference diet: Concerns regarding sustainable water use. In *Global Food Security* (Vol. 24, p. 100357). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100357>
- Vaughn, A. E., Ward, D. S., Fisher, J. O., Faith, M. S., Hughes, S. O., Kremers, S. P. J., Musher-Eizenman, D. R., O'Connor, T. M., Patrick, H., & Power, T. G. (2016). Fundamental constructs in food parenting practices: A content map to guide future research. *Nutrition Reviews*, 74(2), 98–117. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuv061>
- Veleva, V., & Ellenbecker, M. (2001). Indicators of sustainable production: Framework and methodology. *Journal of Cleaner Production*, 9(6), 519–549. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00010-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00010-5)
- Ventura, A. K., & Worobey, J. (2013). Early influences on the development of food preferences. In *Current Biology* (Vol. 23, Issue 9, pp. 401–408). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.02.037>
- Verger, E. O., Mariotti, F., Holmes, B. A., Paineau, D., & Huneau, J.-F. (2012). Evaluation of a Diet Quality Index Based on the Probability of Adequate Nutrient Intake (PANDiet) Using National French and US Dietary Surveys. *PLoS ONE*, 7(8), e42155. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042155>
- Vie-publique.fr. (2018). *Qu'est-ce qu'une circulaire ?* <https://www.vie-publique.fr/fiches/20265-quest-ce-quune-circulaire>
- Vie-publique.fr. (2019). *Six questions sur les conférences sur le climat*. <https://www.vie-publique.fr/questions-reponses/272070-six-questions-sur-les-conferences-sur-le-climat>
- Vieux, F. (2021). Impact of food scenarios on greenhouse gas emissions. *Pratiques En Nutrition*, 17(66), 32–35. <https://doi.org/10.1016/j.pranut.2021.03.008>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.01.003>
- Vieux, F., Dubois, C., Allegre, L., Mandon, L., Ciantar, L., & Darmon, N. (2013a). Dietary Standards for School Catering in France: Serving Moderate Quantities to Improve Dietary Quality Without

- Increasing the Food-related Cost of Meals. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 45(6), 533–539. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2013.02.004>
- Vieux, F., Dubois, C., Duchêne, C., & Darmon, N. (2018a). Nutritional Quality of School Meals in France: Impact of Guidelines and the Role of Protein Dishes. *Nutrients*, 10(2), 205. <https://doi.org/10.3390/nu10020205>
- Vieux, F., Perignon, M., Gazan, R., & Darmon, N. (2018b). Dietary changes needed to improve diet sustainability: are they similar across Europe? *European Journal of Clinical Nutrition*. <https://doi.org/10.1038/s41430-017-0080-z>
- Vieux, F., Privet, L., Soler, L.-G., Irz, X., Ferrari, M., Sette, S., Raulio, S., Tapanainen, H., Hoffmann, R., Surry, Y., Pulkkinen, H., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119298>
- Vieux, F., Soler, L.-G., Touazi, D., & Darmon, N. (2013b). 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. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.035105>
- Vigar, V., Myers, S., Oliver, C., Arellano, J., Robinson, S., & Leifert, C. (2020). A systematic review of organic versus conventional food consumption: Is there a measurable benefit on human health? In *Nutrients* (Vol. 12, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu12010007>
- Vik, F. N., Lippevelde, W. Van, & Øverby, N. C. (2019). Free school meals as an approach to reduce health inequalities among 10 – 12- year-old Norwegian children. *BMC Public Health*, 1–8.
- Vilain, A., De Peretti, C., Herbert, J.-B., & Blondel, B. (2005). La situation périnatale en France en 2003 - Premiers résultats de l'Enquête nationale périnatale. *Etudes et Résultats*, 383. <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/sources-outils-et-enquetes/00-lenquete-nationale-perinatale>
- Visioli, F., Marangoni, F., Poli, A., Ghiselli, A., & Martini, D. (2021). Nutrition and health or nutrients and health? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 0(0), 1–8. <https://doi.org/10.1080/09637486.2021.1937958>
- WCRF, & AICR. (2018). *Diet, nutrition, physical activity and cancer: a global perspective. Third report.* <https://www.wcrf.org/dietandcancer/resources-and-toolkits/>
- WCRF, & AIRC. (2007). *Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective.* <https://doi.org/10.5860/choice.45-5024>
- Webster-Gandy, J., Madden, A., & Holdsworth, M. (2020). *Oxford Handbook of Nutrition and Dietetics* (J. Webster-Gandy, A. Madden, & M. Holdsworth (eds.); Third Edit). Oxford University Press.
- WHO. (2003). *Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases : report of a joint WHO/FAO expert consultation.* World Health Organization.
- WHO. (2006). Food and nutrition policy for schools : A tool for the development of school nutrition programmes in the European Region. In *World Health Organization (WHO)*. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/publications/guidance-and-tools/school-age-children-and-adolescents/food-and-nutrition-policy-for-schools-a-tool-for-the-development-of-school-nutrition-programmes-in-the-who-european->
- WHO. (2011). Nutrient Profiling. In *Report of a WHO/IASO Technical Meeting.*
- WHO. (2021). *Healthy and Sustainable Diets Key workstreams in the WHO European Region.*

- Wickramasinghe, K., Rayner, M., Goldacre, M., Townsend, N., & Scarborough, P. (2016). Contribution of healthy and unhealthy primary school meals to greenhouse gas emissions in England: Linking nutritional data and greenhouse gas emission data of diets. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70(10), 1162–1167. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.101>
- Wickramasinghe, K., Rayner, M., Goldacre, M., Townsend, N., & Scarborough, P. (2017). Environmental and nutrition impact of achieving new School Food Plan recommendations in the primary school meals sector in England. *BMJ Open*, 7(4), e013840. <https://doi.org/10.1136/BMJOPEN-2016-013840>
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., ... Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Willits-Smith, A., Aranda, R., Heller, M. C., & Rose, D. (2020). Addressing the carbon footprint, healthfulness, and costs of self-selected diets in the USA: a population-based cross-sectional study. *The Lancet Planetary Health*, 4(3), e98–e106. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(20\)30055-3](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30055-3)
- WWF, & Eco2 Initiative. (2017). *Vers une alimentation bas carbone, saine et abordable*.
- WWF, & Eco2 Initiative. (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*. https://www.wwf.fr/sites/default/files/doc-2020-11/MAJ201905_Rapport_Vers-une-alimentation-bas-carbone_Volet2_WWF.pdf
- WWF, & Solagro. (2019). *Pulse fiction : Pour une transition agricole et alimentaire durable*.
- Zagmutt, F. J., Pouzou, J. G., & Costard, S. (2020). The EAT-Lancet Commission's Dietary Composition May Not Prevent Noncommunicable Disease Mortality. *The Journal of Nutrition*, 150(5), 985–988. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa020>
- Zampori, L., & Pant, R. (2019). Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method. In *Eur 29682 En*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/424613>