



HAL
open science

Élaboration et évaluation d'une méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas visant à améliorer l'adéquation nutritionnelle des régimes de femmes enceintes en France

Clélia Bianchi

► **To cite this version:**

Clélia Bianchi. Élaboration et évaluation d'une méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas visant à améliorer l'adéquation nutritionnelle des régimes de femmes enceintes en France. Sociologie. Université Paris Saclay (COMUE), 2017. Français. NNT : 2017SACLA025 . tel-02008108

HAL Id: tel-02008108

<https://theses.hal.science/tel-02008108>

Submitted on 5 Feb 2019

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.

Élaboration et évaluation d'une méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas visant à améliorer l'adéquation nutritionnelle des régimes de femmes enceintes en France

Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay
préparée à AgroParisTech

École doctorale n°581
Agriculture, alimentation, biologie, environnement, santé (ABIES)

Spécialité de doctorat : « Sciences de la nutrition »

Thèse présentée et soutenue à Paris, le 02 octobre 2017, par

Mlle Clélia Mireille Bianchi

Composition du Jury :

Mme Rachel Lévy Professeur (PU-PH), AP-HP	Présidente
Mme Nicole Darmon Directeur de recherche, INRA	Rapporteur
Mme Blandine De Lauzon-Guillain Chargé de recherche, INSERM	Rapporteur
Mme Bérangère Véron Maître de conférences, AgroParisTech	Examinatrice
Mr Jean-François Huneau Professeur, AgroParisTech	Directeur de thèse
Mr François Mariotti Professeur, AgroParisTech	Co-Directeur de thèse
Mme Patricia Gurviez Professeur, AgroParisTech	Invitée
Mme Anne Lluch Chargé de recherche, Danone Nutricia Research	Invitée

Remerciements

« Tout vient à point à qui sait attendre, la patience est une arme. »

Tout d'abord, je tiens à remercier les rapporteurs, Mme Nicole Darmon et Mme Blandine De Lauzon-Guillain, et examinatrices, Mme Rachel Lévy et Mme Bérangère Véron, d'avoir accepté d'être membres de ce jury et d'évaluer ce travail de thèse.

Je remercie également le Fonds Français pour l'Alimentation et la Santé (FFAS) et Danone Nutricia Research pour le financement de cette thèse.

Ensuite, je tiens à remercier Daniel Tomé, directeur de l'Unité Mixte de Recherche Physiologie de la Nutrition et du Comportement Alimentaire (PNCA) AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, de m'avoir accueillie pendant trois ans au sein du laboratoire pour effectuer cette thèse. Je vous remercie également pour vos conseils et votre disponibilité.

Je remercie tout particulièrement mes deux directeurs de thèse, Jean-François Huneau et François Mariotti pour m'avoir non seulement encadrée mais aussi supportée, accompagnée, fait confiance et motivée. Vous m'avez fait grandir scientifiquement, professionnellement et humainement. Vous vous complétez si bien. Jean-François, merci pour le partage et la transmission de connaissances, les remarques parfois abruptes mais toujours justes et les pronostics sportifs (pas toujours avisés...). François, merci pour la rigueur (scientifique, typographique et linguistique), l'écoute, les conseils et les (longues) discussions sur tout sujet qui permettaient de déconnecter.

Je tiens également à remercier Nicolas Gausserès, en tant que directeur du « Global Nutrition Department » de Danone Nutricia Research et Fabien Delaere en tant que responsable de l'équipe « Dietary Impact », de m'avoir fait confiance pour poursuivre les travaux menés par Eric Verger. Je vous remercie pour vos ondes positives et votre optimisme. Je remercie sincèrement Anne Lluch pour son encadrement (et bien plus que ça). Merci mille fois pour ton soutien, ta compréhension, tes mots toujours justes et tes relectures fines ! Je remercie également tous les membres de la GND pour leur accueil chaleureux. Je n'étais pas souvent là, mais vous avez su me faire me sentir « comme chez moi » lors des séminaires et de mes venues à Palaiseau.

Je tiens également à remercier, Eric Verger, d'avoir toujours suivi avec attention l'évolution de ce travail. Je te remercie sincèrement pour ton soutien et ta disponibilité.

Je remercie également Patricia Gurviez, de m'avoir encadrée et fait confiance pour effectuer un travail qui ne relevait pas de ma formation initiale et de m'avoir encouragée tout au long de cette thèse.

Je remercie Dominique Turck et Marie-Aline Charles, d'avoir accepté de faire partie de mon comité de thèse et d'avoir suivi et encouragé mes travaux.

Je tiens également à remercier la Maternité catholique de Provence « L'Étoile » pour l'accueil des groupes de discussion, l'agence de recherche marketing QualiQuanti (et plus spécifiquement Claude-Emmanuelle Couratier) pour la mise en place et le suivi de l'étude longitudinale en ligne et le Groupe Hospitalier Paris Saint-Joseph pour l'accueil de l'étude clinique. Je remercie Elie Azria de nous avoir permis d'effectuer cette étude au sein de son service ; Hélène Beaussier, Julien Fournier, Meyada Benkacimi et Mohamed Chérifi de nous avoir accompagnés sur le plan réglementaire et administratif ; Yaëlle Stehr et Olivia Brunon d'avoir participé au recueil de données ; et enfin tout le personnel des consultations obstétriques (la liste de noms serait trop longue mais vous avez été d'une importance majeure pour le bon déroulement de l'étude).

Je remercie également Stéphane Dervaux, Pierre Barbillon et Maud Delattre d'avoir partagé leurs diverses expertises dans le cadre de ces travaux.

Enfin, je remercie mes stagiaires sans qui tout ce travail n'aurait pas été possible et que j'ai pris plaisir à encadrer au cours de ces trois années : Manon, Dylan, Élodie, Claire et François. Dans votre différence, vous avez tous apporté votre patte à ce travail. Un grand merci !

Pour finir sur le plan professionnel, je tiens à remercier tous les membres du laboratoire PNCA et de la chaire ANCA. Mon sujet de recherche ne m'a pas donné l'occasion de travailler avec vous, mais les nombreux moments de partage ont rendu ces trois ans très agréables. J'ai adoré vous faire goûter mes pâtisseries, avoir les retours de chacun, je continuerai de m'améliorer en suivant vos remarques... Je remercie tout particulièrement les doctorants : Sandra, Erwan, Olivier, Romain, Gabrielle et Chloé.

Je remercie également les jeunes « docteurs », l'équipe de Bruxelles : Martin, Tristan, Olga, Caro, Simon, Marion, Ambre et Odile. Merci pour le soutien, les dîners, les déjeuners, les petits-déjeuners, les phrases cultes, les blagues, les gâteaux, les rires et tous ces bons souvenirs...

On peut faire beaucoup sur le plan professionnel mais rien n'aurait été possible sans ceux qui embellissent ma vie personnelle.

Alors, un grand merci à mes amis d'enfance : Bib (« on roule ensemble... »), Didier, Florence, Sabine, Adrien et Karim. Un grand merci aussi à mes Bloites : Agnès, Erika, Marie, Laure-Elise, Julie, Anne, Daniela, Laure-Anne et Philippines. Il me faudrait une thèse entière pour dire tout ce que vous m'apportez.

Et plus que tout, un IMMENSE merci à ma famille. La liste serait trop longue et je ne voudrais oublier personne alors je me contenterais de quelques mots pour ceux qui partagent mon quotidien.

Alban, Cathy, Nicolas, Clémence, les liens du sang n'ont pas d'importance, ce sont ceux du cœur qui comptent, alors merci d'être là et de me soutenir quand j'en ai besoin.

Papa, tu m'as appris que si on était capable de sauter 3 mètres alors on devait essayer d'en sauter 4, merci d'avoir fait de moi une battante. Je t'aime.

Pierre (« Ich ich »), Ugo (« _||_||_ »), mes frères, mes amours, vous êtes la prunelle de mes yeux, mon sourire et ma motivation pour avancer quand ça ne va pas. Vous êtes les meilleurs, vous êtes parfaits (en toute impartialité). Merci d'être si différents et d'être les meilleurs petits frères du monde. Je vous aime.

Enfin, sans vous, je ne suis rien, sans vous, j'aurais lâché, sans vous, je ne serais jamais devenue celle que je suis : Maman, Papo, Mamo. Une thèse ne suffirait pas à vous remercier...

Mamo, tu es tellement plus qu'une simple grand-mère, promis, je te décrocherai la lune.

Maman, si les mamans étaient des fleurs tu serais celle que j'aurais cueillie, merci pour tout, je t'aime.

Papo, j'aurais voulu que tu sois là, j'aurais voulu que tu puisses lire ce paragraphe, j'aurais voulu voir la fierté « objective » dans tes yeux. Des liens indéfectibles, une admiration réciproque. Jusqu'au bout, pour toi, pour Mamo, pour Maman, pour nous...

Avec une petite dédicace pour ceux qui ont égayé ces trois ans par leurs sons dans mon casque audio : « *Comme Zinédine Zidane face à l'équipe du Brésil... Je suis en feu !* »

Résumé

La grossesse est une période de la vie d'une femme qui s'accompagne d'une augmentation des besoins nutritionnels dont la satisfaction est nécessaire à la bonne santé de la mère et de l'enfant à naître. Durant cette période, les femmes seraient plus enclines à l'adoption de pratiques alimentaires plus saines. L'objectif de ce travail de thèse était d'étudier ces différents aspects de la nutrition pendant la grossesse puis d'élaborer et d'évaluer une méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas afin d'améliorer l'adéquation nutritionnelle des femmes enceintes en France. Un indice de qualité nutritionnelle de l'alimentation existant : le PANDiet, a été adapté à la période de la grossesse en tenant compte des références nutritionnelles spécifiquement définies pour cette période. Il a été montré qu'en l'absence de modifications qualitatives du régime en début de grossesse, l'adéquation nutritionnelle ne pouvait pas être maintenue. Trois types de conseils alimentaires personnalisés ont alors été élaborés et se sont révélés efficaces pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation. Cependant, plus les conseils étaient efficaces moins ils étaient acceptables par les femmes enceintes. Un compromis a donc été trouvé pour sélectionner les deux types de conseils les plus acceptables par les femmes enceintes tout en étant efficaces pour améliorer la qualité nutritionnelle de leur alimentation. Ces deux types de conseils alimentaires personnalisés, fondés respectivement sur des modifications des quantités consommées d'aliments et sur des substitutions au sein du même sous-groupe d'aliments, ont été proposés à des femmes enceintes françaises lors d'un essai randomisé contrôlé. Par ailleurs, des données qualitatives, ont permis d'identifier que ces dernières étaient à la recherche d'informations positives et crédibles concernant l'alimentation pour contribuer au bien-être de leur bébé mais aussi au leur. Durant l'essai randomisé contrôlé, l'approche proposant des recommandations alimentaires génériques associées aux conseils alimentaires personnalisés, générés pas-à-pas par notre algorithme, s'est révélée plus efficace pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de femmes enceintes qu'une approche proposant uniquement les recommandations génériques. Par ailleurs, selon l'étude qualitative menée auprès de participantes à l'essai randomisé contrôlé, il apparaît que proposer des conseils alimentaires pendant la grossesse permet de résoudre la cacophonie informationnelle.

Abstract

Pregnancy is a specific period in life characterized by an increase in nutrient needs that should be met for the health of both the mother and her baby. During this period, women would be keener on adopting healthier dietary practices. The objective of this thesis was to study these different aspects of nutrition during pregnancy and to design and evaluate a tailored, stepwise dietary advice method which aims to improve the nutrient adequacy of the diet of French pregnant women. The PANDiet score, a diet quality index, has been adapted to pregnancy by using the nutrient requirements established for this period. It has been shown that the absence of qualitative changes in a woman's diet in the beginning of pregnancy prevented the maintenance of the nutrient adequacy. Three types of tailored dietary changes were then designed. They proved to be efficient in improving the nutrient adequacy of the diet. The more efficient the type of dietary changes was, the less acceptable it was by pregnant women. Thus, a trade-off has been considered to select the two types of dietary changes that were the most acceptable by pregnant women while showing efficiency in the improvement of the nutrient adequacy of their diet. These two types of tailored dietary changes, which respectively involved modifications of the amount consumed of foods and substitutions of foods within the same food subgroup, have been proposed to French pregnant women during a randomized controlled trial. Furthermore, qualitative data revealed that pregnant women sought for positive and trustworthy information about nutrition-related in order to contribute towards the well-being of both their baby and themselves. In the randomized controlled trial, the approach proposing tailored dietary advice, generated in a stepwise process, in addition to generic dietary guidelines proved to be more efficient in improving the nutrient adequacy of the diet of pregnant women than the approach using only generic dietary guidelines. Furthermore, according to semi-directive interviews led with some women included in the randomized controlled trial, it appeared that dietary counseling during pregnancy resulted in solving the confusion related to nutrition issues.

Sommaire

Remerciements	2
Résumé	4
Abstract	5
Sommaire.....	6
Liste des figures.....	8
Liste des tableaux	9
Abréviations	10
Valorisation scientifique.....	11
Introduction générale.....	14
Chapitre I : Introduction bibliographique	17
1. Les besoins nutritionnels pendant la grossesse : accroissement, relations avec la santé et définition de recommandations.....	17
1.1. La grossesse, une période physiologique spécifique marquée par un accroissement des besoins nutritionnels.....	17
1.2. Les relations entre l'alimentation pendant la grossesse et la santé de la mère, de l'enfant à naître et du futur adulte.....	19
1.3. Définition de recommandations nutritionnelles spécifiques à la grossesse	22
<i>Conclusion partielle</i>	33
2. Le statut nutritionnel des femmes enceintes	34
2.1. Évaluation du statut nutritionnel des femmes enceintes dans les pays développés	34
2.2. Évaluation du statut nutritionnel des femmes enceintes en France	40
2.3. Évaluation de la qualité de l'alimentation des femmes enceintes par des indices globaux	43
<i>Conclusion partielle</i>	50
3. Le comportement alimentaire pendant la grossesse	51
3.1. La grossesse dans le paradigme du parcours de vie (« life course perspective ») : une période spécifique propice à une modification des comportements.....	51
3.2. Les déterminants de la modification de l'alimentation pendant la grossesse	56
3.3. Les modifications de l'alimentation pendant la grossesse.....	65
<i>Conclusion partielle</i>	69
4. Les interventions diététiques de conseils alimentaires pendant la grossesse.....	70
4.1. Une grande diversité d'interventions diététiques proposant des conseils alimentaires pendant la grossesse.....	70
4.2. L'efficacité des différentes interventions proposant des conseils alimentaires	78
4.3. Les interventions proposant des conseils alimentaires personnalisés générés à l'aide d'outils informatiques.....	83
<i>Conclusion partielle</i>	88
Conclusion.....	89

Chapitre II : Travaux de thèse	91
1. Justification des travaux	91
1.1. Premier volet : Elaboration de différents types de conseils alimentaires et simulations de leur potentiel d'amélioration de l'adéquation nutritionnelle pendant la grossesse	92
1.2. Deuxième volet : Identification des déterminants affectant le comportement alimentaire des femmes enceintes en France et évaluation de la perception et de l'acceptabilité des conseils alimentaires personnalisés générés selon notre méthode	99
1.3. Troisième volet : évaluation de l'efficacité de notre méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de régimes de femmes enceintes.....	103
2. Travaux personnels.....	106
2.1. Travail personnel n°1 : Adaptation du PANDiet à la grossesse et simulations de l'impact de modifications quantitatives et qualitatives du régime issues de recommandations génériques sur la qualité nutritionnelle de l'alimentation en début de grossesse	107
2.2. Travail personnel n°2 : Simulation de l'efficacité de différents types de conseils alimentaires pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation en début de grossesse et mise en parallèle avec leur acceptabilité chez les femmes enceintes en France.....	136
2.3. Travail personnel n°3 : Une étude qualitative des préoccupations, des attitudes, des croyances et de la recherche d'informations concernant les problématiques en lien avec la nutrition chez les femmes enceintes en France.....	191
2.4. Travail personnel n°4 : Emploi de méthodes mixtes pour évaluer la perception de conseils alimentaires personnalisés dans le but d'améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse	216
2.5. Travail personnel n°5 : Évaluation de l'efficacité de conseils alimentaires personnalisés générés par un algorithme informatique pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation chez les femmes enceintes en France	253
2.6. Travail personnel n°6 : Évaluation de la perception du conseil alimentaire et de l'intérêt de sa personnalisation pendant la grossesse par l'emploi de méthodes mixtes lors d'une analyse secondaire dans le cadre de l'essai randomisé contrôlé MON CAP Grossesse.....	284
Chapitre III : Discussion générale et conclusion	304
1. Discussion générale	304
2. Conclusion.....	313
3. Perspectives	314
Annexe.....	317
Définition des différentes références nutritionnelles.....	317
Références	319

Liste des figures

Les figures sont présentées au verso dans la version imprimée et à la suite du manuscrit principal dans la version électronique (avec une redirection possible vers la figure en cliquant sur sa référence dans le texte). Le numéro de la page correspondant à chaque figure dans cette liste est celui de la page recto étant le pendant de celle de la figure.

Figure 1. Répartition de la dépense énergétique totale chez la femme non enceinte en comparaison avec la femme enceinte.....	17
Figure 2. Fonction et période d'intervention des micronutriments dans le développement de l'enfant, selon l'âge gestationnel.....	18
Figure 3. Schéma présentant les principaux effets négatifs de la malnutrition (réunissant à la fois la sous- et la surnutrition) de la mère sur sa santé et celle de l'enfant.....	19
Figure 4. Relations entre obésité et diabète maternels et développement d'une obésité chez l'enfant dans sa vie future.....	22
Figure 5. Evolution du dépôt protéique (en g/j) au cours de la grossesse en fonction de la prise de poids....	24
Figure 6. Apports journaliers en énergie et en macronutriments énergétiques combinés pour plusieurs études par région ou pays (Royaume-Uni, Europe, Japon, Etats-unis et Canada, Australie et Nouvelle-Zélande), selon la méta-analyse de Blumfiel <i>et al.</i>	36
Figure 7. Pourcentage de femmes non enceintes (A) et enceintes (B) présentant un score de HEI supérieur ou égal à 80 et atteignant les recommandations nutritionnelles pour les apports en nutriments suivants : calcium, vitamine D, fer et folates, identifiés comme clés pendant la grossesse.	45
Figure 8. Descriptif de l'adéquation des consommations alimentaires de femmes enceintes au regard des différentes recommandations PNNS (à destination de la population adulte ou spécifiques à la grossesse à destination des femmes enceintes).	48
Figure 9. Schéma explicatif de la Théorie du Comportement Planifié proposé par Ajzen.....	56
Figure 10. Effet de l'interaction entre l'habitude de consommation de fruits et légumes et l'intention de suivre la recommandation concernant la consommation de fruits et légumes sur la consommation effective de fruits et légumes.	59
Figure 11. Exemple d'une semaine alimentaire « habituelle » renseignée par un individu sur le tableau proposé par l'outil Food Choice Map.....	85
Figure 12. Formule de calcul d'une probabilité d'adéquation nutritionnelle (PA) utilisée dans le calcul du PANDiet.	92
Figure 13. Calcul du PANDiet pour la population adulte française ¹ : nutriments, valeurs des références nutritionnelles et variabilités inter-individuelles utilisées pour le sous-score d'Adéquation et le sous-score de Modération ²	93
Figure 14. Collations proposées dans le guide nutrition de la grossesse édité par l'INPES.....	94
Figure 15. Schéma illustrant les deux premières étapes de la méthode d'optimisation de la qualité nutritionnelle de l'alimentation telle que mesurée par le PANDiet.....	96
Figure 16. Schéma illustrant la succession des conseils alimentaires de chaque type pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse (telle que mesurée par le PANDiet) en 10 étapes en fonction de leur type.....	98
Figure 17. Schéma illustrant le déroulé de l'étude pour une femme enceinte incluse dans l'essai randomisé contrôlé durant les douze semaines de suivi diététique.....	105

Liste des tableaux

Les tableaux sont présentés au verso dans la version imprimée et à la suite du manuscrit principal dans la version électronique (avec une redirection possible vers la figure en cliquant sur sa référence dans le texte). Le numéro de la page dans cette liste est celui de la page recto étant le pendant de celui du tableau.

Tableau 1. Méthode de calcul basée sur l'approche factorielle utilisée par l'EFSA pour estimer l'apport nutritionnel conseillé supplémentaire pour les protéines pendant la grossesse selon le trimestre.....	25
Tableau 2. Absorption du fer durant la grossesse calculée à partir des données relatives à l'absorption du fer après un repas-test issues de l'étude de Barrett <i>et al.</i> (1994).....	27
Tableau 3. Synthèse des Apports Nutritionnels Conseillés* (Dietary Reference Values*) pour les folates durant la grossesse déterminés par différentes agences de santé publique.....	31
Tableau 4. Nombre d'études incluses, nombre total de femmes enceintes dans ces études et apports nutritionnels conseillés journaliers (en grammes ou en pourcentage de l'apport énergétique total) selon la région considérée dans la méta-analyse de Blumfield <i>et al.</i>	35
Tableau 5. Classification du niveau d'apports en protéines du régime des femmes enceintes en fonction de la valeur de référence utilisée dans l'étude de Burke <i>et al.</i>	44
Tableau 6. Scores de HEI et des items le composant (moyenne \pm erreur type et étendue) dans les groupes de femmes non enceintes (n = 49) et de femmes enceintes (n = 52).....	45
Tableau 7. Items composant le Diet Quality Index for Pregnancy (DQI-P) (Bodnar et Siega-Riz, 2002) en comparaison avec le Diet Quality Index Revised (DQI-R) (Haines <i>et al.</i> , 1999)	46
Tableau 8. Scores moyens pour le Diet Quality Index for Pregnancy (DQI-P) et ses items présentés en fonction des caractéristiques sociodémographiques maternelles	47
Tableau 9. Scores de conscience nutritionnelle (moyenne \pm erreur-type) de chacune des neuf recommandations alimentaires proposées aux Pays-Bas dans l'échantillon total (n = 523) et dans chaque groupe de femmes.....	53
Tableau 10. Coefficients de corrélation de Pearson (<i>r</i>) entre les différents éléments de la Théorie du Comportement Planifié quant à l'adoption de recommandations nutritionnelles pendant la grossesse (n=189), et nombre d'observations (n), moyennes (M), écarts-types (SD) et étendues (range) pour chaque élément. .	57
Tableau 11. Verbatim issus d'études qualitatives (entretiens ¹ ou groupes de discussion ²) portant sur le rapport à l'alimentation des femmes enceintes, illustrant trois catégories de motivations quant à l'adoption de comportements alimentaires sains	60
Tableau 12. Leviers et freins au suivi de recommandations alimentaires pendant la grossesse identifiés dans un échantillon de femmes enceintes vivant aux États-Unis et au Canada (n=189).	62
Tableau 13. Verbatim issus d'études qualitatives (entretiens ¹ ou groupes de discussion ²) portant sur le rapport à l'alimentation des femmes enceintes, illustrant les freins et les leviers à l'adoption d'une alimentation saine pendant la grossesse.	63
Tableau 14. Consommations alimentaires médianes (en g/j) de groupes d'aliments durant l'année précédant la grossesse et durant la grossesse de 249 femmes participant à la cohorte mère-enfant Geração XXI à Porto (Portugal) entre décembre 2004 et décembre 2005.	65
Tableau 15. Verbatim issus d'études qualitatives (entretiens ¹ ou groupes de discussion ²) portant sur le rapport à l'alimentation des femmes enceintes, illustrant les modifications individuelles de l'alimentation pendant la grossesse réparties en trois grands thèmes.....	66
Tableau 16. Quelques interventions proposant des conseils alimentaires pendant la grossesse : population incluse, nature des conseils alimentaires, critère(s) d'évaluation et effet(s) de l'intervention sur l'alimentation et le(s) autres critère(s) d'évaluation.	70

Abréviations

- AET**, apport énergétique total
- AFSSA**, Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
- AHEI**, Alternative Healthy Eating Index
- AGMI**, acides gras mono-insaturés
- AGPI**, acides gras polyinsaturés
- AGS**, acides gras saturés
- ALA**, acide alpha-linolénique
- ANC**, apport nutritionnel conseillé
- ANSES**, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- AS**, apport satisfaisant
- BNM**, besoin nutritionnel moyen
- DHA**, acide docosahexaénoïque
- DOHaD**, origines développementales de la santé et des maladies (*Developmental Origin of Health and Diseases*)
- DQI**, Diet Quality Index
- DQI-P**, Diet Quality Index for Pregnancy
- EDEN**, Étude des Déterminants pré et post natals précoces du développement psychomoteur et de la santé de l'Enfant
- EFSA**, Autorité Européenne de Sécurité Alimentaire (*European Food Safety Authority*)
- ELFE**, Étude Longitudinale Française depuis l'Enfance
- ENNS**, Étude Nationale Nutrition Santé
- EPA**, acide eicosapentaénoïque
- ERC**, essai randomisé contrôlé
- FAO**, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (*Food and Agriculture Organization*)
- HEI**, Healthy Eating Index
- INCA**, Étude Individuelle Nationale sur les Consommations Alimentaires
- INPES**, Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé
- IoM**, Institut de Médecine (*Institute of Medicine*)
- LA**, acide linoléique
- LSS**, limite supérieure de sécurité
- MDS**, Mediterranean Diet Score
- MDS-P**, Mediterranean Diet Score for Pregnancy
- OCDE**, Organisation de Coopération et de Développement Économique
- OMS**, Organisation Mondiale de la Santé (*World Health Organization, WHO*)
- PELAGIE**, Perturbateurs Endocriniens : Étude Longitudinale sur les Anomalies de la Grossesse, l'Infertilité et l'Enfance
- PNNS**, Programme National Nutrition Santé
- PNNS-GS**, Programme National Nutrition Santé Guideline Score
- QFA**, questionnaire de fréquence alimentaire
- SA**, semaine(s) d'aménorrhée
- SG**, semaine(s) de grossesse
- TCC**, techniques de changement de comportement
- TCP**, Théorie du Comportement Planifié

Valorisation scientifique

Articles scientifiques

Faisant l'objet du travail de thèse

~ Publiés

Clélia M. Bianchi, François Mariotti, Eric O. Verger, Jean-François Huneau. **Pregnancy requires major changes in the quality of the diet for nutritional adequacy: simulations in the French and the United States populations.** *Plos One*. 2016;11(3):e0149858.

Clélia M. Bianchi, Jean-François Huneau, Gaëlle Le Goff, Eric O. Verger, François Mariotti, Patricia Gurviez. **Concerns, attitudes, beliefs and information seeking practices with respect to nutrition-related issues: a qualitative study in French pregnant women.** *BMC Pregnancy Childbirth*. 2016;16(1):306.

Clélia M. Bianchi. **Mieux se nourrir pendant la grossesse : perceptions, attentes et opportunités.** Lettre scientifique n°24. *Conférence du Fonds Français pour l'Alimentation et la Santé « Alimentation de la femme enceinte »*. Paris (France). 27 juin 2017.

~ Soumis ou en cours d'évaluation

Clélia M. Bianchi, Jean-François Huneau, Pierre Barbillon, Anne Lluch, Manon Egnell, Hélène Fouillet, Eric O. Verger, François Mariotti. **A clear trade-off exists between the theoretical efficiency and acceptability of dietary changes that improve nutrient adequacy during pregnancy in French women.**

Clélia M. Bianchi, François Mariotti, Elodie Reulet, Gaëlle Le Goff, Anne Lluch, Eric O. Verger, Jean-François Huneau, Patricia Gurviez. **Perceptions of tailored dietary advice to improve the nutrient adequacy of the diet in French pregnant women: a mixed methods study.**

~ En préparation

Clélia M. Bianchi, François Mariotti, Anne Lluch, Claire Journet, Yaëlle Stehr, Hélène Beaussier, Julien Fournier, Stéphane Dervaux, Dylan Cohen-Tanuggi, Elodie Reulet, Eric O. Verger, Elie Azria, Jean-François Huneau. **Computer-based tailored dietary counseling improves the nutrient adequacy of French pregnant women: a randomized controlled trial.**

Clélia M. Bianchi, François Viguière, Claire Journet, François Mariotti, Anne Lluch, Eric O. Verger, Elie Azria, Jean-François Huneau. **Barriers and enablers to implement dietary changes during pregnancy: a mixed methods study.**

Ne faisant pas l'objet du travail de thèse

~ Publiés

Clélia M. Bianchi, Manon Egnell, Jean-François Huneau, François Mariotti. **Plant protein intake and dietary diversity are independently associated with nutrient adequacy in French adults.** *J Nutr.* 2016;146(11):2351-2360.

~ Soumis

Erwan De Gavelle, Jean-François Huneau, Clélia M. Bianchi, Eric O. Verger, François Mariotti. **Increasing plant:animal protein intake in the current diet would initially challenge the adequacy of total protein intake but not that of individual indispensable amino acids: results of a modeling study in French adults.**

Communications

Communications orales

Clélia M. Bianchi, Jean-François Huneau, Pierre Barbillon, Anne Lluch, Manon Egnell, Hélène Fouillet, Eric O. Verger, François Mariotti. **Conception et évaluation d'un outil de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas destiné à améliorer l'adéquation nutritionnelle des régimes des femmes enceintes.** 6^e Congrès *In Utero*. Paris (France). 2 décembre 2016.

Clélia M. Bianchi. **Tailored dietary advice is more efficient than generic dietary advice to improve the nutrient adequacy of French pregnant women: a randomized controlled trial.** *Journées des Doctorants ABIES*. Paris (France). 25 – 26 avril 2017.

Clélia M. Bianchi. **Mieux se nourrir pendant la grossesse : perceptions, attentes et opportunités.** *Conférence « Alimentation de la femme enceinte » organisée par le Fonds Français pour l'Alimentation et la Santé*. Paris (France). 27 juin 2017.

Communications affichées

Faisant l'objet du travail de thèse

Clélia M. Bianchi, François Mariotti, Eric O. Verger, Jean-François Huneau. **Grossesse et adéquation nutritionnelle des femmes françaises : évaluation et simulation d'amélioration par des modifications diététiques simples.** *Journées Francophones de Nutrition*. Bruxelles (Belgique). 10 – 12 décembre 2014.

Clélia M. Bianchi, François Mariotti, Eric O. Verger, Jean-François Huneau. **Adequate micronutrients intakes in pregnancy require major changes in the quality of the diet.** *12th European Nutrition Conference FENS*. Berlin (Allemagne). 20 – 23 octobre 2015.

Clélia M. Bianchi, François Mariotti, Jean-François Huneau, Patricia Gurviez. **Un « équilibre pour deux » durant la grossesse : entre prise de conscience nutritionnelle et cacophonie informationnelle.** *Journées Francophones de Nutrition*. Marseille (France). 9 – 11 décembre 2015.

Clélia M. Bianchi, François Mariotti, Eric O. Verger, Jean-François Huneau. **Des modèles de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas permettent d'améliorer considérablement l'adéquation nutritionnelle des régimes en vue d'une grossesse.** *Journées Francophones de Nutrition*. Marseille (France). 9 – 11 décembre 2015.

Clélia M. Bianchi, François Mariotti, Eric O. Verger, Jean-François Huneau. **Les conseils alimentaires personnalisés améliorant le plus efficacement l'adéquation nutritionnelle des régimes en début de grossesse sont les moins acceptables.** *Journées Francophones de Nutrition*. Montpellier (France). 30 novembre – 2 décembre 2016.

Clélia M. Bianchi, Jean-François Huneau, Eric O. Verger, François Mariotti, Patricia Gurviez. **In search of well-being for me and my unborn baby.** 5th French-Austrian-German-Workshop on Consumer Behavior. Vienne (Autriche). 29 – 31 mars 2017.

Ne faisant l'objet du travail de thèse

Clélia M. Bianchi, Manon Egnell, Jean-François Huneau, François Mariotti. **Plant protein intake and dietary diversity are independently and additively associated with dietary quality.** *12th European Nutrition Conference FENS*. Berlin (Allemagne). 20 – 23 octobre 2015.

Mathilde Donnenfeld, Clélia M. Bianchi, Khalid Iqbal, Jean-François Huneau, François Mariotti, Heiner Boeing. **Associations entre la consommation de groupes contributeurs à l'apport protéique et l'adéquation nutritionnelle des régimes dans deux populations aux profils alimentaires différents.** *Journées Francophones de Nutrition*. Marseille (France). 9 – 11 décembre 2015.

Clélia M. Bianchi, Manon Egnell, Jean-François Huneau, François Mariotti. **Les apports en protéines végétales et la diversité alimentaire des régimes sont associés à la qualité de l'alimentation de façon indépendante et additive.** *Journées Francophones de Nutrition*. Marseille (France). 9 – 11 décembre 2015.

Introduction générale

Depuis le début des années 80, les études concernant l'impact de l'environnement de la mère au sens général (incluant l'alimentation) sur le bon déroulement de la grossesse et ses issues, mais aussi sur la santé de la mère, celle de l'embryon, du fœtus et de l'enfant dans sa vie future se sont multipliées. Le niveau de preuve en faveur des origines développementales de la santé et des maladies (DOHaD) n'a de cesse de grandir (Charles et Junien, 2012). Ainsi, il apparaît crucial que les mères adoptent une alimentation adéquate pendant la grossesse (et même durant la phase périconceptionnelle) afin de favoriser le bon développement et la bonne santé de leur enfant, mais également la leur (Abu-Saad et Fraser, 2010; De-Regil *et al.*, 2016; King, 2016). Cependant, dans les pays développés marqués par une forte croissance de l'obésité et du développement de maladies cardiovasculaires et de diabète, largement attribuable au mode de vie et à l'alimentation, l'alimentation des femmes enceintes ne permet pas de satisfaire les besoins nutritionnels pour la plupart accrus durant cette période (Blumfield *et al.*, 2012; Blumfield *et al.*, 2013).

Par ailleurs, la grossesse, en tant qu'étape de transition vers la maternité, est une période marquée par de nombreux changements sociaux, psychologiques, comportementaux et biologiques (Devine *et al.*, 2000). Ces changements favorisent une prise de conscience nutritionnelle motivée par le bénéfice perçu d'une alimentation saine sur la santé de l'enfant et celle de la mère, mais aussi par le fait de répondre à la norme sociale de se comporter comme une « bonne mère » (Copelton, 2007; Szwajcer *et al.*, 2007). Les femmes enceintes seraient donc plus enclines à adopter une alimentation saine et seraient plus perméables et réceptives aux informations concernant ce sujet. Cependant, l'intention d'adopter une alimentation saine n'est pas suffisante à son adoption effective (Sheeran, 2002). Ainsi, les troubles digestifs, l'obtention d'informations conflictuelles, le manque de soutien de l'entourage ou les difficultés d'accès (prix, disponibilité...) peuvent limiter l'adoption d'une alimentation plus saine pendant cette période (Whitaker *et al.*, 2016c).

Dans ce contexte, de nombreuses interventions diététiques proposant des conseils alimentaires ont été mises en place dans des populations de femmes enceintes dans les pays développés. Beaucoup avaient pour objectif de limiter la prise de poids pendant la grossesse par l'amélioration du suivi de recommandations alimentaires génériques (Muktabhant *et al.*, 2015). Par ailleurs, une grande partie de ces interventions étaient menées sur des populations de femmes en surpoids ou obèses (Dodd *et al.*, 2016; Wolff *et al.*, 2008) et/ou à risque de diabète gestationnel (Han *et al.*, 2017).

Ces interventions diététiques ne sont, pour la plupart, pas personnalisées au régime alimentaire des femmes enceintes, à l'exception de quelques-unes dont les degrés de personnalisation sont variables (Hawkins *et al.*, 2015; Jackson *et al.*, 2011). Cependant, l'adaptation des conseils aux habitudes de vie de l'individu rend les interventions plus acceptables et mieux perçues (de Vries et Brug, 1999). Les interventions personnalisées sont d'autant plus efficaces si elles sont répétées plusieurs fois pour le même individu (approche dynamique), ce qui peut être facilité par l'emploi d'algorithmes développés sur des programmes informatiques (Krebs *et al.*, 2010; Lairson *et al.*, 2004).

En France, peu de données concernant le statut nutritionnel des femmes enceintes ont été publiées mais les différentes études montrent des inadéquations d'apports, notamment pour certains nutriments-clés lors de la grossesse comme les folates ou l'iode (Caron, 2015; Kadawathagedara *et al.*, 2017; Potier De Courcy *et al.*, 1998). Depuis le début des années 2000, on dénombre environ 800 000 naissances par an en France (INSEE, 2016). Cependant, aucune étude d'intervention diététique n'a, à notre connaissance, été rapportée pour la population de femmes enceintes françaises. Il apparaît donc important de mettre en place des interventions diététiques visant à améliorer l'alimentation des femmes enceintes en France.

L'objectif de cette thèse est d'étudier les différents aspects de la nutrition pendant la grossesse puis d'élaborer et d'évaluer une méthode dynamique et guidée pas-à-pas proposant des conseils alimentaires personnalisés visant à améliorer l'adéquation nutritionnelle des régimes des femmes enceintes en France.

Ce manuscrit présente dans un premier chapitre, une introduction bibliographique composée de quatre parties présentant (1) l'importance de la satisfaction des besoins nutritionnels accrus pendant la grossesse, (2) le statut nutritionnel des femmes enceintes dans les pays développés avec une attention plus spécifique pour la France, (3) le comportement alimentaire pendant la grossesse : ses modifications et ses déterminants et (4) les interventions proposant des conseils alimentaires à des femmes enceintes. Dans un second chapitre, les travaux effectués durant cette thèse sont exposés avec une première partie justifiant les différentes études menées et une seconde partie présentant les méthodes employées et résultats obtenus lors de six travaux personnels publiés ou destinés à l'être. Enfin, dans une troisième partie, les résultats précédemment présentés sont résumés et discutés au vu de la littérature et des perspectives à ce travail sont proposées.

CHAPITRE I

-

INTRODUCTION BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction bibliographique

1. Les besoins nutritionnels pendant la grossesse : accroissement, relations avec la santé et définition de recommandations

1.1. La grossesse, une période physiologique spécifique marquée par un accroissement des besoins nutritionnels

La grossesse est une période spécifique de la vie d'une femme, se déroulant de la fécondation à l'accouchement et durant laquelle l'embryon, puis le fœtus se développe dans l'utérus maternel (Larousse, 2016). Elle s'accompagne, chez une très large majorité de femmes, d'une prise de poids nécessaire au développement des composantes dites « de conception » : le fœtus, le placenta et le liquide amniotique, ainsi qu'à l'accroissement des tissus de la mère (Institute of Medicine, 1990).

Ainsi, durant cette période où l'organisme est dans un état dynamique d'anabolisme, la dépense énergétique totale de la mère est augmentée en comparaison avec une femme en âge de procréer n'étant pas enceinte (**Figure 1**).

Des trois composantes de la dépense énergétique totale, ni la thermogénèse alimentaire, ni la dépense énergétique liée à l'activité physique lors de la grossesse ne sont modifiées (Forsum et Löf, 2007; Prentice *et al.*, 1996). L'augmentation de la dépense énergétique totale chez la femme enceinte est majoritairement due à l'augmentation du métabolisme basal et à l'apparition d'une quatrième composante spécifique à la grossesse : la dépense énergétique liée à la rétention de lipides et de protéines chez la mère et le fœtus (Forsum et Löf, 2007). Le fort accroissement du métabolisme basal est le résultat de l'accélération de la synthèse de nouveaux tissus, de l'augmentation de la masse de tissus actifs ainsi que de l'augmentation de l'activité cardiovasculaire, respiratoire et rénale (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2013; FAO/WHO/UNU, 2004). Les besoins énergétiques sont donc globalement accrus lors de la grossesse, même si l'ensemble des études incluses dans l'établissement des recommandations par les autorités de santé publique s'accordent sur de fortes variabilités inter et intra-individuelles en fonction de l'avancée de grossesse (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2013; FAO/WHO/UNU, 2004).

L'augmentation des besoins énergétiques liée à l'augmentation de l'activité métabolique de la femme enceinte sous-tend une augmentation des besoins en macronutriments énergétiques. Cependant, les processus métaboliques de développement des composantes dites « de conception » et des tissus de la mère entraînent également un accroissement d'une très grande majorité des besoins en vitamines et minéraux (Bresson et Rey, 2001; Institute of Medicine, 1990). Le plus souvent, cet accroissement s'accroît avec l'avancée de la grossesse et le développement des tissus et du fœtus. Les exemples des besoins en protéines et en fer illustrent bien ce phénomène.

Dans le cas des protéines, même si les chiffres varient selon les études, il est désormais admis que l'accrétion protéique ne se fait pas uniformément au cours de la grossesse. Elle augmente tout au long de la grossesse avec un maximum atteint lors du troisième trimestre, ce qui implique une augmentation du besoin protéique selon les trimestres de grossesse (AFSSA, 2007; EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2012).

Il en est de même pour le fer, pour lequel les multiples études et revues indiquent que les besoins de l'organisme augmentent de manière exponentielle durant la grossesse, au même rythme que le développement du fœtus (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2015b).

Par ailleurs, il convient de noter que l'ampleur de l'augmentation des besoins est variable selon chaque nutriment et selon le stade de la grossesse en fonction de leur implication dans les processus de développement du fœtus et d'accroissement des tissus de la mère (**Figure 2**, Gernand *et al.*, 2016). Dès les premières semaines de grossesse (SG), un nouvel organe endocrine, le placenta se développe affectant le métabolisme de tous les nutriments (King, 2000). Ainsi, les besoins en une majorité de nutriments, ayant une importance capitale dans le développement du placenta, se trouvent accrus au premier trimestre.

À titre d'exemples, les vitamines C et E, ayant une activité anti-oxydante, interviennent en tout début de grossesse, lors de la vascularisation du placenta qui génère un stress oxydatif et nécessite donc leur intervention (Gernand *et al.*, 2016).

De même, les folates sont impliqués dans les processus d'implantation du fœtus et leur transfert vers le placenta se met en place dès le premier trimestre. En effet, leur rôle de cofacteurs ou de cosubstrats dans les réactions métaboliques de transfert du carbone étant cruciales pour les mécanismes de réplication et de synthèse de l'ADN et de l'ARN, de conversion des acides aminés et de méthylation, en font un nutriment-clé du bon déroulement de la grossesse et du développement du fœtus dès le début de la grossesse (Gernand *et al.*, 2016; Tamura *et al.*, 2010).

Ainsi, on constate que l'ensemble des changements physiologiques qui interviennent lors de la grossesse ont un impact sur les besoins nutritionnels de l'organisme, qui développe alors des adaptations homéostatiques (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2013; FAO/WHO/UNU, 2004; Gernand *et al.*, 2016; Institute of Medicine, 1990; King, 2000). En effet, afin de satisfaire la demande fœtale en certains nutriments, l'organisme peut s'adapter par différents mécanismes : la mobilisation des réserves, l'augmentation de l'absorption, la diminution de l'excrétion urinaire ou la diminution du renouvellement (« *turn-over* ») (Institute of Medicine, 1990). L'augmentation de l'absorption est un mécanisme observé pour de nombreux micronutriments, qui a par exemple été bien caractérisé pour le calcium dont l'absorption intestinale est connue pour être doublée dès la douzième semaine de grossesse (SG) (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2015a; Kovacs, 2016). Ces mécanismes pouvant se cumuler pour un même nutriment et étant variable selon le stade de la grossesse, il n'est pas toujours évident d'évaluer leur ampleur et de les prendre en considération lors de la définition des recommandations nutritionnelles.

1.2. Les relations entre l'alimentation pendant la grossesse et la santé de la mère, de l'enfant à naître et du futur adulte

Si pour une grande majorité des nutriments, les besoins nutritionnels augmentent au cours de la grossesse, de nombreuses études ont démontré que les apports en certains nutriments à des stades spécifiques de la grossesse, voire même lors de la période préconceptionnelle, peuvent avoir un impact sur les issues de la grossesse, la santé de la mère, du fœtus et de l'enfant à naître (Abu-Saad et Fraser, 2010; De-Regil *et al.*, 2016; Gernand *et al.*, 2016). Des paramètres de santé aussi divers que le développement d'une pré-éclampsie ou d'une résistance à l'insuline chez la mère, l'apparition d'anomalies congénitales chez le fœtus ou d'un retard de développement cognitif chez l'enfant, ayant été associés à la malnutrition maternelle (**Figure 3**, Wu *et al.*, 2012), les deux paragraphes suivants présenteront quelques exemples illustrant ces associations.

1.2.1. Effets de l'alimentation maternelle sur la santé de la mère et les issues de grossesse maternelles

Sont qualifiées d' « issues de grossesse », les résultantes d'un événement de fertilisation, incluant la naissance d'un enfant vivant (à terme ou prématuré), la naissance d'un enfant mort-né, l'avortement spontané et l'avortement induit (Nature, 2017).

L'alimentation de la mère ayant de multiples effets sur ses paramètres de santé, a également une influence sur les issues de grossesse. Par ailleurs, le développement de certaines pathologies pendant la grossesse dont l'exposition à un ou plusieurs stress nutritionnels est un facteur de risque peut avoir des effets à court et à long-terme sur la santé de la mère.

L'exemple du développement d'une pré-éclampsie pendant la grossesse illustre bien ce propos. La pré-éclampsie est caractérisée par une élévation de la pression artérielle se produisant au plus tôt au milieu du second trimestre. En France, elle est responsable d'un tiers de naissances de grands prématurés et est une cause majeure de retard de croissance intra-utérin. Elle est également la deuxième cause de décès maternels (Vaiman, 2013). Il a été montré que le statut en vitamine D à divers stades de la grossesse, notamment lors de la placentation, était associé à une diminution du risque de pré-éclampsie (Achkar *et al.*, 2015; Bodnar *et al.*, 2014; Tabesh *et al.*, 2013). La plupart de ces études utilise le niveau de 25hydroxy-vitamine D dans le sérum comme biomarqueur du statut en vitamine D. Cependant, les apports en vitamine D ont pu être évalués dans certaines études. Ainsi, dans une étude de cohorte norvégienne, il a été montré qu'un apport total (combinant alimentation et supplémentation) en vitamine D compris entre 15 et 20 µg diminue le risque de pré-éclampsie de 23 % en comparaison avec des apports inférieurs à 5 µg (Haugen *et al.*, 2009; Meltzer *et al.*, 2011). Des apports en vitamine D adéquats pourraient donc permettre de réduire le risque de pré-éclampsie et ainsi diminuer le risque de certaines issues de grossesse défavorables telles que la prématurité ou le petit poids de naissance. Sachant que le développement d'une pré-éclampsie pendant la grossesse est un facteur de risque pour le développement d'une hypertension ou l'apparition de dysfonctions rénales après la grossesse (Suzuki *et al.*, 2008), cela permettrait également d'améliorer la santé de la mère durant la grossesse et au-delà.

1.2.2. Effets de l'alimentation maternelle sur la santé de l'enfant et du futur adulte

Les années 80 ont été marquées par l'apparition du concept des origines développementales de la santé et des maladies (ou DOHaD pour « Developmental Origin of Health and Diseases ») initié par Barker (Barker, 1992; Barker, 2003). Cette théorie unifie les diverses recherches mettant en évidence l'existence de relations entre les expositions dès la vie intra-utérine et la mortalité ou le développement de maladies chroniques (Charles et Junien, 2012). De nombreuses études ont été menées dans le cadre de cette théorie permettant ainsi un enrichissement continu des connaissances entre exposition fœtale et santé de l'enfant tout au long de sa vie.

L'étude de l'exposition à des déficiences ou des excès en certains nutriments à divers stades de développement fœtal a permis de mettre en évidence leur importance cruciale pour la bonne santé de l'enfant. Il est désormais admis que les phases précoces du développement intra-utérin font partie des phases critiques durant lesquelles s'établissent les prédispositions à de nombreuses maladies chroniques, bien que celles-ci ne se révèlent que dans le cas où un environnement et/ou un mode de vie au cours de l'enfance, de l'adolescence ou à l'âge adulte y soient propices. L'exposition à un stress nutritionnel lors du développement intra-utérin a un impact sur la programmation génétique du fœtus et les modifications induites peuvent être délétères et se révéler tout au long de la vie (Charles et Junien, 2012). Il est établi qu'il existe des relations entre les apports nutritionnels durant la grossesse et, notamment, la composition corporelle, le bon fonctionnement de divers organes (reins, poumons, cœur...), le développement cognitif et l'apparition de diabète, de maladies cardio-vasculaires ou de cancers (Christian et Stewart, 2010; Pasternak *et al.*, 2013). Si les premières recherches dans le cadre du DOHaD ont porté sur les déficiences nutritionnelles, l'augmentation actuelle de la prévalence mondiale de l'obésité a ouvert de nouvelles pistes d'investigation, mettant ainsi en évidence que la surnutrition autant que la sous-nutrition de la mère et donc du fœtus ont des impacts sur la santé de l'enfant (Pasternak *et al.*, 2013).

Deux exemples d'impact d'apports nutritionnels inadéquats de la mère sur la santé de l'enfant peuvent être présentés : l'un portant sur une déficience d'apports et l'autre sur un excès d'apports. D'une part, une déficience maternelle légère ou modérée en iode (définie par une iodurie comprise entre 50 et 100 µg/jour), comme cela a pu être observé dans diverses études régionales en France (Caron, 2015), a été associée à une hypothyroïdie ou une hypothyroxinémie maternelle pouvant entraîner des retards de développement moteur et cognitif de l'enfant (Caron, 2015; Pearce *et al.*, 2016).

Ainsi, une déficience modérée en iode durant la grossesse a, notamment, pu être associée à une réduction du quotient intellectuel verbal à l'âge de huit ans et des capacités de compréhension et de justesse dans la lecture à l'âge de neuf ans (Bath *et al.*, 2013; Rayman et Bath, 2015).

D'autre part, une obésité de la mère, caractérisée par des apports énergétiques excessifs et un régime riche en lipides et en sucres, entraîne une augmentation de la masse grasse chez l'enfant à divers âges et le prédispose au développement d'une obésité durant l'enfance et à l'âge adulte et au développement d'un syndrome métabolique (**Figure 4**, Ojha *et al.*, 2013). Une étude récente menée aux États-Unis sur une cohorte de 389 dyades mère-enfant a évalué les apports alimentaires maternels entre 26 et 29 SG pour les mettre en relation avec le poids de naissance de l'enfant et sa croissance (mesurée par le rapport Indice de Masse Corporelle (IMC) sur âge) à six mois, un an et trois ans (Martin *et al.*, 2016). Il a été démontré que les enfants de mère ayant eu un régime alimentaire moins sain, caractérisé par une consommation importante de pain blanc, de viande rouge et transformée, de poulet frit, de frites et de boissons riches en vitamine C, présentaient des poids de naissance plus faibles et une croissance beaucoup plus rapide jusqu'à l'âge de trois ans que les enfants de mère ayant eu un régime alimentaire plus sain, caractérisé par une consommation importante de fruits et légumes, de pain complet, de produits laitiers faibles en matières grasses, de poulet non frit et d'eau. En l'absence d'ajustement pour des facteurs de confusion, les enfants de mère ayant un régime alimentaire moins sain présentaient un risque de surpoids et d'obésité accru de 83 % à l'âge de trois ans, ce qui constitue un facteur de risque de développer une obésité à l'âge adulte (Martin *et al.*, 2016).

1.3. Définition de recommandations nutritionnelles spécifiques à la grossesse

Nous avons vu que la grossesse est une période d'anabolisme dynamique marquée par l'accroissement des besoins nutritionnels et que l'alimentation de la mère a un impact sur sa propre santé et celle du fœtus puis de l'enfant jusque dans sa vie adulte. Cela justifie donc la définition de recommandations nutritionnelles adaptées permettant que la grossesse aboutisse à la naissance à terme d'un enfant en bonne santé, de taille et de composition corporelle adéquates par une mère dont le poids, la composition corporelle et l'activité physique sont de nature à permettre son bien-être et sa bonne santé sur le long terme (FAO/WHO/UNU, 2004).

Les besoins nutritionnels de l'organisme lors de la grossesse sont définis, au même titre que dans la population adulte, soit par la méthode factorielle, soit par la méthode du bilan, soit par l'approche épidémiologique, parfois enrichies par l'utilisation de la mesure du renouvellement (« *turn-over* ») pour évaluer les dynamiques d'échanges entre la mère et le fœtus (Institute of Medicine, 1990). Chacune de ces méthodes présente des limites qui doivent être prises en compte lors de la définition des recommandations nutritionnelles spécifiques à la grossesse par les agences de santé publique, en fonction de l'objectif (maintien des réserves de la mère, association avec un paramètre évaluant la santé du nouveau-né) et de la population visée (connue pour présenter ou non une déficience initiale en ce nutriment).

Afin que les recommandations nutritionnelles pour les apports alimentaires lors de la grossesse ne soient pas excessives, il convient que les études ayant permis de déterminer les besoins aient été effectuées auprès de femmes bien nourries, ayant débuté leur grossesse avec un statut nutritionnel correct et ayant donné naissance à un enfant en bonne santé (King, 2000). Il convient également de prendre en considération les mécanismes d'adaptation dont l'organisme fait preuve.

Afin d'illustrer plus précisément ces différents points, les sections suivantes détailleront la définition des recommandations nutritionnelles dans le cas de quatre nutriments ayant été identifiés comme clés pendant la grossesse : un macronutriment énergétique : les protéines ; une vitamine : les folates ; et deux minéraux : le fer et l'iode. Afin de rester au plus proche du contexte de cette thèse, les recommandations présentées ci-dessous seront prioritairement celles établies pour la France [par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) ou anciennement l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA)] et celles établies plus récemment pour l'Europe [par l'Autorité Européenne de Sécurité Alimentaire (EFSA)]. Elles pourront être discutées en étant mises en parallèle avec celles établies pour d'autres pays européens et pour les États-Unis et le Canada [par l'Institut de Médecine (IoM)] et celles établies au niveau mondial [par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)].

1.3.1. Les protéines

Comme cela a été présenté précédemment, la croissance des tissus de la mère et le développement du fœtus nécessitent un dépôt protéique croissant au cours de la grossesse (**Figure 5**, Butte et King, 2005; Hytten et Chamberlain, 1990), entraînant des besoins en protéines croissants. Ainsi, les recommandations d'apports en protéines durant la grossesse doivent considérer, en plus des apports définis pour la femme en âge de procréer, les apports nécessaires au dépôt de protéines dans les tissus nouvellement formés et en cours de développement et ceux nécessaires au renouvellement des protéines pour un poids supérieur de la mère, tout en tenant compte de l'efficacité d'utilisation des protéines par l'organisme. Différentes méthodes ont été employées afin de définir les besoins protéiques puis les recommandations d'apport protéique à différents stades de la grossesse : le bilan azoté, la méthode factorielle, l'étude du renouvellement protéique et les études épidémiologiques (Institute of Medicine, 1990).

Afin d'établir les recommandations d'apports en protéines, les différentes agences de santé publique s'appuient, désormais majoritairement, sur les études employant la méthode factorielle, plus adaptée à une période d'anabolisme et de croissance comme la grossesse (AFSSA, 2007; EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2012; WHO/FAO/UNU, 2007). Cette méthode choisie lors de la consultation du groupe d'experts de l'OMS et de la FAO a été également reprise par le groupe scientifique sur les produits diététiques, la nutrition et les allergies de l'EFSA.

Premièrement, l'apport protéique supplémentaire nécessaire par trimestre pour le renouvellement protéique en fonction de la prise de poids à mi-trimestre et de la valeur déterminée chez l'adulte (0,66 g/kg de poids corporel/jour) a été évalué (colonne « *Additional protein for maintenance* », **Tableau 1**). Il est de 0,5, 3,2 et 7,3 g/j respectivement pour le premier, le deuxième et le troisième trimestre de grossesse. Deuxièmement, les taux d'accrétion protéique (colonne « *Protein deposition* », **Tableau 1**) ont été déterminés à partir d'une étude de Butte *et al.* durant laquelle l'accrétion protéique avait été estimée indirectement à partir des mesures répétées de l'accrétion potassique totale à chaque trimestre de grossesse (Butte *et al.*, 2003). Ces taux ont été évalués à 0, 1,9 et 7,4 g/j respectivement pour le premier, le deuxième et le troisième trimestre de grossesse pour une prise de poids moyenne de 13,8 kg chez une femme ayant un IMC pré-grossesse normal (soit la médiane de la fourchette de prise de poids recommandée pendant la grossesse pour des femmes ayant un IMC pré-grossesse normal).

Troisièmement, l'apport protéique lié à l'accrétion a été ajusté pour l'efficacité d'utilisation des protéines alimentaires (colonne « *Protein deposition, adjusted for efficiency* », **Tableau 1**). La valeur retenue par le groupe scientifique de l'EFSA pour l'efficacité d'utilisation des protéines alimentaires pendant la grossesse (soit 47 %, comme pour la population adulte) diffère de celle retenue par le groupe scientifique de l'OMS et la FAO (soit 42 %, inférieure à celle pour la population adulte) (WHO/FAO/UNU, 2007), même si les deux valeurs sont proches. En effet, quelques données issues d'études chez des adolescentes enceintes semblent suggérer que l'efficacité d'utilisation protéique serait légèrement inférieure pendant la grossesse, mais en l'absence de données robustes établies pour des femmes enceintes adultes, le groupe scientifique de l'EFSA considère qu'il n'est pas nécessaire de modifier la valeur utilisée pour la population de femmes non enceintes (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2012).

Ainsi, en sommant la quantité de protéines nécessaire au renouvellement protéique pour le poids de grossesse et la quantité nécessaire pour l'accrétion protéique ajustée par l'efficacité d'utilisation de 47 %, le groupe scientifique de l'EFSA obtient un besoin nutritionnel moyen (BNM^{*1}) en protéines supplémentaire pendant la grossesse (colonne « *Additional protein requirement* », **Tableau 1**) de 0,5, 7,2 et 23 g/j respectivement pour le premier, le deuxième et le troisième trimestre de grossesse. En utilisant, un coefficient de variation interindividuelle de 12 % pour dériver l'apport nutritionnel conseillé (ANC*) en protéines supplémentaire pendant la grossesse (colonne « *PRI*, additional intake* », **Tableau 1**), celui-ci est établi à 1, 9 et 28 g/j respectivement pour le premier, le deuxième et le troisième trimestre de grossesse (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2012). Il convient de noter que cet apport doit s'ajouter à l'ANC* défini chez la femme adulte non enceinte par la méthode du bilan azoté.

Les valeurs proposées par l'AFSSA en 2001 et revues en 2007 (AFSSA, 2001; AFSSA, 2007) sont légèrement plus faibles (ANC* croissants selon les trimestres compris entre 0,8 et 1,0 g/kg de poids corporel en utilisant un coefficient de variation interindividuelle de 12,5 %) que celles de l'EFSA. Ces valeurs s'appuient sur le travail qui avait été mené par le groupe d'experts lors d'une précédente consultation OMS/FAO/UNU en 1985 et qui prenait notamment en compte une efficacité d'utilisation des protéines alimentaires de 70 %, une valeur toujours utilisée par d'autres agences de santé publique en Europe (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2012).

¹ Les sigles marqués d'un astérisque (*) sont définis en annexe.

Par ailleurs, il convient également de comparer les recommandations aux apports observés ; or, les apports protéiques étant plus que satisfaisants dans la population adulte française (1,4 g/kg de poids corporel/j en moyenne selon l'étude Individuelle Nationale sur les Consommations Alimentaires menée en 1998-1999 (INCA1) sans distinction de sexe et d'âge), l'AFSSA considère que proposer un apport supplémentaire trop important pendant la grossesse ne contribuerait pas à une meilleure croissance fœtale et n'est donc pas nécessaire (AFSSA, 2007).

Ces différentes comparaisons permettent d'illustrer les difficultés rencontrées lors de la définition des recommandations nutritionnelles en fonction des études prises en compte, de la population visée et de la date à laquelle ces dernières sont définies.

1.3.2. Le fer

Nous avons vu précédemment que les besoins en fer augmentent de manière exponentielle au rythme de la croissance du fœtus. La valeur définie pour les besoins en fer pour l'ensemble de la grossesse est comprise entre 800 mg et 1 040 mg selon les agences de santé publique, les études retenues et les prérequis établis pour les réserves maternelles de fer disponibles. Selon la valeur retenue par le groupe scientifique de l'EFSA, une grossesse simple nécessite au total, 835 mg de fer. Cette quantité, estimée par la méthode factorielle, se répartit entre les pertes basales (300 mg), le développement du fœtus (270 mg), du placenta et du cordon ombilical (90 mg) et les pertes sanguines lors de l'accouchement (175 mg).

Durant le premier trimestre de grossesse, le besoin en fer n'est dû qu'aux pertes basales. Il est bien supérieur lors des deuxième et troisième trimestres de grossesse, marqués par un développement fœtal plus important, une augmentation du volume sanguin et plasmatique de la mère et une augmentation de la masse érythrocytaire, avec un maximum atteint lors des six dernières SG en vue de l'accouchement imminent (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2015b). Cependant, pour répondre à une demande si importante, l'organisme met en place plusieurs mécanismes d'adaptation : la mobilisation des réserves de la mère, la facilitation du transfert du fer vers le placenta par l'augmentation de la sialylation de la transferrine et l'augmentation de l'absorption.

Concernant la dernière adaptation, une étude d'isotopie menée par Barrett *et al.* en 1994 a permis de déterminer les taux d'absorption du fer non héminique à partir de l'ingestion de fer non héminique (marqué avec des isotopes stables du fer) par 12 femmes enceintes à trois stades de la grossesse (12, 24 et 36 SG). Ces femmes devaient consommer pendant les trois jours précédant l'évaluation de l'absorption un régime contenant 9 mg de fer non héminique et 4 mg de fer héminique. Ainsi, à partir de dosages des isotopes du fer non héminique, les taux d'absorption du fer non héminique (moyennes géométriques) à 12, 24 et 36 SG ont été évalués, respectivement à 7,2 %, 36,3 % et 66,1 % (Barrett *et al.*, 1994). Concernant le fer héminique, en l'absence de données fiables établies lors de la grossesse, le groupe scientifique de l'EFSA considère que son absorption est la même que chez les femmes non enceintes, soit 25 %, et cela quel que soit le trimestre de grossesse. À partir de ces observations, il a été possible de calculer, à partir d'une quantité journalière de fer ingérée de 13 mg (4 mg de fer héminique et 9 mg de fer non héminique), la quantité de fer absorbée durant l'ensemble de la grossesse (**Tableau 2**). Trois périodes ont été définies en fonction de la croissance du fœtus (faible de 0 à 23 SG et plus importante de 24 à 35 SG) et de la préparation de l'accouchement (36 à 40 SG). Pour chaque période, en tenant compte des taux d'absorption présentés précédemment, les quantités de fer absorbées sont respectivement de 265, 358 et 243 mg, soit un total de 866 mg de fer absorbé sur l'ensemble de la grossesse. Cela serait donc suffisant pour couvrir le besoin évalué à 835 mg. Cela serait d'autant plus suffisant si on considère que les réserves de fer hépatiques mobilisées pendant la grossesse sont d'environ 120 mg (soit 715 mg qui doivent être apportées par l'alimentation). Ainsi, cet accroissement de l'absorption du fer au cours de la grossesse pourrait permettre, chez des femmes ayant une alimentation variée et équilibrée, de faire face à l'accroissement des besoins. Cependant, il convient de noter que l'absorption du fer dans l'étude de Barrett *et al.* a pu être surestimée à cause de la présence de vitamine C (sous forme de jus d'orange) dans le repas-test et que les réserves de fer hépatique initiales n'étaient pas prises en compte.

Cette approche a pu être comparée avec celle proposée par Dainty *et al.* qui considérait les relations entre la concentration en ferritine sérique et l'efficacité d'absorption du fer pour déterminer les recommandations nutritionnelles à proposer pour deux périodes de grossesse : 0 – 23 semaines (30 µg/L de ferritine sérique correspondant à 18 % d'absorption du fer) et 24 – 40 semaines (30 µg/L de ferritine sérique correspondant à 31 % d'absorption du fer) (Dainty *et al.*, 2014).

En utilisant les valeurs issues des calculs de cette étude, les ANC* seraient ainsi de 18,3 mg/j et de 15,7 mg/j pour ces deux périodes, en prenant en compte une variabilité interindividuelle du besoin de 20 % et en considérant une mobilisation des réserves hépatiques à hauteur de 120 mg sur l'ensemble de la grossesse. Il convient de noter que ces valeurs ont été définies pour des femmes en âge de procréer et n'ont pas été validées pour les femmes enceintes, cependant les mécanismes régulateurs restant les mêmes avant et pendant la grossesse, cette approche peut être considérée comme valable. Ces résultats confirment ceux basés sur l'étude d'isotopie de Barrett *et al.*, selon lesquels une alimentation variée et équilibrée serait suffisante pour couvrir les besoins en fer lors de la grossesse sans qu'il n'y ait nécessité d'établir une recommandation pour un apport de fer supplémentaire, à condition que les réserves initiales soient suffisantes. Ainsi, en considérant que la recommandation fixée à 16 mg/j pour les femmes en âge de procréer est suffisante, l'EFSA n'établit pas de recommandation pour un apport alimentaire en fer supérieur pendant la grossesse.

En 2001, l'AFSSA avait abouti à la même conclusion pour les deux premiers trimestres de grossesse mais avait cependant établi un ANC* à 30 mg/j pour le troisième trimestre. Cependant, celui-ci n'étant pas atteignable par l'alimentation seule, une supplémentation était recommandée (Bresson et Rey, 2001).

1.3.3. L'iode

Comme expliqué dans le paragraphe précédent, l'iode a été identifié comme un nutriment-clé lors de la grossesse (Caron, 2015; Glinioer, 2007). Cependant, le groupe scientifique de l'EFSA, considère qu'aucune étude de bonne qualité mettant en évidence une relation dose-réponse entre les apports maternels en iode et le bon déroulement de la grossesse et/ou la santé de l'enfant, ne peut être utilisée pour déterminer une recommandation d'apport en iode (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2014b). Ainsi, la valeur proposée est dérivée de l'utilisation de biomarqueurs chez l'adulte (apport nécessaire pour maintenir une excrétion urinaire de 100 µg/L, associée à une faible prévalence du goitre) puis de la méthode factorielle pour tenir compte des besoins supplémentaires en iode engendrés par la grossesse.

La quantité d'iode nécessaire au développement du fœtus et du placenta est très faible. Les quantités d'iode déposées dans le placenta (18 à 100 µg selon les apports de la mère), dans le liquide amniotique (15 µg) et dans la thyroïde (100 à 300 µg) et le sang (10 µg) du fœtus durant toute la grossesse correspondent à un transfert de 1 µg par jour de la mère vers l'enfant par l'intermédiaire du placenta. Ainsi, lors de la grossesse, l'accroissement des besoins en iode est majoritairement dû à l'augmentation de la production d'hormones thyroïdiennes de la mère, puis à la production des hormones thyroïdiennes chez le fœtus.

Des données obtenues chez des femmes sous traitement par la T4 montrent qu'il est nécessaire d'augmenter les doses de thyroxine de 40 à 60 µg/j durant la grossesse pour équilibrer leur traitement, ce qui correspond à une accumulation supplémentaire d'iode de 20 à 29 µg en considérant que l'iode représente 65 % de la T4 et en tenant compte d'une biodisponibilité de 75 % de cette hormone. À partir de cette estimation et en utilisant des équations proposées par Fisher et Oddie pour relier l'accumulation d'iode dans la thyroïde et son excrétion urinaire chez l'adulte (Fisher et Oddie, 1969), le groupe scientifique de l'EFSA conclut à la nécessité d'un apport supplémentaire en iode de 44 µg/j. Enfin, en tenant compte d'une synthèse d'hormones thyroïdiennes par le fœtus d'environ de 2 à 4 µg/j, l'apport supplémentaire en iode nécessaire pendant la grossesse est évalué à 50 µg/j. Sachant que l'apport nutritionnel adéquat en iode chez l'adulte est de 150 µg/j, l'apport nutritionnel adéquat en iode durant la grossesse est donc estimé à 200 µg/j (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2014b).

Cette valeur est en accord avec celle proposée par l'AFSSA pour la population française (AFSSA, 2001), mais diffère de celle proposée par l'OMS. En effet, depuis 2007, l'OMS a conclu à la nécessité d'un apport de 250 µg/j, donc encore supérieur de 50 µg/j, en prenant en compte les résultats d'études montrant des associations entre des apports en iode insuffisants et des altérations du développement du cerveau et de l'apparition de dysfonctionnements de la thyroïde chez l'enfant (WHO Secretariat *et al.*, 2007). Cependant, cette estimation est conservatrice et vise à être une référence pour des pays en voie de développement dans lesquels on observe des déficiences sévères en iode. Il ne paraît donc pas nécessaire de proposer une valeur plus importante que 200 µg/j pour les pays européens. Une supplémentation est par contre recommandée dans des régions où la déficience en iode est forte ou pour des femmes présentant une déficience (Bath *et al.*, 2013; Caron, 2015; EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2014b).

1.3.4. Les folates

Comme présenté dans le paragraphe précédent, étant donné l'implication des folates dans le métabolisme monocarboné, des apports en folates adéquats sont d'une importance critique pendant la grossesse et cela dès son commencement. Durant la grossesse, les besoins en folates sont fortement accrus pour permettre la croissance du fœtus et des tissus de la mère ainsi que leur transfert actif vers le fœtus par l'intermédiaire du placenta. À la différence des protéines, du fer et de l'iode, les recommandations d'apports en folates durant la grossesse sont définies à l'aide de biomarqueurs par plusieurs agences de santé publique (AFSSA, 2001; EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2014a; Food and Nutrition Board : Institute of Medicine, 2006).

Le groupe scientifique de l'EFSA considère que les apports en folates lors de la grossesse doivent être suffisants pour maintenir des concentrations en folates sériques (marqueurs de l'apport en folates à court terme) et érythrocytaires (marqueurs du statut en folates à long terme) respectivement supérieures à 6,8 nmol/L et 417 nmol/L (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2014a).

Ainsi, le groupe scientifique s'appuie sur une étude métabolique durant laquelle 12 femmes enceintes (14 SG) et 12 femmes non enceintes en âge de procréer (18 – 35 ans) ont été réparties aléatoirement en quatre groupes avec deux niveaux pour deux facteurs (stade physiologique et apports en folates). Chaque groupe consommait 120 µg de folates alimentaires et était supplémenté avec 330 µg ou 730 µg d'acide folique chaque jour pendant douze semaines. Chaque semaine, des prélèvements sanguins et urinaires étaient effectués. Après habitude aux apports en folates et atteinte d'un état stationnaire, les concentrations en folates sériques et érythrocytaires dans chacun des groupes étaient supérieures aux valeurs fixées comme seuils pour la déficience en folates (Caudill *et al.*, 1997). Ainsi, le groupe scientifique de l'EFSA n'a considéré que les deux groupes ayant reçu la dose de folates la plus faible. Après douze semaines de suivi, les concentrations en folates sériques étaient similaires quel que soit le stade physiologique (27 ± 9 nmol/L pour le groupe de femmes enceintes et 26 ± 11 nmol/L pour le groupe de femmes non enceintes). Les concentrations en folates érythrocytaires sont quant à elles restées constantes tout au long de l'étude et n'étaient pas différentes selon le stade physiologique (1453 ± 252 nmol/L pour le groupe de femmes enceintes et 1000 ± 387 nmol/L pour le groupe de femmes non enceintes à l'issue des douze semaines de suivi).

Des apports de 120 µg de folates alimentaires et 330 µg d'acide folique, soit 680 µg d'équivalents folates alimentaires en tenant compte d'un facteur d'équivalence de 1,7 µg de folates par µg d'acide folique, sont donc suffisants pour maintenir un statut en folates plus que satisfaisant pendant la période de 14 à 25 SG. Par ailleurs, quatre femmes enceintes de l'étude ont été suivies pendant leur troisième trimestre de grossesse, durant lequel elles ont reçu une supplémentation journalière en acide folique de 200 µg et ont eu des apports moyens en folates alimentaires d'environ 293 µg (non contrôlés comme lors du suivi au second trimestre), soit environ 630 µg d'équivalents folates alimentaires. Cet apport en folates a permis de maintenir un statut en folates plus que satisfaisant. Des apports en équivalents folates de 630 à 680 µg sont donc plus que suffisants pour maintenir un statut en folates suffisant pendant la grossesse (Caudill *et al.*, 1997).

En l'absence d'autres études robustes employant des doses plus faibles, le groupe scientifique de l'EFSA considère qu'une recommandation ne peut pas être établie, mais estime qu'un apport de 600 µg est suffisant pour maintenir le statut en folates durant la grossesse et peut constituer un apport satisfaisant (AS*) (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2014a).

Cependant, on constate une grande disparité dans les valeurs proposées par chaque agence de santé publique pour la recommandation d'apports en folates (jusqu'à un facteur 2 entre les valeurs proposées par l'OMS, l'EFSA et l'IoM et celle proposée pour le Royaume-Uni par le Comité sur les aspects médicaux de l'alimentation et la politique nutritionnelle). En effet, certaines de ces agences, y compris l'AFSSA en 2001, se basent sur des études antérieures à celle de Caudill *et al.* et considèrent que 100 µg de folates supplémentaires par rapport aux recommandations chez l'adulte sont suffisants pour maintenir le statut en folates pendant la grossesse (**Tableau 3**).

Par ailleurs, l'association d'apports inadéquats en folates avec les anomalies de fermeture du tube neural chez le fœtus fait partie des relations entre apports nutritionnels et santé de la mère et de l'enfant les plus anciennement et mieux connues (Tamura *et al.*, 2010). Cependant, la fermeture du tube neural se déroulant dans les quatre premières SG et le niveau de preuve des études concernant la dose nécessaire pour une réduction des risques d'anomalies de fermeture du tube neural par la supplémentation en acide folique étant trop faible, ces données ne peuvent pas être utilisées pour définir la recommandation d'apport en folates durant la grossesse (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2014a). Cependant, et comme de nombreuses autres agences de santé publique (Vidailhet *et al.*, 2008; WHO, 2016), le groupe scientifique de l'EFSA recommande une supplémentation en acide folique à hauteur de 400 µg durant la période périconceptionnelle.

Une autre stratégie de prévention consiste en l'enrichissement obligatoire des produits céréaliers en acide folique (Osterhues *et al.*, 2013). Cette stratégie a permis de réduire la prévalence de ces malformations congénitales depuis sa mise en place au début des années 90 dans de nombreux pays (notamment les États-Unis, le Canada et l'Australie) même si son efficacité varie selon la dose, la région et les caractéristiques sociodémographiques de la population (Bibbins-Domingo *et al.*, 2017; Obican *et al.*, 2010; Tamura *et al.*, 2010). Il convient de noter, que la supplémentation à trop forte dose chez des femmes bien nourries est controversée, car elle a été mise en relation avec de potentiels effets néfastes chez l'enfant (Smith *et al.*, 2008).

Conclusion partielle

Nous avons vu que la grossesse correspond à un état physiologique spécifique, dynamique et marqué par un fort anabolisme. Les besoins énergétiques et nutritionnels augmentent de manière variable et non nécessairement linéaire selon le nutriment considéré et la période de grossesse. À travers des exemples, nous avons pu montrer que l'apport en un nutriment donné à une période spécifique de la grossesse avait des impacts potentiels sur les issues de grossesse, la santé de la mère et la santé du fœtus et de l'enfant dans sa vie future (y compris à l'âge adulte). Ainsi, la sous et la surnutrition, regroupées sous le terme de malnutrition maternelle, doivent être évitées pour permettre le bon déroulement de la grossesse et assurer une bonne santé à la mère et à l'enfant. Pour cela, des recommandations d'apports nutritionnels doivent être définies par les différentes autorités compétentes, mais cela est complexe lors de cette période particulière, marquée par de profondes modifications hormonales, métaboliques et physiologiques. Les données pour établir des recommandations sont tirées d'études hétéroclites et ne sont pas toujours disponibles pour des femmes enceintes bien nourries. Le statut nutritionnel des populations pour lesquelles les recommandations nutritionnelles pour la grossesse sont définies étant variable, on constate des écarts dans les valeurs définies par différentes agences de santé publique. Enfin, certains besoins nutritionnels de grossesse sont considérés comme inatteignables par l'alimentation seule et les recommandations doivent alors proposer une supplémentation et dissocier apports alimentaires et supplémentation. Cependant, malgré la variabilité et les multiples incertitudes, il est nécessaire de définir des recommandations afin de proposer des politiques publiques adaptées et d'évaluer l'adéquation nutritionnelle des apports des femmes enceintes.

2. Le statut nutritionnel des femmes enceintes

Le statut nutritionnel d'un individu peut être évalué de manière directe, par l'utilisation de biomarqueurs (par exemple : évaluation du statut martial par la détermination des concentrations sanguines en ferritine, en hémoglobine et parfois en fer sérique, évaluation du statut en iode par la détermination de l'iodurie) ou de manière indirecte par la comparaison des apports nutritionnels (déterminés à l'aide de données de consommation) avec les recommandations nutritionnelles définies pour la population. Afin d'évaluer le statut nutritionnel des femmes enceintes, il convient de mener des études spécifiques visant à évaluer certains biomarqueurs et à les comparer aux valeurs de référence pour la grossesse et/ou à évaluer leurs consommations alimentaires afin de les comparer aux recommandations nutritionnelles spécifiques pour la grossesse (ou le trimestre de grossesse) définies au niveau national ou international. Afin de se conformer au sujet défini pour ce travail de thèse, seules les données relatives au statut nutritionnel des femmes enceintes dans les pays développés sont présentées. Une section spécifique présente les données pour la France.

2.1. *Évaluation du statut nutritionnel des femmes enceintes dans les pays développés*

Le contexte nutritionnel actuel des pays développés [ou à revenus élevés, membre de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique (OCDE)] est marqué par la consommation de régimes denses en énergie et en nutriments identifiés comme défavorables (acides gras saturés (AGS), sucres libres...) le plus souvent associée à des apports suboptimaux en vitamines et minéraux (Andrieu *et al.*, 2005; Kant, 2000). Cependant, dans certains cas, les recommandations quant à la supplémentation en certains vitamines et minéraux durant la grossesse permettent de résoudre certain(e)s déficiences et/ou risques de déficiences mais limitent la possibilité d'évaluer si un statut nutritionnel adéquat pourrait être obtenu par l'alimentation seule.

2.1.1. Quelques données sur l'évaluation indirecte du statut nutritionnel des femmes enceintes par l'utilisation de données de consommations alimentaires

Les femmes enceintes sont le plus souvent très peu représentées dans les enquêtes nationales sur l'alimentation (Blumfield *et al.*, 2012). À titre d'exemple, aux États-Unis, on compte 133 femmes enceintes pour 2 957 femmes non enceintes, non allaitantes âgées de 19 à 50 ans examinées dans l'enquête What We Eat In America sur la période 2007 – 2010 (Millen, 2015) ; et au Royaume-Uni, les femmes enceintes ne sont pas incluses dans l'enquête Nationale sur l'Alimentation et la Nutrition (National Diet and Nutrition Survey) (Henderson *et al.*, 2003). Ainsi, afin d'évaluer les apports alimentaires des femmes enceintes dans les pays développés, il est nécessaire de s'appuyer sur des études spécifiques de plus petite envergure n'incluant que des femmes enceintes ou sur les études de cohorte mère-enfant, mais qui ne sont donc, pour la plupart, pas représentatives de la population. En Europe, en 2017, on dénombre 51 cohortes mère-enfant ayant évalué le régime alimentaire de la mère au moins une fois juste avant, pendant ou juste après la grossesse (Birthcohorts.net, 2017).

Une revue systématique et méta-analyse récente a permis d'évaluer l'adéquation des apports en macronutriments des femmes enceintes dans les pays développés (Blumfield *et al.*, 2012). Les études sélectionnées sont au nombre de 90, ce qui correspond à un total de 126 242 femmes enceintes dont les apports en macronutriments ont été évalués au moins une fois pendant la grossesse quelle que soit la méthode d'évaluation des consommations (questionnaire de fréquence alimentaire (QFA), rappels alimentaires de 24h, enregistrement des consommations avec estimation ou pesée, histoire alimentaire). Les données ont été regroupées par région et ont été comparées aux recommandations existantes dans chaque région (**Tableau 4**). La **Figure 6** présente les apports journaliers moyens en protéines, lipides totaux, AGS, acides gras polyinsaturés (AGPI) et acides gras mono-insaturés (AGMI), glucides totaux et fibres des femmes enceintes après regroupement par pays ou par région. Les apports en protéines sont variables selon les régions (autour de 85 g/j pour l'Europe, les États-Unis/Canada et l'Australie/Nouvelle-Zélande, 73 g/j pour le Royaume-Uni et 67 g/j pour le Japon) mais sont adéquats (entre 14,7 et 16,1 % de l'apport énergétique selon la région) par rapport aux recommandations dans la région correspondante.

Les apports journaliers moyens en lipides totaux et en AGS (entre 35 et 37,1 % et entre 11,6 et 16,5 % pour les régions occidentales) sont supérieurs aux recommandations en vigueur alors que les apports en glucides totaux sont assez faibles en comparaison avec les recommandations pour les États-Unis et le Canada, l'Australie et la Nouvelle-Zélande, et le Japon et sont inférieurs aux recommandations en Europe. En ce qui concerne les apports en AGPI, ils sont identifiés comme assez faibles par rapport aux recommandations, mais la méta-analyse n'effectue pas de comparaison suivant le type d'AGPI (n-3 et n-6).

Quelle que soit la région, les apports journaliers moyens en fibres étaient en-dessous des recommandations (apport moyen observé le plus élevé à 22 g/j dans la région Australie/Nouvelle-Zélande), même s'il convient de noter que trois études européennes rapportaient des apports supérieurs à 25 g/j.

Même si les apports observés diffèrent pour un même nutriment selon les régions et les méthodes d'évaluation, on constate de nombreuses inadéquations d'apports en macronutriments chez les femmes enceintes dans les pays développés, en accord avec ce qui est observé dans les échantillons représentatifs de femmes non enceintes adultes dans ces régions (Blumfield *et al.*, 2012).

Depuis 2009 (date de la dernière étude incluse dans la méta-analyse de Blumfield), les apports des femmes enceintes en chacun des principaux AGPI [acide alpha-linolénique (ALA), acide linoléique (LA), acide docosahéxaénoïque (DHA), acide eicosapentaénoïque (EPA)] et en sucres simples (ou en sucres ajoutés ou libres selon les études) ont été évalués dans plusieurs pays développés. Ces études ont révélé que le profil d'apports en AGPI était le plus souvent inadéquat chez les femmes enceintes (Denomme *et al.*, 2005; Hauner *et al.*, 2012; Oken *et al.*, 2004; Sioen *et al.*, 2017) et que les apports en sucres étaient élevés (Borgen *et al.*, 2012; Goletzke *et al.*, 2015; Ley *et al.*, 2011).

Une seconde revue et méta-analyse a été effectuée par la même équipe et selon les mêmes critères, mais pour les apports en micronutriments (Blumfield *et al.*, 2013). Les études sélectionnées sont au nombre de 62, correspondant à un total de 108 733 femmes enceintes. Sur l'ensemble des vitamines et minéraux inclus dans l'analyse (thiamine, riboflavine, niacine, folates, vitamines A, B12, C et D et calcium, fer, magnésium et zinc), les auteurs rapportent des apports journaliers moyens inférieurs aux BNM* pour les folates, la vitamine D et le fer pour toutes les régions, mais pas pour les autres micronutriments (à l'exception de la thiamine pour l'Australie/Nouvelle-Zélande et du magnésium pour le Japon, les États-Unis/Canada et l'Australie/Nouvelle-Zélande).

Certaines des études incluses dans l'analyse précédente ont identifié des inadéquations en d'autres micronutriments.

Par exemple, une étude aux États-Unis a évalué les apports nutritionnels de 63 femmes enceintes issues de classes sociales moyennes et supérieures à l'aide de trois jours d'enregistrement des consommations alimentaires et a mis en évidence que 90 % et 53 % des participantes présentaient un risque que leurs apports en fer et en magnésium soient inférieurs à leur besoin tel qu'évalué par l'IoM (Turner *et al.*, 2003).

Une étude néo-zélandaise a également mis en évidence une très forte prévalence d'une couverture inadéquate des besoins en vitamine D, folates, fer et sélénium chez 196 femmes enceintes dont les apports nutritionnels étaient évalués par 16 jours d'enregistrement des consommations alimentaires par pesée (2 x 8 jours au quatrième et au septième mois de grossesse). Par ailleurs, les besoins en acide pantothénique, vitamine B6, biotine, magnésium et calcium n'étaient pas couverts chez une large majorité des femmes les moins éduquées, fumeuses ou bénéficiant de l'aide sociale (sauf pour le calcium) (Watson et McDonald, 2009).

Dans ces études, l'approche choisie pour l'évaluation indirecte du statut nutritionnel est la comparaison au BNM*, qui a été démontrée comme étant la plus adaptée lorsqu'on utilise des seuils de coupure. Cependant, d'autres seuils de coupure que le BNM* peuvent être utilisés lors de l'évaluation indirecte du statut nutritionnel. Les méthodes employant ces autres seuils de coupure sont impropres pour estimer la prévalence d'inadéquation dans la population mais elles permettent de fournir des indications du statut nutritionnel qui peuvent être utilisées de façon comparative (de Lauzon *et al.*, 2004).

Ces différents résultats illustrent les différentes inadéquations d'apports en macro- et micronutriments existant chez les femmes enceintes vivant dans les pays développés et appellent à une stratification des analyses selon les données sociodémographiques (statut tabagique, catégorie socioprofessionnelle, niveau d'instruction, parité, âge...) afin d'identifier les groupes les plus à risque.

2.1.2. Quelques données sur l'évaluation directe du statut nutritionnel des femmes enceintes par l'utilisation de biomarqueurs

Le statut nutritionnel des femmes enceintes en certains vitamines et minéraux a été préférentiellement évalué par l'utilisation de biomarqueurs. C'est par exemple le cas pour l'iode, dont l'apport alimentaire est difficile à évaluer et pour lequel l'excrétion d'iode urinaire est un très bon biomarqueur du statut (Ristic-Medic *et al.*, 2009). Sur la base de mesures de l'iodurie, une déficience en iode a pu être mise en évidence dans plusieurs échantillons de femmes enceintes au Royaume-Uni (Rayman et Bath, 2015), en Espagne (Aguayo *et al.*, 2013) ou lors des deuxième et troisième trimestres de grossesse aux États-Unis (Caldwell *et al.*, 2013), et cela, malgré la présence de programmes d'iodation du sel dans ces trois pays (WHO, 2014).

Le suivi de grossesse dans les pays développés incluant plusieurs prélèvements sanguins, cela facilite l'obtention de données permettant l'évaluation directe du statut nutritionnel. Ainsi, l'utilisation de biomarqueurs pour évaluer le statut nutritionnel en AGPI (évaluation du profil lipidique) (Bailey *et al.*, 2015; van Eijsden *et al.*, 2008; Gellert *et al.*, 2016; Tamura *et al.*, 2010) ou en d'autres vitamines et minéraux (Achkar *et al.*, 2015; Alwan *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2015; Furness *et al.*, 2013; Skröder *et al.*, 2015) est également très courante pendant la grossesse et participe à l'enrichissement des données relatives au statut nutritionnel des femmes enceintes.

2.1.3. Comment tenir compte de la supplémentation ?

Les deux méta-analyses décrites dans le paragraphe 2.1.1. ne prenaient pas en compte les consommations de compléments alimentaires et présentaient uniquement les apports provenant de l'alimentation (Blumfield *et al.*, 2012; Blumfield *et al.*, 2013). Cependant, la prise en compte ou non de la consommation de compléments alimentaires peut avoir un impact important sur l'interprétation des résultats.

Une étude de cohorte américaine ayant évalué les apports nutritionnels de 4 157 femmes enceintes entre 13 et 21 SG à l'aide d'un unique rappel alimentaire de 24h permet d'illustrer l'importance de dissocier l'alimentation seule et la prise de compléments lors de l'évaluation des apports nutritionnels. Dans cette population, les apports moyens en macronutriments restaient proches de ceux observés dans la population américaine.

Pour les micronutriments pour lesquels seul l'apport alimentaire était estimé (non prise en compte des compléments), l'inadéquation des apports était assez fréquente. En effet, 20 % des femmes enceintes de l'étude atteignaient l'ANC* [Recommended Dietary Allowance (RDA*)] pour le zinc, 27 % pour le magnésium, 34 % pour la vitamine E et 36 % pour le calcium. Cependant, contrairement à ce qui est fréquemment observé lors de la grossesse, les apports en folates et en fer étaient largement adéquats car la supplémentation était prise en compte (Morris *et al.*, 2001). Même si l'approche présente plusieurs limites sont à prendre en compte (notamment l'existence d'un seul jour de rappel alimentaire et une évaluation fondée sur la comparaison de l'apport moyen à l'ANC* uniquement), ces résultats montrent qu'il est important de dissocier supplémentation et alimentation seule, particulièrement dans le cas de la grossesse, afin d'évaluer l'impact des politiques d'encouragement à la supplémentation et d'identifier les nutriments pour lesquels il convient d'agir en pratique.

2.1.4. L'effet des politiques d'enrichissement sur le statut nutritionnel des femmes enceintes

Il est intéressant de noter que dans les pays, comme les États-Unis, où une politique d'enrichissement obligatoire des produits céréaliers en acide folique a été mise en place, le statut nutritionnel des femmes enceintes en folates est désormais satisfaisant (Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2008; Völgyi *et al.*, 2013). Cependant, l'absence d'enrichissement obligatoire des produits céréaliers en acide folique en Europe (Mills et Dimopoulos, 2015) ne permet pas de garantir la couverture des besoins en folates et ainsi de réduire le risque d'anomalie de fermeture du tube neural (Khoshnood *et al.*, 2015; Smith *et al.*, 2008).

2.2. Évaluation du statut nutritionnel des femmes enceintes en France

En France, les femmes enceintes sont également peu représentées dans les grandes enquêtes nationales. Dans l'étude INCA menée en 2006-2007 (INCA2), on dénombre trois femmes enceintes sur 1 538 femmes adultes incluses² (ANSES, 2014). Dans l'Étude Nationale Nutrition Santé 2006-2007 (ENNS), on compte 25 femmes enceintes sur 1 987 femmes adultes incluses³. De plus, ces données sont des données brutes d'inclusion et ne tiennent pas compte des exclusions potentielles pour l'évaluation des consommations alimentaires (sous-déclaration, absence de certaines données anthropométriques...). Ainsi, les principaux jeux de données disponibles spécifiques de la situation alimentaire et nutritionnelle des femmes enceintes en France sont principalement issues de trois grandes cohortes mère-enfant : EDEN (Étude des Déterminants pré et post natals précoces du développement psychomoteur et de la santé de l'ENfant), ELFE (Étude Longitudinale Française depuis l'Enfance) et PELAGIE (Perturbateurs Endocriniens : Étude Longitudinale sur les Anomalies de la Grossesse, l'Infertilité et l'Enfance), ou de données issues d'études de plus petite envergure.

Les données d'évaluation des consommations alimentaires recueillies dans les cohortes ELFE et PELAGIE ont été majoritairement utilisées pour relier l'exposition aux contaminants à la santé de la mère et de l'enfant et les données publiées portent principalement sur les consommations de groupes d'aliments.

Par exemple, dans la cohorte PELAGIE, la fréquence de consommation de poisson, évaluée à l'aide d'un QFA administré durant le premier trimestre de grossesse, était inférieure au repère de consommation (soit deux fois par semaine) (INPES, 2015) pour 73,4 % des femmes (n = 2 278 incluses dans l'analyse) (Guldner *et al.*, 2007).

Le QFA renseigné par 14 099 femmes enceintes participant à ELFE durant leur dernier trimestre de grossesse a permis d'évaluer leurs consommations pour 38 groupes d'aliments (définis sur la base des groupes d'aliments d'INCA2) (de Gavelle *et al.*, 2016). Ainsi, les résultats montraient des consommations moyennes en fruits et en légumes de 222,1 et de 178,7 g/j respectivement. Ces deux valeurs sont assez élevées et la moyenne s'approche des cinq portions de fruits et légumes

² donnée obtenue à partir du jeu de données disponible en ligne (<https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-de-consommations-et-habitudes-alimentaires-de-letude-inca-2-3/>)

³ donnée obtenue à partir du jeu de données dont l'autorisation d'utilisation dans le cadre de ce travail de thèse a été obtenue auprès de l'investigateur (USEN, INVS, Université Paris 13) et du promoteur principal (INVS) d'ENNS.

recommandées (INPES, 2015). La consommation moyenne de poisson était quant à elle de 21,7 g/j, soit 151,9 g/semaine, inférieure au repère de consommation de deux portions par semaine si on considère une portion moyenne de 135 grammes sur la base du portionnaire SU.Vi.MaX (Guldner *et al.*, 2007; Hercberg *et al.*, 2002).

Une récente étude menée sur les données de consommations alimentaires de 14 051 femmes incluses dans la cohorte ELFE a permis de montrer que moins de 30 % atteignaient le repère de consommation concernant le poisson et les produits de la pêche (Kadawathagedara *et al.*, 2017). Dans cette même étude, la comparaison des apports nutritionnels en certains nutriments-clés pour la grossesse (supplémentation exclue) au BNM* a permis d'identifier que plus de 85 % des femmes couvraient leur besoin en calcium, un peu plus de 50 % couvraient leurs besoins en fer et en iode, et un peu moins de 50 % en folates (Kadawathagedara *et al.*, 2017).

Les données de consommations alimentaires des femmes enceintes ayant participé à l'étude EDEN, recueillies à l'aide d'un QFA portant sur le dernier trimestre de grossesse, ont été, pour l'heure, majoritairement utilisées pour évaluer les apports en acides gras (Bernard *et al.*, 2013; Drouillet *et al.*, 2009). Une analyse des données de consommations de 1 446 femmes enceintes ayant participé à EDEN montre un profil d'apports en macronutriments semblable à celui présenté pour l'Europe dans la méta-analyse de Blumfield (17,2 %, 43,4 % et 39,1 % de l'énergie apportée respectivement par les protéines, les glucides et les lipides), soit des apports plus qu'adéquats en protéines et plutôt faibles en glucides et élevés en lipides (Drouillet *et al.*, 2009). Par ailleurs, les apports en AGS dans cet échantillon sont assez élevés (47,8 % de l'apport lipidique) et supérieurs aux recommandations françaises (ANSES, 2011) tandis que les apports en AGPI sont assez faibles (12,0 % de l'apport lipidique) et inférieurs aux recommandations. Enfin, le rapport entre les apports en AGPI n-6 et n-3 est supérieur aux recommandations (respectivement 84,4 % et 10,7 % des apports en AGPI). Il convient de noter que la détermination du type de matières grasses utilisé pour la cuisson et l'assaisonnement n'était pas permis par le QFA, cependant l'écart entre les deux apports est tel que même si des informations supplémentaires avaient été disponibles, ce rapport serait probablement resté inadéquat. Une analyse stratifiée pour des variables anthropométriques et sociodémographiques a mis en évidence que les apports en lipides et en AGS étaient plus faibles chez les femmes ayant le niveau d'éducation le plus élevé (niveau universitaire). Aucune différence n'était observée pour les autres variables (y compris le statut pondéral de la mère) (Drouillet *et al.*, 2009).

Par ailleurs, l'étude de Bernard *et al.* portant sur 1 335 femmes enceintes ayant participé à EDEN a permis de confirmer que le rapport entre AGPI n-6 et n-3 était trop élevé ($8,43 \pm 2,33$ pour les femmes ayant allaité ($n = 997$) et $8,78 \pm 2,40$ pour les femmes n'ayant pas allaité ($n = 338$) et également de mettre en évidence des apports moyens inférieurs aux recommandations françaises (ANSES, 2011) pour l'EPA, le DHA et l'ALA (Bernard *et al.*, 2013).

Dans une étude menée sur un sous-échantillon de la cohorte Nutrinet, l'évaluation des consommations alimentaires par des enregistrements alimentaires de 24h (1, 2 ou 3 jours) effectués en ligne par 666 femmes enceintes concluait, entre autres, à des apports moyens en fibres, en folates et en vitamine D plus faibles que les ANC* (Pouchieu *et al.*, 2013). Par ailleurs, les apports moyens en AGS ($37,7$ g/j) étaient assez élevés. Le rapport entre AGPI n-6 ($9,1$ g/j en moyenne dans la population) et n-3 ($1,2$ g/j en moyenne dans la population) n'a pas été calculé, mais au vu des moyennes, il semble assez élevé et inadéquat. Cependant, il convient de noter que dans cette étude, le nombre de jours de recueil alimentaire renseignés par chaque participante ainsi que le trimestre de grossesse étaient différents. Par ailleurs, les participantes étaient plus âgées et avaient un niveau d'éducation plus élevé que les femmes enceintes dans la population générale, ce qui empêche d'étendre les conclusions au-delà de la population d'étude (Pouchieu *et al.*, 2013).

Deux études plus anciennes et de plus petite envergure ont permis de recueillir des données de consommations alimentaires auprès, d'une part, de 50 femmes enceintes à Lille en 1990 à l'aide de trois jours d'enregistrement des consommations alimentaires recoupés avec un QFA et d'autre part, de 33 femmes enceintes à Paris en 1994 à l'aide de la méthode de l'histoire alimentaire (Potier De Courcy *et al.*, 1998). En recoupant les données des deux études, il a été observé que les apports en lipides (42 % et 38 % de l'apport énergétique total (AET) respectivement à Lille et à Paris) et en protéines (15 % et 18 % de l'AET respectivement à Lille et à Paris) étaient supérieurs aux ANC* et que les apports en glucides (42 % et 44 % de l'AET respectivement à Lille et à Paris) étaient inférieurs à l'ANC*. Par ailleurs, parmi les femmes lilloises, 66 % présentaient des apports en folates inférieurs à la moitié des ANC* (soit 500 $\mu\text{g/j}$) contre 25 % pour les femmes parisiennes et plus de 70 % présentaient des apports en thiamine, vitamine B6, fer et magnésium en-dessous de 80 % de l'ANC* (Potier De Courcy *et al.*, 1998).

Enfin, la mesure de l'excrétion urinaire d'iode a permis de mettre en évidence dans plusieurs échantillons régionaux de femmes enceintes, une large prévalence de l'inadéquation du statut nutritionnel pour ce nutriment (Caron *et al.*, 2006; Caron, 2015).

Même si les données disponibles concernant le statut nutritionnel des femmes enceintes en France sont encore limitées, ces différents résultats montrent qu'il existe des inadéquations d'apports en macronutriments et en certains micronutriments clés pendant la grossesse (iode, folates, fer et vitamine D, notamment).

En France, seule la supplémentation en acide folique lors de la période périconceptionnelle est systématiquement recommandée dans le cas du suivi de grossesse classique, alors que la prise de compléments alimentaires d'iode, de fer et de vitamine D n'est recommandée qu'au cas par cas si le statut est insuffisant (Haute Autorité de Santé, 2005).

Ainsi, au vu des données épidémiologiques et afin d'assurer une nutrition optimale du fœtus et de la mère, il serait souhaitable de s'assurer que le statut nutritionnel des femmes enceintes soit évalué plus systématiquement afin de mettre en place les interventions qui s'imposent en cas de déficience.

2.3. Évaluation de la qualité de l'alimentation des femmes enceintes par des indices globaux

2.3.1. L'adaptation des indices de qualité de l'alimentation à la grossesse dans les pays développés (autres que la France)

La qualité de l'alimentation d'un individu peut être évaluée de manière plus globale que par la simple évaluation du statut en chaque nutriment considéré séparément, en utilisant des indices composites, appelés communément indices de qualité de l'alimentation. Chaque indice développé comporte plusieurs items visant à évaluer l'adéquation des consommations en groupes d'aliments et/ou des apports en nutriments à des recommandations nationales ou internationales ou à des régimes alimentaires ayant été identifiés comme bénéfiques à la santé (régime méditerranéen, nordique...).

Les indices de qualité de l'alimentation sont multiples et de composition hétérogène selon les caractéristiques de la population [région, statut physiologique, pathologie(s) potentielle(s)] à laquelle ils sont appliqués (Fransen et Ocké, 2008; Kant, 1996; Waijers *et al.*, 2007). Il est donc possible d'adapter un indice de qualité de l'alimentation à la situation physiologique spécifique de la grossesse (Fransen et Ocké, 2008; Kant, 1996).

Si le nombre d'indices et leur utilisation dans différentes études s'est considérablement développé dans les années 90, cette approche globale de l'alimentation a été utilisée dès les années 40. Un des premiers indices de qualité de l'alimentation fondé sur les apports en nutriments a ainsi été utilisé dans une population de femmes enceintes aux États-Unis en 1943 (Burke, Beal, *et al.*, 1943). Les auteurs ont ainsi créé un score agrégeant les sous-scores obtenus pour l'énergie et pour les dix nutriments considérés (protéines, calcium, fer, phosphore, vitamine A, thiamine, riboflavine, niacine, vitamines C et D) en comparant les apports à une référence correspondant aux recommandations américaines de l'époque et en créant cinq catégories : excellent (« excellent »), bon (« good »), correct (« fair »), faible (« poor ») et très faible (« very poor »). À titre d'exemple, la classification utilisée pour les protéines est présentée dans le **Tableau 5** (Burke, Harding, *et al.*, 1943). L'agrégation de tous les sous-scores permettait alors d'attribuer un score général de qualité de l'alimentation selon les cinq mêmes classes. Cette approche a été appliquée aux données de consommation recueillies chez 216 femmes enceintes. Ainsi, des associations positives entre ce score et l'état de santé général de l'enfant à la naissance et pendant les deux premières semaines de sa vie ont pu être mises en évidence. En effet, parmi les femmes qui présentaient un score faible ou très faible, seules 2,5 % ont donné naissance à un enfant identifié comme « supérieur » par le pédiatre (c'est-à-dire ne présentant aucun problème de santé à la naissance ou dans les deux semaines suivantes), contre 42 % de celles qui présentaient un score bon ou excellent (Burke, Beal, *et al.*, 1943).

Par la suite, d'autres indices basés sur les apports en quelques nutriments ont été développés et mis en relation avec le poids de l'enfant (Philipps et Johnson, 1977) ou le risque d'anomalie de fermeture du tube neural (Carmichael *et al.*, 2003).

Depuis le début des années 90, les indices de qualité de l'alimentation parmi les plus utilisés tels que le *Healthy Eating Index* (HEI), l'*Alternative Healthy Eating Index* (AHEI), le *Diet Quality Index* (DQI), le *Mediterranean Diet Score* (MDS) ont également été utilisés pour évaluer la qualité de l'alimentation de femmes enceintes et la mettre en relation avec les issues de grossesse et la santé de la mère et de l'enfant. Ces indices sont, en majorité, basés sur les consommations de groupes d'aliments plus que sur les apports en nutriments et ne sont pas conçus pour prendre en compte l'ensemble des recommandations nutritionnelles spécifiques de la grossesse.

Cependant, trois approches peuvent être employées pour appliquer un indice de qualité de l'alimentation à une population de femmes enceintes : (1) conserver les mêmes items et valeurs d'attribution des points que pour la population d'adultes non enceintes, (2) conserver les mêmes items mais modifier tout ou partie des valeurs pour l'attribution des points selon certaines recommandations spécifiques définies pour les femmes enceintes, (3) ajouter et/ou retirer des items au score existant en fonction de leur pertinence au vu des justifications scientifiques existant pour la grossesse. Les deuxième et troisième approches ont majoritairement été choisies.

La deuxième approche a été utilisée par Pick *et al.* afin d'utiliser le HEI pour comparer la qualité de l'alimentation de femmes enceintes (n = 52) à celle de femmes non enceintes (n = 49) aux États-Unis (Pick *et al.*, 2005). Parmi les dix items qui composent le score (consommation (en nombre de portions par jour) de (1) céréales, (2) légumes, (3) fruits, (4) lait, et (5) viande, apports en (6) lipides, (7) AGS, (8) sodium et (9) cholestérol et (10) score de variété (défini à partir du nombre d'aliments différents consommés durant le recueil), **Tableau 6**), les cinq premiers ont été adaptés pour tenir compte des recommandations spécifiques émises aux États-Unis pour la population de femmes enceintes. Ainsi, les auteurs observent des scores de HEI équivalents pour les deux statuts physiologiques ($72,6 \pm 1,52$ points sur 100 possibles chez les femmes non enceintes et $75,0 \pm 0,99$ chez les femmes enceintes, **Tableau 6**). Si peu de différences significatives sont observées pour les sous-scores, les auteurs mentionnent tout de même que pour les femmes ayant une bonne qualité de l'alimentation ($HEI \geq 80$), un plus grand nombre de femmes enceintes n'atteignent pas les recommandations d'apports en folates et en fer pour leur stade physiologique (**Figure 7**).

C'est pourquoi, il a souvent été choisi d'adapter à la grossesse les indices les plus largement utilisés, comme le HEI (ou le AHEI), le DQI ou le MDS essentiellement basés sur les aliments et non sur les nutriments, en ajoutant des items pour évaluer l'adéquation des apports en certains nutriments-clés pendant la grossesse aux recommandations spécifiques de cette période (Bodnar et Siega-Riz, 2002; Laraia *et al.*, 2007; Mariscal-Arcas *et al.*, 2009; Nash *et al.*, 2013; Rifas-Shiman *et al.*, 2009).

Cette approche a été utilisée pour la première fois en 2002 par Bodnar et Siega-Riz pour adapter le DQI à la grossesse (DQI for Pregnancy, DQI-P) (Bodnar et Siega-Riz, 2002). En comparaison avec le DQI utilisé pour la population adulte comportant dix items (Haines *et al.*, 1999), six items ont été conservés (nombre de portions consommées de fruits, de légumes et de céréales, adéquation des apports en lipides totaux, en fer et en calcium aux recommandations en vigueur), quatre items ont été supprimés (adéquation des apports en cholestérol et en AGS aux recommandations, score de

diversité alimentaire et score de modération) et deux items ont été ajoutés pour tenir compte des recommandations spécifiques pour la grossesse (répartition des prises alimentaires dans la journée (« meal pattern ») et adéquation des apports en folates aux recommandations spécifiques de la grossesse). Les raisons pour la modification, l'ajout et la suppression des items dans le DQI-P en comparaison avec le DQI-R (pour DQI-Revised) sont présentées dans le **Tableau 7**. Ce score a été validé à l'aide de données de consommations obtenues à l'aide d'un QFA administré à 2 063 femmes entre 26 et 28 SG.

En 2009, Mariscal-Arcas *et al.* ont également adapté le MDS à la grossesse (MDS for Pregnancy, MDS-P) en ajoutant et supprimant des items par rapport à la version préexistante (Mariscal-Arcas *et al.*, 2009). Les trois items ajoutés correspondaient à l'adéquation des apports en trois nutriments-clés lors de la grossesse : le fer, les folates et le calcium (en incluant la prise de compléments alimentaires) ; l'item supprimé correspondait à la recommandation concernant la consommation modérée d'alcool, celle-ci n'étant pas recommandée durant la grossesse. L'adaptation du MDS ayant été effectuée à l'aide de données de consommation recueillies auprès de 308 femmes vivant en Espagne durant leur troisième trimestre de grossesse, les recommandations utilisées dans le paramétrage du score étaient celles en vigueur en Espagne. Le MDS-P était en moyenne de $7,53 \pm 1,44$ points sur 11 possibles, attestant, selon les auteurs, d'un régime plutôt conforme au régime méditerranéen.

2.3.2. Mise en relation de la qualité de l'alimentation pendant la grossesse avec des caractéristiques sociodémographiques et anthropométriques

Dans l'étude de Bodnar et Siega-Riz, le score moyen observé pour le DQI-P était de $56,0 \pm 12,0$ sur 80 points possibles. L'échantillon n'était pas représentatif des femmes enceintes aux États-Unis, car l'étude n'avait pas pour objectif de décrire l'alimentation des femmes enceintes en général, mais plutôt de proposer un outil simple d'utilisation pour évaluer la qualité de l'alimentation dans un même échantillon de femmes enceintes et effectuer des comparaisons selon leurs caractéristiques sociodémographiques.

Ainsi, le DQI-P a permis de détecter des différences de qualité de l'alimentation selon les caractéristiques sociodémographiques. Les femmes de la classe de revenus la plus élevée, avec le plus haut niveau d'éducation, de la tranche d'âge la plus élevée et attendant leur premier enfant ont des scores plus élevés que les autres (**Tableau 8**). Il convient, d'une part, de noter que les femmes de la classe de revenus la plus faible ont des régimes plus gras mais atteignent mieux les recommandations en fer et en folates et d'autre part, que les femmes ayant le niveau d'éducation le plus élevé ont des consommations en fruits plus importantes.

Une étude menée par Laraia *et al.* auprès de 2 394 femmes dont les données de consommations alimentaires ont été recueillies à l'aide d'un QFA administré entre 26 et 28 SG a également utilisé le DQI-P pour évaluer la qualité de leur alimentation (Laraia *et al.*, 2007). Le score moyen dans cette population était de $55,0 \pm 11,6$ points. Tout comme dans l'étude de Bodnar et Siega-Riz, le score était plus élevé pour les femmes de la classe de revenus la plus élevée, n'ayant pas le niveau d'éducation le plus faible, attendant leur premier enfant et étant dans la tranche d'âge la plus élevée. Par ailleurs, le DQI-P dans cette population était également plus faible pour les femmes enceintes en cas d'obésité avant la grossesse (27 % de chances de plus d'appartenir au tercile de DQI-P le plus faible que les femmes normo-pondérales après ajustement pour plusieurs variables socioéconomiques, le statut tabagique, la prise de compléments alimentaires et la pratique d'une activité physique) (Laraia *et al.*, 2007).

Dans l'étude de Mariscal-Arcas *et al.*, les résultats concernant la relation entre qualité de l'alimentation et IMC qui avaient été observés dans l'étude de Laraia *et al.*, sont confirmés avec l'utilisation du MDS-P : plus le score de MDS-P était faible, plus l'IMC pré-grossesse était élevé (Mariscal-Arcas *et al.*, 2009).

Ces différents résultats permettent d'établir des priorités en termes de catégories de population, de groupes d'aliments et de nutriments pour les actions à mener en santé publique.

2.3.3. Adaptation d'un score de qualité de l'alimentation à la grossesse en France

En France, le PNNS-GS (Programme National Nutrition Santé Guideline Score), un score de qualité de l'alimentation évaluant l'adéquation des individus aux recommandations du Programme National Nutrition Santé, a récemment été adapté aux femmes enceintes (Kadawathagedara *et al.*, 2017).

Deux des 12 items le composant ont été modifiés pour tenir compte des recommandations spécifiques de la grossesse (consommation d'alcool : pas plus de deux verres par jour pour les femmes adultes contre pas d'alcool pour les femmes enceintes ; et consommation de produits laitiers : la pénalité existant pour les femmes adultes pour une consommation de plus de 3,5 produits laitiers par jour a été retirée pour les femmes enceintes). Trois autres items ont été légèrement modifiés pour tenir compte des données de consommations alimentaires disponibles (aliments complets : les données ne sont disponibles que pour le pain ; matières grasses ajoutées : les données concernant le pourcentage de lipides apporté par les matières grasses ajoutées n'étant pas disponibles, seul le fait de privilégier les matières grasses végétales par rapport aux matières grasses animales a été considéré ; et sel : les données concernant le sel ajouté à table n'étant pas disponibles, seul le sel contenu dans les aliments ou plats a été pris en compte). Par ailleurs, le PNNS-GS pour les femmes enceintes n'a pas été corrigé pour l'énergie, en raison des incertitudes autour de l'évaluation des besoins énergétiques durant la grossesse. Enfin, l'item concernant l'activité physique a été supprimé afin de construire un score purement alimentaire.

En dehors des adaptations du score initial aux recommandations spécifiques de la grossesse et aux données disponibles, un second score, prenant en compte les recommandations spécifiques pour la grossesse existant en France, a été créé. Il comporte neuf items : suivre les recommandations relatives à la consommation limitée (1) de boissons à base de thé et café et (2) de produits à base de soja ; avoir des apports adéquats (en comparaison avec le BNM) en (3) fer, (4) folates, (5) iode et (6) calcium (par l'alimentation uniquement) ; suivre les recommandations concernant (7) la fréquence des repas et collations recommandée, (8) les risques infectieux liés à la listériose et à la toxoplasmose (inclus uniquement pour les femmes séronégatives pour la toxoplasmose), et (9) la supplémentation en acide folique.

Le score de PNNS-GS médian calculé pour 14 051 femmes enceintes de la cohorte française EDEN à l'aide de données de consommations recueillies par un QFA portant sur le dernier trimestre de grossesse, est de 7,8 points (sur 11 possibles). La moyenne du score de grossesse est de 7,7 points (sur 9 possibles). On constate que les items pour lesquels l'adéquation aux recommandations du PNNS est faible (score $\leq 0,75$ points) pour une large majorité des femmes sont la consommation de pain complet, de fruits et légumes et de poissons et produits de la mer. À l'opposé, moins de 10 % des femmes respectent peu les recommandations (score $< 0,5$ point) relatives au ratio entre matières grasses végétales et animales et à la consommation d'eau (**Figure 8A**).

Concernant les recommandations spécifiques de la grossesse, le suivi est totalement adéquat (1 point) pour plus de 80 % des femmes pour la consommation de café et de thé et celle de soja et pour les apports en calcium alimentaire. Moins de 5 % des femmes enceintes incluses dans cette étude présentent une forte inadéquation pour les items (1) à (7) du score spécifique à la grossesse (**Figure 8B**).

Par ailleurs, pour un sous-échantillon de 11 280 femmes pour lesquelles les données socioéconomiques et de santé sont disponibles, il a également été montré que les scores de PNNS-GS et spécifique de la grossesse augmentent avec le revenu et le niveau d'étude. Le score spécifique de la grossesse est plus faible chez les femmes obèses et en surpoids avant la grossesse en comparaison avec les femmes normo-pondérales et il est plus élevé pour les femmes attendant leur premier enfant (Kadawathagedara *et al.*, 2017). On retrouve donc dans cet échantillon de femmes enceintes françaises, les mêmes associations entre qualité de l'alimentation et variables sociodémographiques et anthropométriques que dans les études menées sur les échantillons de femmes enceintes aux États-Unis (Bodnar et Siega-Riz, 2002; Laraia *et al.*, 2007).

Les indices de qualité de l'alimentation cités précédemment ainsi que d'autres scores développés au niveau national, modifiés selon les populations et les études, ont constitué des outils majeurs pour mettre en relation la qualité de l'alimentation lors de la grossesse avec les issues de grossesse, la santé de la mère et celle de l'enfant (Gresham *et al.*, 2016; Hillesund *et al.*, 2014; Meinila *et al.*, 2017; Rifas-Shiman *et al.*, 2009; Rodríguez-Bernal *et al.*, 2010; Shapiro *et al.*, 2016; Shin *et al.*, 2014). Même si les résultats des études sont variables, plus la qualité de l'alimentation, telle que mesurée par ces indices, serait élevée, plus les issues de grossesse, la santé de la mère et celle de l'enfant seraient favorables (Carmichael *et al.*, 2003; Gesteiro *et al.*, 2012; Gresham *et al.*, 2016; Hillesund *et al.*, 2014; Meinila *et al.*, 2017; Rodríguez-Bernal *et al.*, 2010; Shapiro *et al.*, 2016). Cependant, dans des méta-analyses, l'hétérogénéité des indices de qualité de l'alimentation et des populations auxquelles ils sont appliqués ne permet pas de mettre en évidence des relations simples entre qualité de l'alimentation et issues de grossesse, santé de la mère et santé de l'enfant. Enfin, ces indices sont des outils importants en santé publique qui permettent d'identifier les sous-populations pour lesquelles il est prioritaire de mettre en place des interventions visant à favoriser l'amélioration de la qualité de l'alimentation.

Conclusion partielle

Dans cette partie, nous avons vu que les données permettant d'évaluer le statut nutritionnel des femmes enceintes dans les pays développés sont en nombre limité. Cette population spécifique est le plus souvent sous-représentée dans les enquêtes nationales, ainsi il est nécessaire de s'appuyer sur des études spécifiques portant sur la grossesse pour avoir accès à des données de consommations alimentaires ou des biomarqueurs du statut nutritionnel. Bien que ces études utilisent des méthodes de recueil des données de consommations alimentaires et des méthodes d'évaluation du statut nutritionnel très différentes, elles ont permis de mettre en évidence des inadéquations d'apports en macro- et micronutriments durant la grossesse. Parmi ces inadéquations, dont la plupart existe dans la population adulte générale, on retrouve des apports trop élevés en lipides et en AGS, des apports trop faibles en acides gras oméga-3 et en fibres et en certaines vitamines et minéraux identifiés comme clés pendant la grossesse comme les folates, la vitamine D, l'iode ou le fer. Étant donné les relations entre statut nutritionnel de la mère et issues de grossesse, et santé de la mère et de l'enfant, il semble nécessaire de mettre en place des interventions visant à améliorer le statut nutritionnel des femmes enceintes dans les pays développés. L'utilisation d'indices plus globaux, préalablement développés pour la population adulte et (plus ou moins) adaptés pour évaluer la qualité de l'alimentation globale pendant la grossesse permet d'évaluer l'adhésion des femmes enceintes aux recommandations alimentaires. Les résultats obtenus permettent d'identifier les catégories de la population ayant la qualité de l'alimentation la plus faible et ainsi de proposer des actions adaptées. Cependant, pour que ces actions soient efficaces, il est nécessaire de bien appréhender le comportement alimentaire des femmes enceintes, ses déterminants et ses modifications durant cette période spécifique.

3. Le comportement alimentaire pendant la grossesse

3.1. *La grossesse dans le paradigme du parcours de vie (« life course perspective ») : une période spécifique propice à une modification des comportements*

3.1.1. La « prise de conscience nutritionnelle » observée lors de la grossesse

Le paradigme du « parcours de vie » propose un cadre conceptuel pour l'étude du développement des individus et du déroulé de leurs vies en introduisant des considérations temporelles. En effet, l'évolution et le développement d'un individu au cours de sa vie est le fruit de « son âge chronologique » représentant le processus de vieillissement, de « son âge social » représentant le processus de définition de son rôle social, et de « la période historique », définie par son année de naissance qui le place dans un certain contexte historique (Elder, 1975; Elder et Rockwell, 1979). La trajectoire de vie d'un individu se modèle ainsi au cours des années par une agrégation de facteurs culturels, contextuels et sociaux. Cette trajectoire est le plus souvent stable et difficilement modifiable, sauf durant certaines périodes de la vie d'un individu identifiées comme des moments décisifs durant lesquels des changements majeurs peuvent s'opérer de manière profonde et durable. L'application du paradigme du « parcours de vie » au domaine de la santé a permis d'identifier ces périodes comme favorables à l'adoption de comportements plus sains notamment en matière d'alimentation (Wethington, 2005).

La grossesse est liée à un avancement dans l'âge chronologique, car elle ne devient possible que lorsqu'une femme est en âge de procréer et constitue une évolution dans l'âge social, car elle marque un changement vers la parentalité (Elder, 1975; Elder et Rockwell, 1979). Caractérisée par d'importants changements biologiques, psychologiques et sociaux, la grossesse est identifiée, selon le paradigme du parcours de vie, comme une période de transition, voire un tournant, dans la vie d'une femme (Szwajcer *et al.*, 2007; Szwajcer *et al.*, 2012; Wethington, 2005).

Les premières recherches qualitatives sur le rapport des femmes enceintes à l'alimentation dans le cadre de ce paradigme ont été menées par Devine *et al.*, et portaient principalement sur la prise de poids, caractéristique la plus visible de la grossesse (Devine *et al.*, 2000). Quatre entretiens successifs ont été effectués auprès de 36 femmes (27 primipares et 9 multipares) vivant aux États-Unis en milieu de grossesse puis six semaines, six mois et douze mois après leur accouchement, pour identifier l'impact du contexte de transition vers la maternité sur le rapport au poids et à ses

fluctuations. Quatre trajectoires de poids ont été observées : « le maintien de la décontraction (« *relaxed maintenance* ») », « l'exercice physique (« *exercise* ») », « la détermination (« *determined* ») » et « la tranquillité (« *unhurried* ») ». Cette étude se focalisant sur le rapport au poids et à la prise de poids, les stratégies identifiées sont toutes en lien avec le fait de ne pas avoir une prise de poids excessive ou de perdre du poids après la grossesse, mais elles sont également associées à des modifications de l'alimentation et du mode de vie pendant et/ou après la grossesse. Par ailleurs, les auteurs notent que ces stratégies sont très largement influencées par le mode de vie et le rapport au poids avant la grossesse, démontrant ainsi une trajectoire dans le rapport au poids assez stable et le plus souvent un retour vers les habitudes d'avant-grossesse. L'approche choisie pour cette étude est longitudinale et centrée sur le poids, ce qui ne permet pas d'identifier si une prise de conscience nutritionnelle s'opère pendant la grossesse en dehors de l'aspect le plus visible de la grossesse : « la prise de poids ». Cependant, elle a permis d'identifier que la grossesse pour une majorité de femmes entraîne des modifications alimentaires.

La prise de conscience nutritionnelle associée à la grossesse a été décrite plus en détails par Szwajcer *et al.* dans plusieurs études (Szwajcer *et al.*, 2007; Szwajcer *et al.*, 2012). Dans une première étude qualitative menée aux Pays-Bas, des entretiens visant à évaluer la prise de conscience sur des éléments relatifs à la nutrition durant la grossesse ou la période périconceptionnelle ont été menés auprès de cinq groupes de douze femmes : (1) en âge de procréer avec un désir de grossesse sérieux – enceintes de leur premier enfant dans le (2) premier, (3) deuxième, ou (4) troisième trimestre de grossesse – (5) enceintes de leur deuxième enfant à la fin du premier trimestre. Quel que soit le groupe auquel elles appartiennent, les femmes interrogées ont pris en compte des éléments concernant la nutrition au moins une fois pendant la période de grossesse ou périconceptionnelle, mettant ainsi en évidence une prise de conscience nutritionnelle pendant la grossesse. Cependant, trois profils différents ont été observés quant à cette prise de conscience : (1) celles qui « vont au bout des choses (« *going all the way* ») », (2) celles qui « prennent les choses de manière souple (« *taking the flexible way* ») » et (3) celles qui « poursuivent de la même manière (« *continuing the same way* ») ». Les femmes appartenant au premier profil expérimentent une prise de conscience nutritionnelle majeure (« *'hot' or 'active' nutrition awareness* ») : la nutrition prend une place prépondérante et devient un sujet de préoccupation majeur qui est délibérément contrôlé. Elles modifient profondément leur rapport à l'alimentation durant la grossesse pour suivre « à la lettre » les recommandations alimentaires spécifiques et non spécifiques de la grossesse.

Les femmes appartenant au deuxième profil expérimentent également une importante prise de conscience nutritionnelle, mais n'ont pas pour objectif d'appliquer les recommandations alimentaires « à la lettre », elles les adaptent à leur situation. Enfin, les femmes appartenant au troisième groupe n'expérimentent pas une réelle prise de conscience nutritionnelle pendant la grossesse ou la période périconceptionnelle, soit parce qu'elles estiment avoir toujours porté une attention considérable à la nutrition, soit parce qu'elles ne s'intéressent pas aux problématiques en lien avec la nutrition. Par ailleurs, les auteurs notent que la prise de conscience nutritionnelle est surtout observée lors d'une première grossesse. Les multipares, ayant déjà expérimenté une prise de conscience nutritionnelle durant leur première grossesse, se sentent plus indépendantes et moins soucieuses de la nutrition pendant une seconde grossesse (Szwajcer *et al.*, 2007).

Dans une seconde étude quantitative également menée aux Pays-Bas, Szwajcer *et al.* ont développé un questionnaire visant à évaluer le niveau de conscience des caractéristiques d'une alimentation saine (appelée « conscience nutritionnelle ») selon les recommandations émises aux Pays-Bas. La définition de conscience nutritionnelle utilisée par les auteurs inclut trois dimensions : la prédominance de la nutrition dans le quotidien, la préoccupation relative à la nutrition et le contrôle délibéré du comportement alimentaire. Ainsi, ces trois dimensions ont été évaluées par des femmes en âge de procréer n'essayant pas de concevoir (n = 101) ou essayant de concevoir (n = 100), et par des femmes enceintes dans leur premier (n = 102), leur deuxième (n = 110) ou leur troisième (n = 110) trimestre de grossesse, pour neuf recommandations alimentaires (27 items) à l'aide d'une échelle de Likert⁴. Les femmes enceintes, quel que soit leur trimestre de grossesse, présentent des scores de conscience nutritionnelle plus élevés pour les recommandations concernant la consommation de fruits et de produits laitiers que les femmes en âge de procréer (essayant ou non de concevoir). Les femmes en âge de procréer n'essayant pas de concevoir présentent un score de conscience nutritionnelle pour les recommandations concernant la consommation de légumes plus faible que les femmes enceintes ou essayant de concevoir (**Tableau 9**). Par ailleurs, les femmes enceintes, quel que soit le trimestre de grossesse, ont un score de conscience nutritionnelle global plus élevé que les femmes essayant de concevoir, qui ont elles-mêmes un score plus élevé que les femmes n'essayant pas de concevoir.

⁴ Une échelle de Likert est une échelle d'attitude par laquelle l'individu interrogé exprime son degré d'accord ou de désaccord relatif à une affirmation. Elle comprend 4 à 9 degrés. Par exemple, une échelle de Likert à 5 degrés présente le plus souvent les items suivants : « Tout à fait d'accord » - « D'accord » - « Ni d'accord, ni pas d'accord » - « Pas d'accord » - « Pas du tout d'accord ».

Cette étude est une des premières à mettre en évidence, de manière transversale et quantitative, la prise de conscience nutritionnelle qui s'opère durant la grossesse et la phase préconceptionnelle, illustrant ainsi que ces périodes de la vie d'une femme, et particulièrement celle de la grossesse, sont propices à l'engagement vers des comportements alimentaires plus sains (Szwajcer *et al.*, 2012).

3.1.2. L'effet des informations relatives à l'alimentation et la nutrition pendant la grossesse

La prise de conscience nutritionnelle décrite par Szwajcer *et al.*, nécessite d'avoir des connaissances en nutrition et d'être consciente de son impact sur la santé. Les femmes enceintes présentant une prise de conscience nutritionnelle ont donc été exposées à (exposition passive) et/ou ont cherché (recherche active) des informations relatives à la nutrition, générales ou spécifiques de la grossesse (Szwajcer *et al.*, 2007).

Ainsi, dans deux autres études, Szwajcer *et al.* ont pu mettre en évidence d'une part, que les femmes enceintes présentent une sensibilité accrue aux informations générales et spécifiques de la grossesse concernant l'alimentation et la nutrition qui leur sont données, et d'autre part qu'elles recherchaient activement des informations concernant ce sujet (Szwajcer *et al.*, 2005; Szwajcer *et al.*, 2008). Dans une première étude qualitative également menée auprès de cinq groupes de douze femmes [(1) en âge de procréer avec un désir de grossesse sérieux – enceintes de leur premier enfant dans le (2) premier, (3) deuxième, ou (4) troisième trimestre de grossesse – (5) enceintes de leur deuxième enfant à la fin du premier trimestre], les femmes enceintes de leur premier enfant rapportent avoir cherché ou avoir été exposées au minimum à quelques informations concernant la nutrition et l'alimentation spécifiques de la grossesse. Une majorité des femmes ont ensuite rapporté avoir recherché des informations concernant l'alimentation tandis que d'autres femmes vivant la grossesse comme un « événement naturel » n'ont pas cherché d'informations au-delà de celles qui leur avaient été données.

Dans une seconde étude quantitative menée auprès de 420 femmes vivant aux Pays-Bas, 61 % de celles présentant un désir de grossesse et 80, 66 et 63 % de celles étant enceintes dans leur premier, deuxième et troisième trimestre de grossesse se disaient davantage intéressées par les informations relatives à la nutrition et à l'alimentation qu'avant leur grossesse (ou leur désir de grossesse).

Par ailleurs, l'intensité de la recherche d'informations n'était pas la même selon les trimestres de grossesse. Les femmes enceintes dans leur premier trimestre de grossesse cherchaient plus souvent des informations concernant la nutrition (une fois, toutes les une à deux semaines) que celles dans leur deuxième trimestre (une fois, toutes les deux à trois semaines) puis dans leur troisième trimestre (une fois, toutes les trois semaines) (Szwajcer *et al.*, 2005).

Durant la grossesse, les informations relatives à la nutrition et à l'alimentation sont le plus souvent cherchées sur Internet, auprès de la sage-femme, dans des livres et brochures (Szwajcer *et al.*, 2008) et auprès d'autres femmes enceintes ou l'ayant été dans leur entourage (Szwajcer *et al.*, 2005). Ces sources d'informations concernant la nutrition ont été rapportées dans d'autres études relatives à la grossesse. Les professionnels de santé en charge du suivi de grossesse sont identifiés comme les plus crédibles et fiables, mais manquent souvent de temps et de formation pour informer suffisamment les femmes enceintes sur ce sujet (Brown et Avery, 2012; Johnson *et al.*, 2013; Lucas *et al.*, 2014; Wennberg *et al.*, 2013). Ces dernières comptent alors sur les autres mères dans leur entourage et sur Internet (Anderson *et al.*, 2015; Wennberg *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016a), et ceci bien que les informations trouvées sur Internet soient perçues comme étant conflictuelles et issues de sources non identifiées (Johnson *et al.*, 2013; Weir *et al.*, 2010).

Ainsi, on constate que la grossesse est une période spécifique dans la vie d'une femme qui s'accompagne notamment d'une prise de conscience nutritionnelle associée à une recherche accrue d'informations concernant la nutrition et l'alimentation spécifiques ou non de la grossesse. Cela sous-tend donc que les femmes enceintes sont plus enclines à adopter une alimentation saine, même si la modification du comportement alimentaire est connue pour être un phénomène complexe, affecté par de multiples déterminants.

3.2. Les déterminants de la modification de l'alimentation pendant la grossesse

Il existe de nombreux déterminants de la modification du comportement dont les appellations et regroupements varient selon les modèles et théories de changement de comportement employés. L'objectif de cette partie n'est pas de les décrire individuellement, mais d'illustrer les principaux déterminants de la modification du comportement alimentaire pendant la grossesse – le « pourquoi ? » et le « comment ? » – en s'appuyant sur des études quantitatives et qualitatives ayant employé ces différents modèles et théories.

3.2.1. Les déterminants de la modification du comportement alimentaire pendant la grossesse évalués à l'aide de théories de changement de comportement

La prise de conscience nutritionnelle lors de la grossesse, telle que décrite par Szwajcer *et al.*, devrait se manifester par une modification du comportement alimentaire. Plusieurs déterminants de ces modifications ont été identifiés dans les théories et modèles de changement de comportement de l'individu utilisés en psychologie sociale et cognitive.

Parmi ces théories, nous prendrons l'exemple de la Théorie du Comportement Planifié (TCP) (« *Theory of Planned Behavior* ») initialement proposée par Ajzen (Ajzen, 1985; Ajzen, 1991). Cette dernière identifie *l'intention d'agir* comme principal déterminant de la mise en place effective d'un comportement. L'intention d'agir est directement affectée par trois éléments qui interagissent entre eux : les *attitudes* de l'individu vis-à-vis du comportement en question, les *normes subjectives* liées à l'approbation par l'environnement social de l'individu de la mise en place du comportement et le degré d'intention à s'y conformer et le *contrôle comportemental perçu* se référant à la croyance de posséder les ressources et/ou les opportunités nécessaires pour la mise en place de ce comportement (**Figure 9**, Ajzen, 1985; Ajzen, 1991).

Cette théorie a été appliquée au domaine de la santé et notamment à l'adoption de comportements alimentaires sains. Ainsi, tout (Whitaker *et al.*, 2016c) ou partie (Gardner *et al.*, 2012; Mullan *et al.*, 2016) des déterminants de l'adoption de comportements alimentaires sains ont pu être évalués dans des échantillons de femmes enceintes.

Dans l'étude de Whitaker *et al.*, un questionnaire comportant un item évaluant l'intention d'adopter les recommandations nutritionnelles, sept items évaluant l'attitude vis-à-vis de ces recommandations, un item évaluant la norme subjective perçue et trois items évaluant le contrôle perçu sur l'adoption de recommandations nutritionnelles, a été renseigné par 189 femmes enceintes résidant aux États-Unis ou au Canada (Whitaker *et al.*, 2016c).

L'intention d'adopter des recommandations alimentaires était de $1,84 \pm 1,08$ (étendue possible : -3 à +3), traduisant que les femmes enceintes dans cet échantillon avaient plutôt l'intention d'appliquer les recommandations nutritionnelles en vigueur dans leur pays. Les femmes enceintes avaient également une attitude plutôt favorable vis-à-vis de ce comportement ($14,6 \pm 7,86$; étendue possible : -21 à +21), ressentait une pression importante de l'entourage pour s'y engager ($2,05 \pm 1,01$; étendue possible : -3 à +3) et percevaient avoir un contrôle assez important pour parvenir à son adoption ($4,76 \pm 2,71$; étendue possible : -9 à +9). Les corrélations entre l'intention et les trois éléments de la TCP étaient faible pour l'attitude ($r = 0,30$), modérée pour la norme subjective ($r = 0,38$), et plutôt élevée pour le contrôle perçu ($r = 0,49$). Cela n'est pas classiquement observé dans d'autres populations où l'attitude est fortement corrélée à l'intention et où la norme subjective et le contrôle perçu le sont beaucoup moins. Ainsi, dans cette population de femmes enceintes, l'intention d'adopter des recommandations nutritionnelles est surtout corrélée à la pression de l'entourage et au contrôle que les femmes perçoivent avoir (**Tableau 10**).

Par ailleurs, les trois éléments de la TCP n'expliquaient que 29 % de la variance pour l'adoption des recommandations nutritionnelles, ce qui est assez faible par rapport à ce qui est observé dans la même population concernant l'intention de suivre les recommandations relatives à l'activité physique (39 %) ou dans la population générale pour l'intention d'adopter divers comportements sains (44 %). Ainsi, dans cet échantillon, d'autres déterminants non évalués entraient en compte dans l'adoption de recommandations nutritionnelles (Whitaker *et al.*, 2016c).

Dans un échantillon de 103 femmes enceintes résidant en Angleterre, l'intention d'adopter des recommandations alimentaires est rapportée par 66 % des femmes pour l'augmentation de la consommation de fruits et légumes, par 59 % et 45 % des femmes pour la diminution de la consommation d'aliments riches en sucres et d'aliments riches en graisses respectivement. Au-delà de l'intention et de la norme subjective, d'autres éléments issus du modèle des croyances relatives à la santé (« *Health Belief Model (HBM)* », Rosenstock, 1974) tels que la vulnérabilité et la gravité perçues en cas d'absence d'adoption du comportement et les barrières et bénéfices perçus pour

l'adoption du comportement ont également été évalués (Gardner *et al.*, 2012). La vulnérabilité et la gravité perçues en cas d'absence de modification du comportement alimentaire étaient importantes (de 4,25 à 4,43 pour les trois comportements ; étendue possible : 1 à 5), tout comme la norme subjective (de 3,91 à 4,07) et les bénéfices perçus (3,65 à 3,67). Les barrières étaient perçues comme moins importantes (de 1,81 à 2,85). Les femmes qui percevaient le plus de bénéfices pour leur santé et celle de leur enfant avaient davantage l'intention d'augmenter leur consommation de fruits et légumes et de diminuer leur consommation d'aliments riches en graisses. Aucune relation n'a été mise en évidence entre les bénéfices perçus et l'intention de consommer moins d'aliments riches en sucres. Cependant, aucun effet des autres éléments évalués sur l'intention d'adopter ces trois comportements alimentaires n'a été observé. Par ailleurs, les femmes qui percevaient leurs consommations actuelles d'aliments riches en graisses et en sucres comme trop importantes avaient davantage l'intention de les réduire (Gardner *et al.*, 2012).

Dans une autre étude menée en Australie auprès de 195 femmes enceintes, ces dernières avaient l'intention de suivre les recommandations concernant la consommation de fruits et légumes ($6,10 \pm 1,12$; étendue possible : 1 à 7) et percevaient avoir plutôt un bon contrôle quant à l'adoption de ce comportement ($6,13 \pm 1,09$; étendue possible : 1 à 7). Les autres éléments de la TCP n'ont pas été évalués, mais une très forte corrélation était rapportée entre l'intention et le contrôle perçu ($r = 0,78$) (Mullan *et al.*, 2016).

Ainsi, même si peu d'études se sont intéressées aux déterminants psychologiques de l'adoption de comportements alimentaires sains pendant la période spécifique de la grossesse, on constate que l'intention de suivre des recommandations nutritionnelles se manifeste dans différentes populations de femmes enceintes. Parmi les autres éléments de la TCP, la norme subjective est importante mais pas nécessairement associée à l'intention d'adopter des comportements alimentaires sains ; le contrôle perçu est également assez fort. Les différents déterminants pouvant affecter l'intention de modifier son comportement alimentaire pendant la grossesse sont associés avec des intensités variables selon les études et des différences par rapport à la population générale sont observées (Whitaker *et al.*, 2016c).

Par ailleurs, il existe un fossé entre l'intention d'adopter un comportement alimentaire et son adoption effective (Mullan *et al.*, 2016; Sheeran, 2002).

Dans l'étude menée chez les femmes australiennes (Mullan *et al.*, 2016), l'importance de l'habitude de consommation de fruits et légumes a pu être évaluée. Ainsi, dans un modèle expliquant le suivi effectif des recommandations relatives à la consommation de fruits et légumes (auto-déclaré) par le nombre de semaines de gestation, l'intention, le contrôle perçu, l'habitude et les interactions entre l'intention et les autres éléments (deux à deux et trois à trois), seule l'interaction entre l'intention et l'habitude était significativement associée à la consommation effective de fruits et légumes. Pour les femmes enceintes ayant déjà l'habitude de consommer des fruits et légumes, l'intention serait donc un plus fort prédicteur du suivi effectif de recommandations de consommation de fruits et légumes que pour celles en ayant moins l'habitude (**Figure 10**).

Les différents déterminants de l'adoption de comportements alimentaires sains pendant la grossesse, proposés par les théories de psychologie sociale et cognitive peuvent être explorés de manière plus profonde grâce à l'utilisation de méthodes qualitatives. Par ailleurs, ces méthodes peuvent permettre d'identifier de nouveaux déterminants, parfois plus spécifiques de la population considérée (Fadé et Swift, 2011; Green et Thorogood, 2013), comme les femmes enceintes.

3.2.2. L'emploi de méthodes qualitatives pour l'identification des déterminants de la modification du comportement alimentaire lors de la grossesse

Des études qualitatives utilisant différentes méthodes (entretiens ou groupes de discussion) ont été menées dans différents pays développés afin de comprendre le rapport des femmes enceintes à l'alimentation. Elles ont permis de caractériser plus précisément les déterminants de l'adoption d'une alimentation saine pendant la grossesse.

La première catégorie de déterminants qui peut être identifiée regroupe les motivations, que nous définirons dans le cadre de cette thèse comme « un construit hypothétique utilisé afin de décrire les forces internes et/ou externes produisant le déclenchement, la direction, l'intensité et la persistance du comportement » (Vallerand et Thill, 1993).

Un des objectifs de l'étude menée par Sz wajcer *et al.* présentée dans le paragraphe 3.1.1. était d'identifier quelles étaient les motivations à la prise de conscience nutritionnelle observée pendant la grossesse (Sz wajcer *et al.*, 2007). Les trois motivations principales rapportées au cours des entretiens par les femmes enceintes sont : le bénéfice perçu pour le bébé, le bénéfice perçu pour elles-mêmes et la réponse aux attentes de l'environnement social.

On retrouve ces trois catégories de motivations dans la plupart des enquêtes qualitatives qui ont été menées sur le rapport à l'alimentation des femmes enceintes dans divers pays développés (Atkinson *et al.*, 2016; Chang *et al.*, 2008; Copelton, 2007; Goodrich *et al.*, 2013; Hromi-Fiedler *et al.*, 2016; Johnson *et al.*, 2013; Kominiarek *et al.*, 2015; Padmanabhan *et al.*, 2015; Reyes *et al.*, 2013; Sui *et al.*, 2013; Wennberg *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016a; Whitaker *et al.*, 2016c). Le **Tableau 11** présente une sélection de verbatim issus de ces différentes études illustrant chacune des catégories de motivations.

Les femmes enceintes sont en majorité conscientes que le suivi des recommandations alimentaires spécifiques et non spécifiques de la grossesse présente un bénéfice (ou une réduction du danger en ce qui concerne les recommandations relatives aux risques infectieux alimentaires) pour la santé de l'enfant qu'elles attendent. Les futures mères se sentent déjà responsables de l'enfant qu'elles portent et donc de sa santé. Elles ne sont plus seules mais deux, ce qui les pousse à être encore plus vigilantes. Dans les études ayant cherché à hiérarchiser les motivations à adopter une alimentation saine, le fait d'avoir un bébé en bonne santé apparaît toujours en première position (Goodrich *et al.*, 2013; Sui *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016c).

Ainsi, dans une étude menée aux États-Unis, visant, notamment, à identifier les barrières et freins à l'adoption d'une alimentation saine durant la grossesse à l'aide d'entretiens menés auprès de 33 femmes enceintes, la principale motivation à l'adoption d'une alimentation saine était de donner naissance à un bébé en bonne santé (énoncée par 85 % des participantes) et le principal risque perçu à avoir une alimentation « malsaine » était de donner naissance à un bébé en mauvaise santé (énoncé par 45 % des participantes) (Goodrich *et al.*, 2013).

Le bénéfice perçu pour la mère est également une motivation importante à l'adoption d'une alimentation saine. Les femmes enceintes associent une alimentation saine à une prise de poids non excessive leur permettant de se sentir bien malgré leur apparence physique modifiée. Au-delà de l'apparence physique et du souci de ne pas conserver le poids pris en excès après la grossesse, les femmes enceintes associent aussi les bénéfices d'une alimentation saine à la prévention des complications pendant la grossesse (pré-éclampsie, diabète gestationnel...) mais aussi dans leur vie future (maladies chroniques) (Hromi-Fiedler *et al.*, 2016; Reyes *et al.*, 2013; Sui *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016a). Enfin, l'adoption d'une alimentation saine est aussi motivée par les désagréments physiques liés à la grossesse (remontées acides, nausées...). Certaines femmes enceintes expliquent que certaines modifications de leur alimentation permettent de limiter les troubles digestifs de la grossesse mais leur permettent également de se sentir en meilleure santé.

Dans chacune des études, les motivations regroupant le bénéfice perçu pour la mère et pour l'enfant sont souvent liées. Les futures mères associent leur santé à celle de leur enfant et sont conscientes qu'en prenant soin d'elle, notamment par l'adoption d'une alimentation saine, elles prennent soin de leur bébé (*"So whatever I can do for him before and even after he gets here, I'm gonna do it. It's more so for him, even than it is for me. And I know I have to take care of myself while he's in me. I'm still gonna have to take care of myself while he's outta me. You got to lead by example. So I can't be over here eating on a big greasy corn dog and expect him to eat his little green leafy salad"*, Goodrich *et al.*, 2013).

Le rapport à la motivation quant au changement de comportement est retrouvé dans certaines théories de psychologie sociale et cognitive. Ainsi, la théorie de l'auto-détermination (« *Self Determination Theory* »), développée par Deci (Deci et Ryan, 1985; Ryan et Deci, 2000) propose quatre types de motivations extrinsèques classés de manière croissante selon le degré d'autonomie de l'individu face à ce comportement : la régulation externe, la régulation interne, l'identification et l'intégration. Les régulations (1) externe et (2) introjectée, interviennent lorsque l'individu perçoit une pression lui imposant une manière de penser, de sentir ou d'agir pour (1) satisfaire une demande externe ou obtenir une récompense imposée par des facteurs externes, ou (2) pour satisfaire une demande interne ou éviter la culpabilité ou l'anxiété. L'identification induit la perception de l'importance du comportement pour l'individu lui-même. L'intégration induit une assimilation complète par l'individu des régulations perçues et est favorable à la poursuite d'un comportement dans le temps (Ryan et Deci, 2000).

Cette théorie a été utilisée par Szwajcer *et al.* pour expliquer que les motivations liées au bénéfice que les femmes perçoivent pour elles-mêmes relèveraient de l'identification et de l'intégration, formes les plus autonomes pour le changement de comportement. Ainsi, les femmes percevant un bénéfice pour elles-mêmes en plus de celui perçu pour l'enfant seraient plus enclines à maintenir une alimentation saine que celles ne percevant que le bénéfice pour leur enfant (Szwajcer *et al.*, 2007).

Le dernier type de motivation observé est celui de la réponse aux attentes de l'environnement social. En effet, lorsque la grossesse devient visible, les femmes enceintes reçoivent un nombre important de conseils en provenance de leur environnement social, les incitant alors à agir en tant que « mère », en faisant les ajustements nécessaires notamment dans leur alimentation (Szwajcer *et al.*, 2007). Cela est perçu comme une pression externe pour les femmes qui veulent d'ores et déjà être considérées comme de « bonnes mères » (régulation externe).

Par ailleurs, le respect de ce que Copelton qualifie de « normes de maternité » (« *mothering norms* ») entraîne également des motivations qui relèvent de la régulation interne puisque les suivre permet de réduire la culpabilité de ne pas agir comme « une bonne mère » (Copelton, 2007; Gojard, 2010). Les attentes de l'environnement social prennent une part moins importante à partir de la deuxième grossesse, car les femmes ayant déjà l'expérience d'une première grossesse, sont plus autonomes et moins anxieuses face à l'alimentation (Szwajcer *et al.*, 2007).

La deuxième et la troisième catégories de déterminants pouvant être identifiées sont les freins et les leviers perçus à l'adoption d'une alimentation saine. Dans le cadre de ce paragraphe, on considère un frein comme un élément limitant l'adoption d'une alimentation saine. À l'inverse, un levier est considéré comme un élément facilitant l'adoption d'une alimentation saine.

Dans l'étude de Whitaker *et al.* utilisant la TCP pour caractériser les différents déterminants du suivi des recommandations nutritionnelles par 189 femmes enceintes aux États-Unis et au Canada, des questions ouvertes ont permis d'identifier les croyances quant au contrôle du comportement (« *control beliefs* ») qui regroupent à la fois les leviers et les freins au suivi des recommandations nutritionnelles (**Tableau 12**, Whitaker *et al.*, 2016c).

Les principaux freins identifiés dans cette étude, tels que les envies alimentaires irréprouvables, le manque de temps, le prix, le manque d'énergie, l'influence négative de l'environnement social et les nausées, ont été retrouvés dans les autres études relatives à l'adoption d'une alimentation saine chez des femmes enceintes.

Cependant, d'autres freins ont également été rapportés : la difficulté d'accès à une option alimentaire saine ou la plus grande facilité d'accès à une option alimentaire moins saine, leurs propres préférences et habitudes alimentaires, les préférences alimentaires des autres membres du foyer et le caractère contradictoire des informations relatives à l'alimentation pendant la grossesse obtenues ou recherchées par les femmes enceintes (Anderson *et al.*, 2015; Atkinson *et al.*, 2016; Brown et Avery, 2012; Chang *et al.*, 2008; Copelton, 2007; Ferrari *et al.*, 2013; Goodrich *et al.*, 2013; Graham, Uesugi, *et al.*, 2014; Groth et Morrison-Beedy, 2013; Hromi-Fiedler *et al.*, 2016; Lucas *et al.*, 2014; Padmanabhan *et al.*, 2015; Reyes *et al.*, 2013; Sui *et al.*, 2013; Wennberg *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016a; Whitaker *et al.*, 2016c).

Ces différents freins, illustrés par des verbatim issus des études précédemment citées, sont présentés dans le **Tableau 13** et sont plus ou moins spécifiques de la grossesse. Les envies alimentaires irréprouvables et les nausées sont très spécifiques de la grossesse. Elles sont induites par des modifications biologiques et physiologiques et contraignent les choix alimentaires des femmes. D'autres troubles digestifs spécifiques de la grossesse sont rapportés dans certaines études, comprenant les remontées acides, la constipation et les nausées, regroupés sous le terme de troubles digestifs dans le **Tableau 13**.

Le manque d'énergie, l'influence négative de l'entourage et les informations conflictuelles relatives à l'alimentation sont des freins qui peuvent exister dans d'autres situations mais qui sont aggravés lors de la grossesse. En effet, le manque d'énergie peut être dû à la fatigue associée à la grossesse en plus de celle du quotidien.

L'influence négative des autres provient notamment de vieilles croyances selon lesquelles pendant la grossesse, il est possible de « manger pour deux », ainsi l'entourage pousse parfois à une consommation alimentaire excessive et pas nécessairement saine. Cette injonction de l'entourage est contradictoire avec les recommandations alimentaires actuelles et crée une confusion dans l'esprit des femmes, encore aggravée lorsque les informations obtenues ou recherchées auprès de différentes sources (et ce même au sein d'un même type de sources) se contredisent (Brown et Avery, 2012; Copelton, 2007; Ferrari *et al.*, 2013; Lucas *et al.*, 2014; Szwajcer *et al.*, 2008).

Enfin, le manque de temps, le prix, la difficulté d'accès à une option alimentaire saine et les préférences et habitudes alimentaires (les leurs et celles des autres membres de leur foyer) ne sont pas spécifiques de la grossesse et peuvent se retrouver dans d'autres populations adultes (de Mestral *et al.*, 2016).

L'importance pour chaque individu de ces freins dans l'adoption d'une alimentation saine est très variable selon les caractéristiques sociodémographiques. Par exemple, le prix est plus largement cité dans les études ayant inclus des femmes enceintes aux revenus faibles (Anderson *et al.*, 2015; Chang *et al.*, 2008; Graham, Uesugi, *et al.*, 2014; Reyes *et al.*, 2013) et la plus grande facilité d'accès à une offre alimentaire non saine aux États-Unis est davantage rapportée par les femmes résidant en ville qu'à la campagne (Anderson *et al.*, 2015).

Les leviers identifiés lors de l'étude de Whitaker *et al.* sont également en accord avec ceux identifiés dans les études précédemment citées (**Tableau 12**). Au vu de cette littérature, il est possible d'identifier quatre leviers supplémentaires : constater une prise de poids non excessive par rapport à leurs attentes, avoir des habitudes alimentaires déjà saines, montrer l'exemple à ses enfants et bénéficier d'informations crédibles sur l'alimentation pendant la grossesse. On remarque également que quatre leviers sont le pendant des freins : le soutien de l'entourage opposé à l'influence négative de l'entourage ; les moyens financiers accrus ou les coûts réduits opposés au prix ; l'accès opposé à la difficulté d'accès à une option alimentaire saine ; les habitudes alimentaires déjà saines opposées aux préférences et habitudes alimentaires non saines ; la disponibilité d'informations crédibles opposée aux informations contradictoires sur l'alimentation pendant la grossesse.

Le fait de constater une prise de poids non excessive par rapport à leurs attentes, évitant le découragement face à des modifications alimentaires, et le fait de se recentrer sur leur motivation première : le bénéfice perçu pour l'enfant, sont des leviers spécifiques de la situation de grossesse. Le fait de bénéficier d'informations crédibles sur l'alimentation est accentué par la grossesse mais n'est pas un levier spécifique de cette situation. En dehors de ces trois exceptions, les autres leviers sont totalement non spécifiques de la grossesse.

Des verbatim issus de ces différentes études et permettant d'illustrer les différents leviers identifiés (à l'exception de celui portant sur le fait de bénéficier d'un accès facilité à une offre saine et de moyens financiers accrus pour éviter les redondances avec les freins) sont présentés dans le **Tableau 13**.

L'emploi d'études quantitatives et qualitatives pour comprendre et caractériser le rapport des femmes enceintes à l'alimentation permet donc d'identifier les principaux déterminants de l'adoption d'une alimentation saine. Cependant, la liste n'est pas exhaustive et l'importance de chaque déterminant n'est pas fixe. Certains déterminants spécifiques de caractéristiques sociodémographiques et socioéconomiques peuvent apparaître ou voir leur importance varier en fonction de la population étudiée.

3.3. Les modifications de l'alimentation pendant la grossesse

3.3.1. Les modifications de l'alimentation identifiées par des données de consommations alimentaires

Peu de données de consommations viennent appuyer les modifications alimentaires qui s'opèrent pendant la grossesse en comparaison avec la période la précédant. En effet, cela nécessite la mise en œuvre d'enquêtes longitudinales identifiant des femmes en âge de procréer avec désir d'enfant ou en tout début de grossesse dont on évaluerait les consommations alimentaires et qui seraient ensuite suivies lors de leur grossesse.

Dans une étude réalisée auprès de 33 femmes parisiennes en 1994, une enquête alimentaire (histoire alimentaire), réalisée lors de la première visite prénatale et portant sur la consommation en début de grossesse, et un interrogatoire rétrospectif sur les habitudes alimentaires avant la grossesse ont permis de mettre en évidence des modifications alimentaires (Potier De Courcy *et al.*, 1998). Ainsi, une augmentation de la consommation moyenne de fromages frais et yaourts (de 135 à 175 g/j), de fromages (de 36 à 57 g/j) et de fruits (de 156 à 211 g/j) et une diminution de la consommation de vin (de 48 à 5 g/j) et de café (de 304 à 141 g/j) ont pu être observées. Les diminutions observées traduisent l'application des recommandations concernant l'arrêt de l'alcool et la consommation modérée de café pendant la grossesse.

Des modifications des consommations alimentaires ont également été observées lors d'une étude longitudinale menée sur une cohorte mère-enfant au Portugal (Pinto *et al.*, 2009). Les consommations alimentaires de 249 femmes enceintes ont été évaluées à l'aide de QFA pour la période préconceptionnelle et pour la grossesse. Lors de la grossesse, tout comme dans l'étude française, on retrouve une augmentation de la consommation de produits laitiers et de fruits et une diminution de la consommation de boissons alcoolisées et de café et thé. Par ailleurs, des augmentations des consommations de pain, de soupes et de matières grasses et des diminutions des consommations d'œufs, de viande rouge, de pâtes, riz et pommes de terre et de repas pris en restauration rapide ont été observées (**Tableau 14**, Pinto *et al.*, 2009).

Lors d'une étude menée auprès de 575 femmes enceintes en Finlande, des données relatives à leurs consommations de différents groupes de boissons ont été recueillies à l'inclusion (entre cinq et 20 SG) à l'aide de QFA portant sur deux périodes : la période actuelle (« grossesse ») et rétrospectivement pour la période préconceptionnelle (Skreden *et al.*, 2015).

Il a ainsi été mis en évidence que la proportion de femmes qui consommaient au moins une fois par jour du café, des boissons rafraîchissantes sucrées et des boissons rafraîchissantes édulcorées diminuait significativement en début de grossesse par rapport à la période préconceptionnelle (respectivement de 38 % à 10 %, de 10 % à 6 % et de 12 % à 9 %). Au contraire, la proportion de femmes qui consommaient au moins une fois par jour du jus de fruits et du lait augmentait significativement en début de grossesse par rapport à la période préconceptionnelle (respectivement de 14 % à 20 % et de 37 % à 42 %).

Certaines études transversales ont comparé les données de consommations d'échantillons de femmes enceintes et de femmes adultes en âge de procréer. Ainsi, à titre d'exemple, en France, les consommations de céréales de petit-déjeuner, de riz et blé, de glaces et desserts glacés, de chocolat, de lait et de boissons rafraîchissantes sans alcool étaient numériquement plus importantes et celles de sandwiches et snacks, de café et thé et de boissons alcoolisées étaient numériquement plus faibles chez des femmes enceintes incluses dans ELFE (n = 14 099) que chez des femmes en âge de procréer incluses dans INCA2 (n = 790). Les écarts observés n'étaient pas significatifs notamment à cause de la grande variabilité des consommations observée dans l'échantillon d'INCA2 (de Gavelle *et al.*, 2016). Cependant, dans ce cas, les données sont difficilement comparables et les résultats ne permettent pas de mettre en évidence des modifications alimentaires individuelles. L'emploi de méthodes qualitatives pour investiguer le rapport à l'alimentation des femmes enceintes a permis de décrire les modifications de l'alimentation qu'elles mettaient en place pendant leur grossesse.

3.3.2. Les modifications de l'alimentation rapportées par les femmes enceintes identifiées lors d'études qualitatives

Parmi les différentes études qualitatives portant sur le rapport des femmes enceintes à l'alimentation, on peut dissocier trois types de modifications de l'alimentation pendant la grossesse : celles qui sont contraintes par les changements physiologiques liés à la grossesse, celles qui sont contraintes par les restrictions alimentaires spécifiques de la grossesse et celles qui sont mises en place pour adopter une alimentation saine (associée à une prise de poids non excessive). Le **Tableau 15** présente des verbatim issus de différentes études qualitatives illustrant ces différents types de modifications.

Parmi les modifications engendrées par les changements physiologiques liés à la grossesse (Faas *et al.*, 2010; Quinlan et Hill, 2003; Richter, 2003), on peut dissocier les modifications contraintes par les troubles digestifs liés à la grossesse (constipation, nausées, remontées acides, dégoûts) et celles qui sont attribuables aux « envies » alimentaires irrésistibles pendant la grossesse. Les modifications contraintes par les troubles digestifs liés à la grossesse sont mentionnées dans de nombreuses études (Copelton, 2007; Goodrich *et al.*, 2013; Reyes *et al.*, 2013; Wennberg *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016a; Whitaker *et al.*, 2016c) et peuvent contraindre les femmes à avoir une prise alimentaire moins importante ou à consommer des aliments permettant de limiter ou d'améliorer ces désagréments (par exemple, limiter les aliments frits ou trop gras pour limiter les remontées acides).

Les modifications attribuables aux « envies » alimentaires irrésistibles pendant la grossesse sont également mentionnées dans un grand nombre d'études (Anderson *et al.*, 2015; Copelton, 2007; Goodrich *et al.*, 2013; Groth & Morrison-Beedy, 2013; Padmanabhan *et al.*, 2015; Wennberg *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016a; Whitaker *et al.*, 2016c). Elles sont le plus souvent portées sur des aliments sucrés ou gras et sucrés (qualifiés de « *comfort food* » en anglais) mais peuvent aussi cibler un aliment spécifique dont la consommation devient une obsession.

Concernant les modifications contraintes par les restrictions alimentaires spécifiques de la grossesse (Atkinson *et al.*, 2016; Copelton, 2007; Padmanabhan *et al.*, 2015; Szwajcer *et al.*, 2005; Szwajcer *et al.*, 2007; Wennberg *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016b), elles portent principalement sur l'arrêt de la consommation d'alcool, le fait de limiter la consommation de boissons contenant de la caféine, l'arrêt de la consommation de produits animaux crus ou peu cuits (sushis, charcuteries, poissons et viandes fumés...) et de fromages au lait cru (ou désormais en France « *de fromages à pâte molle à croûte fleurie et à croûte lavée surtout s'ils sont au lait cru* », INPES, 2015).

Ces deux premiers types de modifications alimentaires sont perçus comme peu ou pas contrôlables par les femmes enceintes : ils s'imposent à elles à cause de leur grossesse.

Inversement, les modifications alimentaires mises en place pour adopter une alimentation saine correspondent à des choix qui leur sont propres et qu'elles peuvent faire consciemment pour agir positivement sur la santé de leur enfant (Szwajcer *et al.*, 2007; Szwajcer *et al.*, 2012).

Ainsi, parmi les études dans lesquelles les femmes enceintes rapportent des modifications tendant à l'adoption d'une alimentation plus saine (Anderson *et al.*, 2015; Atkinson *et al.*, 2016; Goodrich *et al.*, 2013; Hromi-Fiedler *et al.*, 2016; Padmanabhan *et al.*, 2015; Reyes *et al.*, 2013; Sui *et al.*, 2013; Szwajcer *et al.*, 2007; Wennberg *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016a; Whitaker *et al.*, 2016b; Whitaker *et al.*, 2016c), les principaux changements rapportés concernent l'augmentation de la consommation de fruits et légumes et de produits laitiers (considérés comme des aliments riches en vitamines et minéraux), la diminution de la consommation d'aliments gras (qualifiés de « junk food » en anglais), le choix d'aliments sains pour les collations en remplacement d'aliments gras et sucrés plus réconfortants et la diminution de la consommation de plats préparés au profit du « fait maison ». Certaines femmes déclarent également porter davantage attention à la provenance des produits et, par exemple, consommer plus d'aliments issus de l'agriculture biologique (Wennberg *et al.*, 2013).

Comme expliqué dans le paragraphe 3.1.1., la prise de conscience nutritionnelle observée est variable selon les femmes enceintes. Toutes les femmes ne modifient pas complètement leur alimentation (Szwajcer *et al.*, 2007). Même celles qui souhaitent réellement avoir une alimentation plus saine s'autorisent quelques déviations (Copelton, 2007; Padmanabhan *et al.*, 2015), ainsi elles agissent de manière responsable mais sans en faire trop (Wennberg *et al.*, 2013).

Conclusion partielle

Dans cette partie, nous avons vu que dans la trajectoire de vie d'une femme, la grossesse constitue une période de transition, marquée par de nombreux changements biologiques, sociaux et psychologiques. Ainsi, une prise de conscience nutritionnelle est observée chez la plupart des femmes enceintes. Cette prise de conscience s'accompagne notamment d'une recherche active d'informations liées aux problématiques relatives à l'alimentation et à la nutrition. Les femmes enceintes ont donc davantage l'intention d'adhérer aux recommandations relatives à une alimentation saine avec pour motivations principales : le bénéfice qu'elles perçoivent pour la santé de leur enfant, le bénéfice qu'elles perçoivent pour leur propre santé (incluant une prise de poids non excessive) et la réponse aux attentes de leur environnement social. Cependant, il existe un fossé entre l'intention d'adopter une alimentation saine et son adoption effective. Les principaux leviers et freins à l'adoption d'une alimentation saine pendant la grossesse ont pu être identifiés, certains sont similaires à ceux observés dans la population générale (coût, temps, habitudes) et d'autres sont plus spécifiques de la grossesse (troubles digestifs, comportement recentré sur la motivation de donner naissance à un bébé en bonne santé). En pratique, trois types de modifications alimentaires peuvent être observés chez les femmes enceintes : celles dues aux changements physiologiques de la grossesse, celles dues aux restrictions alimentaires spécifiques de la grossesse et celles visant à adopter une alimentation plus saine. Les deux premiers types de modifications résultent de motivations extrinsèques et sont peu contrôlables par les femmes enceintes alors que le troisième résulte de motivations intrinsèques et représente une action volontaire des femmes d'agir positivement sur leur santé et celle de leur enfant. Ainsi, cette période apparaît comme une fenêtre d'opportunité pour mettre en place des interventions diététiques visant à accompagner les femmes enceintes dans l'adoption d'une alimentation plus saine.

4. Les interventions diététiques de conseils alimentaires pendant la grossesse

Il existe plusieurs types d'interventions visant à améliorer le statut nutritionnel des femmes enceintes. Dans les pays développés, les trois types d'interventions les plus fréquemment mis en œuvre pour cette population sont : la supplémentation (en un ou plusieurs nutriments), l'enrichissement d'aliments et les conseils alimentaires. En cohérence avec les objectifs de ce travail de thèse, seules les interventions diététiques (ou relatives au mode de vie) ayant proposé (notamment) des conseils alimentaires seront présentées dans cette partie.

4.1. Une grande diversité d'interventions diététiques proposant des conseils alimentaires pendant la grossesse

Depuis le début des années 90, un grand nombre d'interventions proposant des conseils relatifs au mode de vie et notamment à l'alimentation ont été mises en œuvre afin d'améliorer le statut nutritionnel des femmes enceintes et/ou les issues de grossesse maternelles et néonatales. L'ensemble des revues de la littérature qui ont été faites sur ce type d'interventions s'accordent sur le fait que celles-ci sont difficilement comparables car très diverses et hétérogènes. En effet, ces interventions diffèrent en fonction de leurs objectifs et des critères d'évaluation associés (apports nutritionnels et/ou consommations alimentaires de la mère, paramètres de santé de la mère et/ou de l'enfant), des caractéristiques sociodémographiques, anthropométriques et physiologiques de la population visée, et des conseils alimentaires prodigués (contenu et type de conseils alimentaires, association avec des conseils portant sur l'activité physique, intensité et fréquence des conseils, support utilisé...) (Campbell *et al.*, 2011; Gresham, Byles, *et al.*, 2014; Gresham, Bisquera, *et al.*, 2014; Han *et al.*, 2017; O'Brien *et al.*, 2016; Streuling *et al.*, 2010; Tieu *et al.*, 2017).

Le **Tableau 16** présente quelques exemples d'études proposant des conseils (notamment) alimentaires publiés ces quinze dernières années. L'objectif de ce tableau et des paragraphes suivants n'est pas de dresser une revue systématique des interventions diététiques proposant des conseils alimentaires existantes mais simplement d'en illustrer la diversité et l'hétérogénéité.

4.1.1. Une hypothèse initiale et une diversité d'objectifs visés

La mise en place d'une intervention diététique proposant des conseils alimentaires sous-tend la définition d'objectifs en termes de paramètres de santé, définis comme critères d'évaluation. Lorsque ces interventions sont menées pendant la grossesse, ces objectifs sont notamment définis à partir des études existantes mettant en relation une alimentation saine avec les issues de grossesse (*cf.* paragraphe 1.2.).

Les objectifs visés par ces différentes interventions sont variables et peuvent être classés en quatre catégories : (1) limiter la prise de poids (Asbee *et al.*, 2009; Di Carlo *et al.*, 2014; Graham, Uesugi, Niederdeppe, *et al.*, 2014; Hillesund *et al.*, 2014; Muktabhant *et al.*, 2015; Opie *et al.*, 2016; Rauh *et al.*, 2015; Streuling *et al.*, 2010; Wolff *et al.*, 2008) ; (2) améliorer des paramètres de santé de la mère (en dehors de la prise de poids) (Bonomo *et al.*, 2005; Gresham, Bisquera, *et al.*, 2014; Hawkins *et al.*, 2015; Koivusalo *et al.*, 2016; Quinlivan *et al.*, 2011; Tieu *et al.*, 2017) ; (3) améliorer des paramètres de santé de l'enfant (à la naissance ou dans sa vie future) (Briley *et al.*, 2002; Gresham, Byles, *et al.*, 2014; Walsh *et al.*, 2012) ; ou (4) améliorer la qualité de l'alimentation de la mère (Dodd *et al.*, 2014; Khoury *et al.*, 2005; Korpi-Hyövähti *et al.*, 2012; Jackson *et al.*, 2011; Szmaja *et al.*, 2014).

Afin de valider l'hypothèse selon laquelle les conseils alimentaires peuvent permettre d'atteindre un ou plusieurs de ces objectifs, les interventions sont le plus souvent des essais randomisés contrôlés (ERC), car ils permettent d'apporter le plus haut niveau de preuve (Haute Autorité de Santé, 2013). Les femmes enceintes incluses dans ces essais sont réparties de manière aléatoire entre un groupe qui est conseillé sur le plan alimentaire selon une certaine méthode (groupe « intervention ») et un groupe qui ne l'est pas (groupe « témoin »), ce qui permet ainsi d'évaluer si l'intervention permet d'atteindre les objectifs fixés.

Dans le contexte actuel d'augmentation de la prévalence de l'obésité dans les pays développés (WHO, 2013) et au vu des effets délétères d'une obésité et/ou d'une prise de poids excessive de la mère pendant la grossesse sur de nombreuses issues de grossesse (Institute of Medicine et National Research Council, 2009; Ojha *et al.*, 2013), le critère d'évaluation principal choisi dans de très nombreuses études est la prise de poids de la mère (Asbee *et al.*, 2009; Hui *et al.*, 2014; Sagedal *et al.*, 2017; Thornton *et al.*, 2009; Vinter *et al.*, 2011; Wolff *et al.*, 2008). Dans ce type d'étude, l'objectif est que les femmes enceintes du groupe « intervention » prennent moins de poids ou qu'une plus forte proportion d'entre elles présentent une prise de poids non-excessive selon les recommandations

proposées par l'IoM en comparaison avec celles du groupe « témoin ». Certaines études ont suivi les femmes pendant quelques semaines ou mois après l'accouchement pour évaluer l'effet de l'intervention sur la perte et la rétention de poids dans la période post-partum (Sagedal *et al.*, 2017; Hawkins *et al.*, 2015; Thornton *et al.*, 2009; Wolff *et al.*, 2008).

De même dans le contexte actuel d'augmentation de l'incidence du diabète gestationnel (Ferrara, 2007), le nombre d'études ayant pour objectif principal de limiter l'incidence du diabète gestationnel chez des femmes présentant un ou plusieurs facteurs de risque ou d'améliorer les issues de grossesse et/ou la qualité de l'alimentation de femmes pour lesquelles un diabète gestationnel a été diagnostiqué s'est accru ces dernières années (Hawkins *et al.*, 2015; Koivusalo *et al.*, 2016; Luoto *et al.*, 2011; Poston *et al.*, 2015; Tieu *et al.*, 2017; Wolff *et al.*, 2008).

En dehors du diabète gestationnel et de la prise de poids, les paramètres de santé de la mère les plus souvent utilisés dans ces interventions comme critères d'évaluation (principal ou secondaires) sont : l'incidence de la pré-éclampsie, de l'hypertension, d'accouchement prématuré ou par césarienne (Asbee *et al.*, 2009; Dodd *et al.*, 2014; Hui *et al.*, 2014; Khoury *et al.*, 2005; Poston *et al.*, 2015; Sagedal *et al.*, 2017; Thornton *et al.*, 2009; Vinter *et al.*, 2011).

Parmi les études ayant pour objectif d'améliorer les paramètres de santé de l'enfant, le critère d'évaluation principal est souvent fonction du poids et de la taille de l'enfant, utilisés de manière brute pour déterminer un petit poids de naissance ou une macrosomie ou ajustés par l'âge gestationnel pour définir si l'enfant est trop gros ou trop petit par rapport à son âge gestationnel (Briley *et al.*, 2002; Gresham, Byles, *et al.*, 2014; Khoury *et al.*, 2005; Poston *et al.*, 2015; Sagedal *et al.*, 2017; Thornton *et al.*, 2009; Walsh *et al.*, 2012). Ce critère est également souvent évalué de manière secondaire (Asbee *et al.*, 2009; Dodd *et al.*, 2016; Hui *et al.*, 2014; Khoury *et al.*, 2005; Korpi-Hyövähti *et al.*, 2012; Quinlivan *et al.*, 2011; Vinter *et al.*, 2011) et peut être associé à d'autres critères, évalués moins fréquemment, tels que le score d'APGAR ou d'autres mesures anthropométriques (périmètres crânien, brachial, etc.) (Dodd *et al.*, 2016; Vinter *et al.*, 2011).

L'avantage du choix de ces différents critères pour l'évaluation de l'efficacité d'une étude d'intervention diététique est qu'ils sont mesurés dans le suivi classique de grossesse et qu'ils ont de la signification pour les professionnels de santé en charge du suivi des femmes enceintes.

À l'inverse, les critères en lien avec la qualité de l'alimentation et le statut nutritionnel (hors poids) ne sont pas évalués dans le cadre du suivi de grossesse classique (à l'exception de certains biomarqueurs) et ne sont pas perçus par les professionnels de santé comme importants pour caractériser la santé d'une femme pendant sa grossesse, comme cela a pu être montré dans certaines études qualitatives (Lucas *et al.*, 2014). Ainsi, l'amélioration de la qualité de l'alimentation des femmes enceintes est plus rarement identifiée comme l'objectif principal des études d'intervention diététique proposant des conseils alimentaires (Dodd *et al.*, 2014; Hawkins *et al.*, 2015; Hui *et al.*, 2014; Jackson *et al.*, 2011; Khoury *et al.*, 2005; Korpi-Hyövälti *et al.*, 2012). Les critères relatifs à la qualité de l'alimentation et au statut nutritionnel sont souvent utilisés comme critères d'évaluation secondaires pour attester du suivi des conseils par les femmes du groupe « intervention » (Opie *et al.*, 2016; Poston *et al.*, 2015; Sagedal *et al.*, 2017; Wolff *et al.*, 2008) et ne sont parfois mis en avant qu'en raison de l'absence de résultats concernant les critères d'évaluation relatifs aux issues de grossesse (Briley *et al.*, 2002). Certaines études proposant des conseils alimentaires pendant la grossesse ne prévoient pas de recueil d'informations permettant une évaluation de l'alimentation même basique (Asbee *et al.*, 2009; Thornton *et al.*, 2009; Vinter *et al.*, 2011).

4.1.2. La diversité des populations visées

Dans le cadre de cette thèse, seules les études ayant été effectuées dans les pays développés sont présentées, ainsi les populations de femmes enceintes incluses dans les différentes études sont le plus souvent celles présentant des caractéristiques sociodémographiques, anthropométriques et physiologiques identifiées comme des facteurs de risque pour leur santé et/ou celle du bébé et ayant une prévalence importante et préoccupante dans le pays.

Ces interventions ont assez fréquemment sélectionné leur population sur la base d'un critère anthropométrique : l'obésité et/ou le surpoids. À titre d'exemples, parmi les 13 études proposant des conseils alimentaires uniquement, ayant été incluses dans deux méta-analyses menées par Gresham *et al.* (Gresham, Bisquera, *et al.*, 2014; Gresham, Byles, *et al.*, 2014), quatre ont inclus uniquement des femmes obèses et/ou en surpoids (Quinlivan *et al.*, 2011; Thornton *et al.*, 2009; Vinter *et al.*, 2011; Wolff *et al.*, 2008). Par ailleurs, trois autres études présentaient une population dont l'IMC moyen était supérieur à 25 kg/m² (Asbee *et al.*, 2009; Buul *et al.*, 1997; Luoto *et al.*, 2011).

Parmi les neuf études incluses dans la méta-analyse de Streuling *et al.* examinant l'effet d'interventions relatives au mode de vie (conseils portant sur l'alimentation et l'activité physique) sur la prise de poids pendant la grossesse, trois ont inclus uniquement des femmes obèses. Par ailleurs, trois autres études présentaient une population dont l'IMC moyen était supérieur à 25 kg/m² (Streuling *et al.*, 2010).

Les études menées postérieurement à ces différentes méta-analyses sont également nombreuses à n'avoir inclus que des femmes obèses (Flynn *et al.*, 2015; Opie *et al.*, 2016; Poston *et al.*, 2015) ou des femmes obèses ou en surpoids (Dodd *et al.*, 2016; Grivell *et al.*, 2016; Hawkins *et al.*, 2015; Szmeja *et al.*, 2014). On remarque ainsi que peu d'études ont eu pour objectif d'évaluer l'effet d'une intervention diététique proposant des conseils alimentaires pour une population de femmes enceintes ayant un IMC pré-grossesse normal. C'est pourquoi, dans une revue systématique visant à évaluer l'effet d'interventions diététiques sur les issues de grossesse maternelles et néonatales chez des femmes normo-pondérales, O'Brien *et al.* ont été contraints d'inclure des études menées sur des populations de femmes enceintes de différents IMC dans lesquelles l'analyse par catégorie d'IMC était possible (O'Brien *et al.*, 2016).

Par ailleurs, dans le contexte actuel d'augmentation de la prévalence du diabète gestationnel (Ferrara, 2007), des critères supplémentaires tels qu'un âge maternel supérieur à 40 ans, un historique de diabète dans la famille ou le développement d'un diabète gestationnel lors d'une grossesse précédente ont parfois été ajoutés pour inclure uniquement des femmes présentant un risque important de développer un diabète gestationnel (Bonomo *et al.*, 2005; Kinnunen *et al.*, 2014; Koivusalo *et al.*, 2016; Korpi-Hyövähti *et al.*, 2012; Luoto *et al.*, 2011; Valkama *et al.*, 2016) ou l'ayant développé (Han *et al.*, 2017).

Enfin, d'autres études ont eu pour objectif de sélectionner les femmes enceintes sur des critères sociodémographiques afin de n'inclure que des femmes enceintes ayant de faibles revenus, identifiées comme potentiellement plus à risque de malnutrition (Briley *et al.*, 2002; Widga et Lewis, 1999).

Ainsi, on constate que très peu d'interventions ont été mises en place pour évaluer l'effet de conseils alimentaires sur le statut nutritionnel et/ou les issues de grossesse pour des femmes en bonne santé ou ne présentant pas de facteurs de risques identifiés de malnutrition.

4.1.3. La diversité des méthodes employées pour prodiguer des conseils alimentaires

Pour un même objectif et une population aux caractéristiques similaires, la méthode employée pour prodiguer les conseils alimentaires varie. En effet, on ne peut pas identifier *une* méthode employée pour prodiguer des conseils alimentaires pendant la grossesse, mais *des* méthodes. La diversité du type et du contenu des conseils alimentaires ainsi que des moyens mis en œuvre pour les prodiguer est présentée dans la quatrième et la cinquième colonne du **Tableau 16**.

Dans la majorité des études, les conseils alimentaires s'appuient sur des recommandations nationales génériques de consommations de groupes d'aliments (très proches de celles pour la population générale adulte). Même si le contenu spécifique et la manière de le libeller (conseils sur les groupes d'aliments et/ou sur les nutriments) sont variables, on retrouve dans chaque étude, des conseils visant à respecter tout ou partie des recommandations relatives à la consommation de fruits et légumes, de produits laitiers, d'aliments riches en fibres (à favoriser), et d'aliments riches en AGS et en sucres (à limiter). À titre d'exemples de conseils génériques, dans l'étude « The Fit for Delivery » menée en Norvège auprès de 606 femmes, les conseils alimentaires prodigués au groupe « intervention » (n = 303) visaient à suivre dix recommandations adaptées à partir de celles proposées par les pouvoirs publics norvégiens : (1) consommer des repas habituels à heures régulières, (2) boire de l'eau, (3) privilégier les fruits et légumes pour les collations, (4) consommer des légumes à chaque dîner, (5) ne consommer des confiseries que rarement, (6) n'acheter des aliments « non-sains » qu'en petite portion, (7) limiter les apports en sel, (8) limiter les apports en sucres ajoutés, (9) ne pas manger plus que sa faim et (10) lire les étiquettes avant d'acheter des aliments (Øverby *et al.*, 2015; Sagedal *et al.*, 2017).

On remarque également une forte diversité dans le nombre de conseils proposés. Ainsi, nous pouvons considérer deux exemples. L'étude de Hawkins *et al.*, proposait deux types de conseils visant à augmenter la consommation d'aliments riches en fibres et à diminuer celle d'aliments riches en AGS (Hawkins *et al.*, 2015) alors que l'étude de Korpi-Hyövälti *et al.* proposait de nombreux conseils alimentaires visant à l'adoption d'un régime avec un apport énergétique adapté selon le statut pondéral, respectant les recommandations concernant la répartition entre les macronutriments énergétiques (50 % de glucides, 30 % de lipides, 15-20 % de protéines, moins de 10 % d'AGS et 15 g de fibres pour 1 000 kcal). Par ailleurs, les femmes du groupe « intervention » étaient encouragées à consommer des fruits et légumes, des produits laitiers allégés, des viandes maigres, des matières grasses végétales et des produits céréaliers complets (Korpi-Hyövälti *et al.*, 2012).

On constate donc une grande disparité entre les conseils proposés, avec certaines études recommandant la mise en place d'un régime alimentaire équilibré pour les apports en macronutriments et adapté aux recommandations nationales ou internationales (Asbee *et al.*, 2009; Dodd *et al.*, 2014; Hui *et al.*, 2014; Thornton *et al.*, 2009; Wolff *et al.*, 2008) et d'autres études proposant des conseils encore plus simples ne proposant que d'atteindre les recommandations pour un nombre limité de groupes d'aliments (Hawkins *et al.*, 2015; Jackson *et al.*, 2011; Sagedal *et al.*, 2017; Vinter *et al.*, 2011). Parmi les études présentées dans le **Tableau 16**, les seules qui précisent qu'une information relative aux besoins nutritionnels spécifiques de la grossesse et aux nutriments-clés a été donnée sont celles de Briley *et al.*, dans laquelle une des sessions était spécifiquement dédiée à ce sujet (Briley *et al.*, 2002), et celle d'Opie *et al.* durant laquelle des objectifs individuels pour les apports en nutriments-clés durant la grossesse étaient fixés dès la première session (Opie *et al.*, 2016).

Les conseils portant sur l'activité physique ne seront pas détaillés dans cette thèse, mais dans certaines interventions relatives au mode de vie alliant conseils portant sur l'alimentation et sur l'activité physique (Dodd *et al.*, 2014; Hawkins *et al.*, 2015; Hui *et al.*, 2014; Jackson *et al.*, 2011; Korpi-Hyövälti *et al.*, 2012; Poston *et al.*, 2015; Vinter *et al.*, 2011; Sagedal *et al.*, 2017), l'accent pouvait être davantage mis sur l'activité physique.

La quasi-totalité des interventions (à l'exception de celle de Jackson *et al.*) ont eu recours à une intervention humaine pour donner les conseils. Ainsi, les conseils sont adaptés de recommandations génériques mais sont tout de même individualisés car donnés en personne à la femme enceinte par le diététicien (le plus souvent). Ce dernier s'adapte donc aux questions et intérêts de chaque femme, influencés par ses habitudes alimentaires. Une des premières études proposant des conseils alimentaires menée chez des femmes enceintes sans recours direct à une intervention humaine est celle de Jackson *et al.* (Jackson *et al.*, 2011). Au cours d'une session de quinze minutes à la maternité, les 158 femmes enceintes incluses dans le groupe « intervention » étaient mises face au programme informatique, Video Doctor, et répondaient à une série de questions relatives à leurs caractéristiques sociodémographiques et anthropométriques, à leur mode de vie (dont 18 questions relatives à la fréquence de consommation de groupes d'aliments) et à leur motivation au changement de comportement. Après chaque réponse (ou série de réponses), le programme informatique proposait une vidéo mettant en scène un médecin leur donnant des conseils sur le mode de vie (prise de poids,

activité physique et alimentation) adaptés selon les réponses. En matière d'alimentation, les conseils portaient sur l'augmentation de la consommation de fruits et légumes, de produits céréaliers complets et de matières grasses identifiées comme « saines » et la diminution de celle de produits sucrés. À la fin de la session, une fiche rappelant les conseils et objectifs, était imprimée et conservée par chaque femme (Jackson *et al.*, 2011). En dehors de l'absence d'intervention humaine directe, cette étude avait également la particularité d'utiliser des questions basées sur des théories de changement de comportement pour adapter l'intensité du conseil à la motivation de la femme enceinte. On retrouve l'utilisation de ces théories dans certaines études publiées récemment (Dodd *et al.*, 2014; Hawkins *et al.*, 2015; Poston *et al.*, 2015).

Par ailleurs, la plupart des études précisent qu'un support (guide, livre, ou DVD) a été donné en complément aux femmes enceintes incluses dans le groupe « intervention ».

Enfin, la dernière grande différence observable en termes de méthode est celle relative à la fréquence du conseil, allant d'une unique session (Asbee *et al.*, 2009) à dix (Wolff *et al.*, 2008). Dans certaines études, toutes les sessions s'effectuent en face-à-face alors que d'autres s'appuient sur des sessions téléphoniques intermédiaires (Dodd *et al.*, 2014; Hawkins *et al.*, 2015; Opie *et al.*, 2016; Sagedal *et al.*, 2017). Dans certaines études, en dehors de la première session, la participation aux autres sessions pouvait être explicitement présentée comme facultative (Briley *et al.*, 2002; Poston *et al.*, 2015).

4.2. L'efficacité des différentes interventions proposant des conseils alimentaires

Les interventions proposant des conseils alimentaires pendant la grossesse diffèrent en de nombreux points, ce qui empêche d'aboutir à une conclusion globale et simple sur le bénéfice du conseil alimentaire pendant la grossesse. Cependant, ces interventions, considérées séparément, ont démontré des effets bénéfiques sur l'alimentation maternelle et/ou sur les issues de grossesse.

4.2.1. Effets sur l'alimentation

Parmi les études présentées dans le **Tableau 16** et durant lesquelles des données de consommations alimentaires ont été recueillies, toutes rapportent au moins une amélioration de l'alimentation dans le groupe « intervention ». Ces améliorations peuvent porter sur des consommations de groupes d'aliments, des apports nutritionnels ou être considérées de manière globale à l'aide d'un indice de qualité de l'alimentation. Plusieurs types d'améliorations peuvent être observés en fonction de la comparaison effectuée lors des analyses, mais un seul type de comparaison permet d'évaluer strictement l'effet de l'intervention. Ainsi, si les différences d'apports et/ou consommations pré et post-intervention sont comparées entre le groupe « témoin » et le groupe « intervention », il est possible de conclure à un effet bénéfique strict de l'intervention, on parle alors de différence(s) seconde(s). Cependant, si la comparaison n'est pas effectuée entre les différences mais entre les apports et/ou consommations en post-intervention entre les deux groupes, la conclusion ne peut pas porter sur un effet strict de l'intervention, puisque les apports et/ou consommations initiales de chaque groupe ne sont pas pris en compte, on parle alors de différence(s) première(s). Enfin, si la comparaison est faite entre apports et/ou consommations observés en pré et en post-intervention au sein du groupe « intervention », une différence significative porte à la conclusion que l'intervention a un effet bénéfique au sein du groupe, mais pas par rapport à l'absence d'intervention. Cette différence est également qualifiée de première.

Dans l'étude de Körpi-Hyövälti *et al.*, les données de consommations alimentaires recueillies par trois enregistrements [pré-intervention (7 – 12 SG), au cours de l'intervention (26 – 28 SG) et post-intervention (36 – 40 SG)] ont permis de mettre en évidence une différence seconde en faveur du groupe « intervention » quant à l'augmentation du pourcentage d'énergie apporté par les AGPI. Inversement, l'augmentation significative de la proportion de femmes qui utilisaient des matières grasses d'origine végétale peut être seulement qualifiée de différence première en l'absence de comparaison avec le groupe « témoin » (Körpi-Hyövälti *et al.*, 2012).

La majeure partie des bénéfices des différentes interventions porte sur les consommations de groupes d'aliments et les apports en macronutriments énergétiques.

En ce qui concerne les consommations de groupes d'aliments, des différences secondes ont été mises en évidence pour les consommations de fruits et légumes (Dodd *et al.*, 2014; Jackson *et al.*, 2011), de produits céréaliers complets, de « poissons, avocats et noix », de matières grasses solides et d'aliments frits (Jackson *et al.*, 2011). Concernant les apports en macronutriments énergétiques, des différences secondes sont rapportées pour la diminution du pourcentage d'énergie apporté par les AGS, pour l'augmentation des apports en fibres (Dodd *et al.*, 2014) et pour l'augmentation du pourcentage d'énergie apporté par les protéines et les glucides au détriment des lipides (Wolff *et al.*, 2008).

Les comparaisons des apports entre groupes en post-intervention mettent en évidence des pourcentages d'énergie apportés par les protéines (Khoury *et al.*, 2005; Poston *et al.*, 2015) et des apports en fibres (Poston *et al.*, 2015; Walsh *et al.*, 2012) plus élevés et des apports (absolus ou rapportés à l'énergie) en lipides, en AGS (Hui *et al.*, 2014; Khoury *et al.*, 2005; Poston *et al.*, 2015) et en cholestérol (Hui *et al.*, 2014; Khoury *et al.*, 2005) plus faibles dans le groupe « intervention » que dans le groupe « témoin ». Concernant les glucides, une augmentation des apports (ou du pourcentage d'énergie apporté) (Khoury *et al.*, 2005) ou une diminution (Hui *et al.*, 2014; Poston *et al.*, 2015) sont observées selon les études.

Seules trois études parmi celles présentées dans le **Tableau 16**, rapportent des variations concernant les apports en vitamines et minéraux (Briley *et al.*, 2002; Dodd *et al.*, 2014; Khoury *et al.*, 2005). Dodd *et al.* ont mis en évidence des différences secondes pour l'augmentation des apports en calcium, potassium et vitamine B2 (sur la globalité de l'étude, c'est-à-dire en considérant les quatre évaluations des consommations faites à l'aide de QFA lors de l'étude) et en vitamines A et C, et folates (en considérant uniquement les évaluations des consommations faites à 28 (pendant l'intervention) et 36 (post-intervention) SG) (Dodd *et al.*, 2014). Khoury *et al.* rapportent uniquement des différences premières pour les apports en vitamines C, D et E et en magnésium en tenant compte de seize jours d'enregistrements des consommations répartis sur trois périodes pendant l'étude (Khoury *et al.*, 2005).

Enfin, deux études ont utilisé des indices globaux de qualité de l'alimentation comme critères d'évaluation. Dans l'étude de Dodd *et al.*, une augmentation plus importante du HEI a été observée dans le groupe « intervention » que dans le groupe « témoin », marquant un effet bénéfique de l'intervention sur la qualité de l'alimentation, telle qu'évaluée par le HEI (Dodd *et al.*, 2014). Dans l'étude de Sagedal *et al.*, un score spécifique évaluant le suivi des dix recommandations sur lesquelles étaient fondés les conseils prodigués au groupe « intervention » a été développé par les auteurs. Ce score était plus élevé en fin de grossesse (36 SG) dans le groupe « intervention » que dans le groupe « contrôle », mais les auteurs ne présentent pas de comparaisons des différences avec le score initial (Sagedal *et al.*, 2017).

Il convient de noter que les variations des apports observées diffèrent selon les études, mais sont difficilement comparables car les consommations alimentaires ne sont pas toujours évaluées avec la même méthode (QFA, enregistrement des consommations, carnet alimentaire...), le même nombre de fois et au même moment de la grossesse.

4.2.2. Effets sur la santé de la mère (issues de grossesse maternelles)

Parmi les interventions présentées dans le **Tableau 16**, certaines ont mis en évidence un effet bénéfique sur la prise de poids pendant la grossesse : les femmes enceintes du groupe « intervention » prenaient moins de poids que celles du groupe « témoin » (Asbee *et al.*, 2009; Hui *et al.*, 2014; Poston *et al.*, 2015; Quinlivan *et al.*, 2011; Sagedal, 2017; Thornton *et al.*, 2009; Walsh *et al.*, 2012; Wolff *et al.*, 2008).

Un autre critère relatif à la prise de poids pendant la grossesse est la prévalence d'une prise de poids excessive selon le statut pondéral (Institute of Medicine et National Research Council, 2009). Dans deux études, la prévalence des femmes présentant une prise de poids excessive pendant leur grossesse était moins importante dans le groupe « intervention ». L'intervention permet donc une prise de poids moins importante mais aussi plus conforme aux recommandations (Hui *et al.*, 2014; Walsh *et al.*, 2012).

Dans une méta-analyse, les auteurs concluent que les interventions proposant des conseils sur l'alimentation et l'activité physique permettent une moindre prise de poids, notamment pour les études incluant des femmes à hauts risques (en surpoids, obèses, à risque ou avec un diabète gestationnel), et une réduction de l'incidence d'une prise de poids excessive pour les études incluant des femmes normo-pondérales. Pour les interventions proposant uniquement des conseils alimentaires, aucune conclusion n'était possible en raison d'une trop grande hétérogénéité entre les études (Muktabhant *et al.*, 2015). Dans une méta-analyse ne considérant que les données obtenues pour des femmes normo-pondérales, les auteurs ont conclu à un bénéfice de l'intervention sur la prise de poids et de l'incidence d'une prise de poids excessive (O'Brien *et al.*, 2016).

Par ailleurs, plusieurs interventions ont eu un effet bénéfique de l'intervention sur l'incidence du diabète gestationnel (Opie *et al.*, 2016; Quinlivan *et al.*, 2011) ou sur des biomarqueurs du métabolisme glucidique (Opie *et al.*, 2016; Quinlivan *et al.*, 2011; Thornton *et al.*, 2009; Walsh *et al.*, 2012; Wolff *et al.*, 2008). Dans une récente méta-analyse, les auteurs concluent qu'il existe un niveau de preuve très faible sur le potentiel effet bénéfique d'interventions proposant des conseils alimentaires pour diminuer le risque de survenue du diabète gestationnel (Tieu *et al.*, 2017).

Enfin, des effets bénéfiques de l'intervention ont été rapportés pour d'autres paramètres de santé de la mère tels que l'hypertension (Thornton *et al.*, 2009), la cholestérolémie et l'accouchement prématuré (Khoury *et al.*, 2005). Dans une méta-analyse, un effet des interventions proposant du conseil alimentaire a été mis en évidence seulement pour la réduction de la pression artérielle systolique et diastolique (Gresham, Bisquera, *et al.*, 2014).

Ainsi, on constate qu'en dehors de la prise de poids, la diversité et l'hétérogénéité des études complexifient la mise en évidence d'un bénéfice de ces interventions sur les issues de grossesse.

4.2.3. Effets sur la santé de l'enfant (issues de grossesse néonatales)

L'effet d'une intervention diététique proposant des conseils alimentaires concernant les paramètres de santé de l'enfant est le plus souvent évalué par des paramètres mesurés à la naissance, dont le plus courant est le poids de l'enfant. Cependant, peu d'interventions ont eu un effet sur ce paramètre (Asbee *et al.*, 2009; Dodd *et al.*, 2016; Khoury *et al.*, 2005; Poston *et al.*, 2015; Quinlivan *et al.*, 2011; Sagedal *et al.*, 2017; Vinter *et al.*, 2011; Walsh *et al.*, 2012). Quelques études présentées dans le **Tableau 16** ont mis en évidence un poids de l'enfant plus élevé (Briley *et al.*, 2002; Korpi-Hyövälti *et al.*, 2012) alors que d'autres ont mis en évidence un poids de naissance plus faible (Hui *et al.*, 2014; Thornton *et al.*, 2009). Dans une méta-analyse, aucun effet des interventions proposant des conseils alimentaires sur le poids de naissance n'a été observé (Gresham, Byles, *et al.*, 2014).

Par ailleurs, aucune autre méta-analyse n'a mis en évidence un effet de l'intervention sur d'autres paramètres de santé de l'enfant, quelle que soit la catégorie d'études considérée (Muktabhant *et al.*, 2015). Dans les études ayant prolongé le suivi pendant quelques mois ou années après la naissance, aucun bénéfice de l'intervention sur les paramètres de santé considérés n'a été montré (Rauh *et al.*, 2015). Ainsi, il est complexe de conclure à un effet des interventions de conseil alimentaire sur les paramètres de santé de l'enfant.

Ainsi, la plupart des interventions sur le mode de vie qui proposent (notamment) des conseils alimentaires permettent d'améliorer certains aspects de l'alimentation de la mère, même si des différences secondes ne sont pas toujours mises en évidence. Cependant, en ce qui concerne les issues de grossesse, le seul effet bénéfique avéré concerne une moindre prise de poids de la mère pendant la grossesse grâce à l'intervention. Des effets sur les autres paramètres de santé de la mère et de l'enfant ne sont pas toujours observés, et s'ils le sont, ils sont très spécifiques de l'étude (quant à la population, l'objectif et le type de conseils alimentaires, par exemple) et donc difficilement généralisables.

4.3. Les interventions proposant des conseils alimentaires personnalisés générés à l'aide d'outils informatiques

Depuis une vingtaine d'années, les outils informatiques se sont développés et permettent de proposer des solutions de plus en plus rapides et efficaces pour gérer de larges bases de données et résoudre des problèmes complexes. Ainsi, l'utilisation de ces outils dans le domaine de la nutrition a permis de créer des algorithmes complexes incluant un grand nombre de variables pour chaque individu et de proposer des solutions personnalisées pour améliorer la qualité de leur alimentation (Brug *et al.*, 1999; Brug *et al.*, 2003; Celis-Morales *et al.*, 2015).

4.3.1. L'intérêt de la personnalisation des interventions diététiques

Lors d'interventions diététiques, l'emploi de conseils personnalisés générés à l'aide de programmes informatiques s'avère potentiellement plus efficace que l'emploi de conseils génériques (Broekhuizen *et al.*, 2012; Brug *et al.*, 1999; Kroeze *et al.*, 2006). Selon Celis-Morales *et al.*, trois étapes sont cruciales pour la mise en place d'une intervention personnalisée visant au changement de comportement : (1) la personnalisation pertinente des conseils en fonction des caractéristiques des individus, (2) l'emploi de théories et techniques de changement de comportement (TCC) adaptées et (3) la définition du meilleur support pour le recueil de données pour le relier facilement à l'outil informatique qui fournit les conseils aux individus (Celis-Morales *et al.*, 2015).

Ainsi, dans un premier temps, il est nécessaire d'identifier les caractéristiques les plus pertinentes pour personnaliser le conseil en fonction de la population et des changements de comportements visés. La prise en compte de caractéristiques individuelles par un programme informatique permet de proposer des conseils particulièrement adaptés à l'individu. Un grand nombre de caractéristiques de nature diverse (anthropométriques, physiologiques, socioéconomiques, mode de vie et alimentation) peuvent être considérées. Ainsi, les conseils générés apparaissent plus pertinents pour l'individu les recevant que des conseils génériques, dits à « taille unique » (« *one size fits all* ») (Celis-Morales *et al.*, 2015). La perception d'un conseil alimentaire par l'individu est un point critique à sa mise en place effective dans le régime. L'adaptation d'un conseil à un état physiologique donné est une première étape de personnalisation, mais l'ajout d'éléments relatifs au régime, aux préférences alimentaires et à la motivation au changement de comportement alimentaire de l'individu permettent d'accroître la personnalisation du conseil et ainsi son acceptabilité puis sa mise en place effective.

Dans un deuxième temps, il est fortement recommandé d'introduire des TCC pour maximiser les chances de réussite de l'intervention et de son maintien dans le temps par l'individu. Dans une récente méta-analyse portant sur les interventions visant à limiter la prise de poids pendant la grossesse, les interventions employant une des nombreuses TCC existantes (40, selon la taxonomie CALO-RE, Michie *et al.*, 2011) étaient plus efficaces que celles n'en employant pas (Hill *et al.*, 2013). Dans cette méta-analyse, les TCC ayant été identifiées comme les plus efficaces pour parvenir à limiter la prise de poids sont : (1) la fourniture d'informations relatives aux conséquences du comportement pour l'individu, (2) l'entretien motivationnel (discussion avec l'individu pour le motiver au changement de comportement), (3) l'incitation à la mise en place d'un suivi de son comportement par l'individu lui-même et (4) la récompense en cas de succès à la mise en place du comportement. Selon les populations et les comportements visés, d'autres TCC ont pu être identifiées comme efficaces, comme l'identification des barrières à la mise en pratique des conseils et l'aide à leur dépassement, l'identification de soutien(s) dans l'environnement social ou le fait d'effectuer un retour sur la mise en place ou non du comportement (Lara *et al.*, 2014).

Enfin, dans un troisième temps, il est nécessaire de définir les supports informatiques qui seront utilisés aux diverses étapes de l'intervention (recueil de données, fourniture des conseils...). Les interventions personnalisées utilisant des algorithmes développés sur des programmes informatiques sont également conçues pour engendrer des coûts potentiellement réduits (Celis-Morales *et al.*, 2015; Lairson *et al.*, 2004; de Vries et Brug, 1999). En effet, l'utilisation d'un programme informatique pour recueillir les données, générer les conseils associés et les prodiguer aux individus selon une même méthode, sans contrainte sur le moment et sur la présence d'une personne accréditée (si ce ne sont celles définies par le protocole), permet de limiter les coûts humains, temporels et financiers de l'intervention. L'utilisation d'algorithmes informatiques permet d'automatiser le processus et de le rendre répétable pour le même individu tout au long de l'intervention. Ces interventions, alors qualifiées d'interventions personnalisées dynamiques, ont été montrées comme particulièrement efficaces (Krebs *et al.*, 2010). Enfin, si les interventions diététiques personnalisées basées sur des outils informatiques, s'avèrent dans l'ensemble plus efficaces et moins coûteuses que les autres, il n'en existe pas un type mais une multiplicité car elles peuvent être adaptées à de nombreux niveaux (Brug *et al.*, 1999).

4.3.2. Les interventions personnalisées pendant la grossesse

Parmi les interventions diététiques proposant (notamment) des conseils alimentaires à des femmes enceintes, une large majorité était individualisée, c'est-à-dire qu'un ou plusieurs membre(s) de l'équipe de recherche (diététicien, spécialiste en santé publique, étudiant en nutrition...) étai(en)t chargé(s) de prodiguer les conseils à la femme enceinte selon le protocole établi. Cependant, à l'exception de deux interventions relatives au mode de vie (Hui *et al.*, 2014; Jackson *et al.*, 2011), aucune utilisation d'un algorithme basé sur un programme informatique n'est effectuée par le diététicien pour l'assister dans la définition de conseils alimentaires personnalisés.

Au Canada, Hui *et al.* rapportent spécifiquement l'utilisation d'un programme informatique précédemment développé et validé, le Food Choice Map (Shuaibi *et al.*, 2008), pour analyser les consommations alimentaires des femmes enceintes et assister le diététicien dans la définition d'un programme alimentaire personnalisé prenant en compte les choix alimentaires des femmes (Hui *et al.*, 2014). Durant la première session de conseil, les 57 femmes du groupe « intervention » devaient effectuer le rappel de leurs consommations alimentaires au cours d'une semaine « habituelle » avec le diététicien. Pour cela, elles plaçaient des vignettes correspondant à chaque aliment (ou à son sous-groupe) consommé sur le tableau Food Choice Map (**Figure 11**). Chaque vignette présentait un code-barres qui était scanné par le diététicien, qui pouvait ensuite sélectionner l'aliment correspondant dans une liste établie sur le programme informatique. Le tableau Food Choice Map présentait en colonnes les fréquences de consommation sur la semaine et en lignes les moments de consommation, ainsi le diététicien pouvait saisir dans le programme le nombre de fois où l'aliment était consommé au cours d'une semaine « habituelle » par moment de consommation puis ajouter l'information relative à la quantité consommée à l'aide d'un portionnaire présenté à la femme enceinte. Le programme calculait ensuite les apports en énergie et macronutriments de la femme enceinte et le diététicien proposait ainsi des modifications pour répondre aux recommandations canadiennes concernant l'alimentation pendant la grossesse. Chaque femme quittait la session avec un programme alimentaire hebdomadaire, qui était une adaptation de sa semaine alimentaire « habituelle » intégrant les modifications choisies avec le diététicien.

L'intervention n'était pas répétée dans le temps, une seconde session était simplement programmée avec chaque femme, deux mois après la première pour renforcer sa motivation à suivre le programme alimentaire défini (Hui *et al.*, 2014).

Par rapport aux caractéristiques d'une intervention personnalisée telle que décrite dans le paragraphe 4.3.1, l'outil informatique n'était utilisé que pour le recueil de données alimentaires et le calcul des apports en énergie et macronutriments. Aucun algorithme n'était utilisé, par la suite, pour générer les conseils proposés par le diététicien. L'objectif de l'intervention étant de limiter la prise de poids de la mère (et la prévalence d'une prise de poids excessive), le programme alimentaire était principalement construit pour proposer un apport énergétique correct avec un équilibre entre les différents macronutriments en suivant les recommandations pour la grossesse. Le nombre de modifications à appliquer était variable selon la femme enceinte et le contenu spécifique des conseils n'était pas détaillé (pas de priorité mentionnée pour l'atteinte de certaines recommandations de consommations de groupe(s) d'aliments, par exemple).

Par ailleurs, aucun détail n'était donné concernant une potentielle TCC utilisée pour les conseils alimentaires, même si la définition d'un programme alimentaire avec le diététicien en sous-tend plusieurs : la définition d'un objectif relatif au comportement et la planification des actions à mettre en place.

Finalement, une prise de poids de la mère moins importante, une moindre prévalence d'une prise de poids excessive et un plus faible poids de naissance de l'enfant ont été observés chez les femmes normo-pondérales uniquement, dans le groupe « intervention » par rapport au groupe « témoin ». Par ailleurs, les données alimentaires recueillies deux mois après l'inclusion (post-intervention) à l'aide de trois jours d'enregistrements des consommations alimentaires ont permis de mettre en évidence des différences premières pour les apports en énergie, glucides, lipides, AGS et cholestérol qui étaient plus faibles chez les femmes normo-pondérales du groupe « intervention » que du groupe « témoin » ; les mêmes résultats étaient observés pour les femmes ayant un IMC supérieur à 25 kg/m² sauf pour les apports en énergie et en glucides (Hui *et al.*, 2014).

L'étude de Jackson *et al.* présentée plus en détails dans le paragraphe 4.1.3 est construite selon les principes d'une intervention personnalisée basée sur un algorithme informatique. L'algorithme intègre des caractéristiques anthropométriques et relatives aux consommations alimentaires, à la pratique de l'activité physique et à la motivation au changement de comportement, recueillies à l'aide de 41 questions renseignées par la femme enceinte elle-même à l'aide de l'interface Video Doctor.

Les conseils proposés lors des vidéos sont alors personnalisés selon les caractéristiques déclarées de chaque femme. Par ailleurs, plusieurs TCC sont employées lors des différentes étapes de l'intervention. Tout d'abord, les vidéos ont été construites sur le principe de l'entretien motivationnel et fournissent des informations sur le comportement à adopter. Puis, la fiche éducative, imprimée en fin de session pour chaque femme définit les objectifs à atteindre. Enfin, la deuxième session avec Video Doctor, prévue quatre semaines après la première, prévoit de proposer un retour sur l'évolution du comportement par rapport à la première session. Cette intervention relative au mode de vie était donc uniquement basée sur le programme informatique (recueil de données, conseils prodigués, relation avec la femme enceinte).

Il convient de noter que les consommations alimentaires n'étaient évaluées que par 18 questions relatives à la consommation de groupes d'aliments d'intérêt pour l'intervention. Ainsi, même si des différences secondes ont été mises en évidence concernant les consommations de fruits et légumes, de produits céréaliers, d'aliments du groupe « poisson, noix, avocat », d'aliments frits et de matières grasses solides, aucune information concernant les apports nutritionnels n'a été apportée.

Par ailleurs, un bénéfice attribuable à l'intervention a été constaté sur la connaissance des recommandations alimentaires et relatives à la prise de poids pendant la grossesse et sur la durée de l'activité physique hebdomadaire (Jackson *et al.*, 2011).

Des interventions personnalisées basées sur des algorithmes informatiques menées auprès de femmes enceintes ont montré leur efficacité pour modifier d'autres types de comportements, tels que la diminution de la consommation de tabac (Naughton *et al.*, 2012) ou d'alcool (van der Wulp *et al.*, 2014) ou une combinaison de différents comportements comme la gestion du stress, la diminution de la consommation de tabac et l'augmentation de celle de fruits et légumes (Mauriello *et al.*, 2016). Les interventions personnalisées utilisant des algorithmes développés sur des programmes informatiques pour prodiguer des conseils adaptés aux caractéristiques individuelles et couvrant différents aspects de l'alimentation sont en nombre très réduits chez les femmes enceintes. Néanmoins, les résultats obtenus démontrent qu'il existe un intérêt à poursuivre les recherches pour les améliorer en intégrant davantage de caractéristiques individuelles relatives au régime, en automatisant la fourniture des conseils pour limiter les coûts et en utilisant des TCC adaptées à la population de femmes enceintes. Des protocoles en ce sens ont été proposés et sont en cours de réalisation (Chasan-Taber *et al.*, 2015).

Conclusion partielle

Dans cette partie, nous avons pu constater que les interventions qui proposent des conseils alimentaires à des femmes enceintes dans les pays développés diffèrent en de nombreux points : les objectifs qu'elles poursuivent, les caractéristiques anthropométriques et/ou sociodémographiques des femmes qu'elles incluent et les méthodes qu'elles emploient pour proposer les conseils. Les interventions sont souvent relatives au mode de vie, c'est-à-dire qu'elles incluent également des conseils portant sur l'activité physique. Une majorité de ces interventions, qu'elles soient purement diététique ou relative au mode de vie, s'est révélée bénéfique pour améliorer la qualité de l'alimentation des femmes pendant leur grossesse, soit en comparaison avec un groupe témoin, soit au cours du temps au sein du groupe ayant reçu les conseils. Les améliorations sont de différentes natures : augmentation de la consommation de groupes d'aliments « bénéfiques » (fruits et légumes, matières grasses végétales...) et diminution de celle d'aliments « non-bénéfiques » (aliments sucrés ou frits), amélioration de l'équilibre entre les divers macronutriments énergétiques, augmentation des apports en nutriments dont la consommation est trop faible (fibres, vitamines et minéraux...) et diminution de ceux dont la consommation est excessive (acides gras saturés, cholestérol...). Des effets de ces interventions sur quelques paramètres de santé de la mère et de l'enfant (principalement la prise de poids de la mère et le poids de l'enfant à la naissance) ont pu être mis en évidence mais pas de manière systématique. Les interventions personnalisées utilisant des algorithmes informatiques pour recueillir des données relatives aux caractéristiques individuelles, générer des conseils couvrant plusieurs aspects de l'alimentation, et les prodiguer à l'aide de TCC ont démontré leur efficacité pour améliorer la qualité de l'alimentation des individus. Les interventions de ce type en sont à leur début et très peu ont été mises en place pour des populations de femmes enceintes, mais les résultats obtenus sont encourageants. D'autres interventions personnalisées intégrant de multiples aspects de l'alimentation des femmes enceintes doivent être mises en place pour valider leur efficacité sur cette population spécifique et définir les caractéristiques qui s'avèrent être les plus pertinentes à leur construction et leur potentiel succès.

Conclusion

La grossesse correspond à un état physiologique spécifique dynamique, marqué par un fort anabolisme, entraînant un accroissement des besoins énergétiques et des besoins nutritionnels. L'ampleur de cet accroissement est variable entre les nutriments et pour un même nutriment selon les stades de développement du fœtus. Des apports nutritionnels insuffisants ou excessifs se sont révélés délétères aux issues de grossesse et à la santé de la mère et de l'enfant au court et au long-terme. Les apports nutritionnels des femmes enceintes dans les pays développés ne sont pas toujours adéquats en comparaison avec les recommandations nutritionnelles établies pour la grossesse à partir de données expérimentales par les différents comités d'expertise scientifique. Pourtant, les femmes rapportent des modifications de leur comportement alimentaire pendant la grossesse. Elles seraient plus enclines à l'adoption de comportements alimentaires plus sains mais éprouvent des difficultés quant à leur adoption effective. Ainsi, il paraît pertinent d'accompagner les femmes enceintes vers des comportements alimentaires plus sains en menant des interventions diététiques pendant la grossesse. Dans cet objectif, des interventions proposant des conseils alimentaires ont été menées auprès de populations de femmes enceintes. Ces interventions ont démontré quelques effets bénéfiques sur l'alimentation de la mère et sur certaines issues de grossesse comme la prise de poids de la mère. Cependant, ces interventions étant très diverses et hétérogènes, il est difficile de conclure à l'efficacité globale d'interventions proposant des conseils alimentaires aux femmes enceintes. Les interventions personnalisées utilisant des outils informatiques pour proposer des conseils alimentaires se sont développées ces deux dernières décennies. Même si elles sont de natures très diverses et donc difficilement comparables, celles-ci ont permis une amélioration du statut nutritionnel des individus et semblent prometteuses. Peu d'interventions personnalisées de ce type ont été mises en place pour des populations de femmes enceintes dans les pays développés et aucune n'a été proposée en France. Pour pallier ce manque, il serait utile d'élaborer un outil fondé sur un algorithme informatique générant des conseils alimentaires personnalisés et prenant en compte les recommandations nutritionnelles existantes pour la grossesse mais aussi les attentes des femmes enceintes françaises en matière d'alimentation. L'efficacité des conseils ainsi proposés pourrait alors être évaluée chez des femmes enceintes françaises dans le cadre d'un ERC.

CHAPITRE II

-

TRAVAUX DE THÈSE

1. Justification des travaux

Dans l'introduction bibliographique de cette thèse, nous avons pu constater que la grossesse est marquée par un accroissement des besoins nutritionnels qui doivent être satisfaits pour le bon déroulement de la grossesse et assurer une bonne santé de la mère et de l'enfant dans sa vie *in utero* mais aussi dans sa vie future. Or, dans les pays développés, y compris en France, différentes études épidémiologiques ont démontré que ces besoins ne sont pas toujours satisfaits, notamment pour des nutriments ayant une importance-clé lors de la grossesse. Nous avons également vu que les femmes enceintes seraient plus enclines à adopter une alimentation saine avec, pour principales motivations : la santé de leur enfant, leur propre santé et la réponse aux attentes de l'environnement social. Cependant, de nombreux autres déterminants entrent en jeu et peuvent entraver l'adoption d'une alimentation saine. Profitant de cette fenêtre d'opportunité, de nombreuses interventions proposant des conseils alimentaires ont été expérimentées auprès de populations de femmes enceintes afin de les accompagner vers une alimentation plus saine. En fonction de leur nature, ces interventions ont été d'efficacité variable. Par ailleurs, aucune intervention proposant des conseils alimentaires personnalisés n'a été mise en œuvre auprès de femmes enceintes en France. Ainsi, l'objectif de cette thèse était d'étudier les différents aspects de la nutrition pendant la grossesse et d'élaborer et d'évaluer une méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas afin d'améliorer l'adéquation nutritionnelle des femmes enceintes en France. Pour cela, la thèse s'est articulée en trois volets qui seront présentés et justifiés successivement dans cette partie. Tout d'abord, le premier volet consistait à élaborer différents types de conseils alimentaires et à évaluer, par l'intermédiaire de simulations informatiques, leur potentiel d'amélioration de l'adéquation nutritionnelle durant la grossesse. Ensuite, le second volet s'attachait à identifier les déterminants affectant le comportement alimentaire des femmes enceintes en France et à évaluer leur perception des conseils alimentaires et leur acceptabilité. Enfin, le troisième et dernier volet avait pour objectif d'évaluer en situation réelle lors d'une intervention diététique, l'efficacité de la méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas, telle qu'élaborée à l'aide des deux volets précédents.

1.1. Premier volet : *Elaboration de différents types de conseils alimentaires et simulations de leur potentiel d'amélioration de l'adéquation nutritionnelle pendant la grossesse*

1.1.1. Adaptation d'un indice de qualité de l'alimentation à la grossesse

Lors de l'introduction bibliographique, nous avons vu qu'il existe différents types d'indices évaluant la qualité de l'alimentation d'un individu. Les indices les plus fréquemment utilisés évaluent principalement le respect de recommandations alimentaires parfois combinées à des recommandations en nutriments. Ces indices ont été adaptés à la grossesse, le plus souvent par l'ajout de composantes spécifiques à l'alimentation pendant la grossesse, par exemple le respect des références nutritionnelles pour certains nutriments-clés pendant la grossesse. Cependant, à notre connaissance, il n'existe pas d'indice évaluant la qualité nutritionnelle de l'alimentation de manière globale, c'est-à-dire, un indice dont les composantes évalueraient le respect d'une grande majorité des références nutritionnelles, qui ait été utilisé chez les femmes enceintes, notamment en France.

Récemment, un indice permettant d'évaluer la qualité nutritionnelle de l'alimentation, le PANDiet, a été développé et validé pour la population adulte française (Verger *et al.*, 2012). Cet indice évalue la probabilité qu'un individu ait des apports adéquats en 24 nutriments. Le score de PANDiet moyenne deux sous-scores : le sous-score d'Adéquation évaluant les probabilités que les apports nutritionnels soient suffisants pour satisfaire les recommandations et le sous-score de Modération évaluant les probabilités que les apports ne soient pas excessifs. Le sous-score d'Adéquation se compose de 21 probabilités d'adéquation nutritionnelle pour les apports en protéines, glucides totaux, lipides totaux, AGPI, fibres, calcium, fer, magnésium, phosphore, potassium, zinc, vitamine A, thiamine, riboflavine, niacine, vitamine B6, folates, vitamine B12, vitamine C, vitamine D et vitamine E. Le sous-score de Modération se compose de 6 probabilités d'adéquation nutritionnelle pour les apports en protéines, glucides totaux, lipides totaux, AGS, cholestérol et sodium et de 12 pénalités potentielles correspondant aux limites supérieures de sécurité (LSS) définies pour les apports en rétinol, niacine, vitamine B6, folates, vitamine C, vitamine D, vitamine E, calcium, fer, magnésium, phosphore et zinc. Une septième probabilité d'adéquation pour les apports en sucres libres a été ajoutée au sous-score de Modération dans un second temps (Verger *et al.*, 2014).

Chaque probabilité d'adéquation est calculée à l'aide de la formule présentée dans la **Figure 12**, avec pour variables la référence nutritionnelle et le coefficient de variation associé.

Les références nutritionnelles utilisées dans le paramétrage pour la population adulte française étaient en grande majorité celles définies en France et correspondaient majoritairement aux BNM* (ou à l'AS* si le BNM* n'avait pas été déterminé) ou aux intervalles de référence (IR*) dans le cas des glucides et des lipides. Ces références sont présentées dans la **Figure 13**.

Cette approche permet d'intégrer l'ensemble des références nutritionnelles spécifiques à un état physiologique donné. Il est donc possible d'adapter l'indice PANDiet à la population de femmes enceintes en France en utilisant les références nutritionnelles spécifiques pour la grossesse dans son paramétrage. Cependant, certains nutriments, tels que l'iode ou le DHA, dont l'importance est clé pendant la grossesse, n'étaient pas pris en considération dans la version initiale du PANDiet. Il a donc été choisi d'ajouter la probabilité d'adéquation pour les apports en iode et de remplacer celle pour les apports en AGPI par quatre probabilités d'adéquation correspondant aux apports en différents AGPI pour lesquels des références ont été proposées en France : l'ALA, le LA, la somme EPA+DHA et le DHA (ANSES, 2011). Par ailleurs, deux probabilités d'adéquation ont été ajoutées pour le sélénium et la vitamine B5. Le sous-score de Modération n'a pas été modifié, à l'exception de l'ajout de deux pénalités potentielles correspondant aux LSS* établies pour les apports en iode et en sélénium.

Comme développé dans l'introduction, la plupart des besoins nutritionnels sont modifiés pendant la grossesse mais ne sont pas toujours couverts, il paraît important d'évaluer quelle serait la différence induite par une absence de modification de l'alimentation d'une femme en début de grossesse sur la qualité nutritionnelle de son alimentation. Ainsi, les données de consommations alimentaires (évaluées par trois rappels alimentaires de 24h) de 344 femmes en âge de procréer (âgées de 18 à 44 ans et non-ménopausées) ayant participé à ENNS ont été utilisées pour calculer les scores de PANDiet correspondant à la situation physiologique de femmes en âge de procréer et à celle de début de grossesse (non prise en compte des références nutritionnelles spécifiquement établies pour le troisième trimestre). Les travaux concernant l'adaptation de l'indice PANDiet à la grossesse et l'évaluation de la différence de qualité nutritionnelle de l'alimentation induite par la grossesse en l'absence de modification de l'alimentation sont présentés dans le **travail personnel n°1**.

1.1.2. Simulation de l'introduction de recommandations alimentaires génériques sur l'amélioration de la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse

Nous avons rapporté, dans l'introduction, que les besoins énergétiques augmentaient durant la grossesse. Même si l'évaluation des apports énergétiques pendant la grossesse et leur variation par rapport à la situation préconceptionnelle est complexe (Blumfield *et al.*, 2012; Kadawathagedara *et al.*, 2017), on peut supposer que pour que les besoins nutritionnels, accrus pendant la grossesse, soient satisfaits, l'apport énergétique doit être augmenté (AFSSA, 2001; EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2013; FAO/WHO/UNU, 2004). Ainsi, il paraît intéressant de savoir quel serait l'impact sur la qualité nutritionnelle de l'alimentation, telle que mesurée par le PANDiet, d'une augmentation de l'apport énergétique à hauteur de 150 kcal. Cette valeur avait été proposée comme référence pour le premier trimestre de grossesse lors de l'établissement des ANC* pour la population française en 1991 (Bresson et Rey, 2001) sur la base d'une précédente expertise de l'OMS et la FAO (FAO/WHO/UNU, 1985).

Il est possible d'imaginer deux approches pour l'augmentation de l'apport énergétique : une augmentation purement quantitative (c'est-à-dire une augmentation de la quantité de chaque aliment consommé sans modifier son pourcentage de contribution au régime) et une augmentation quantitative et qualitative (c'est-à-dire une introduction de nouveaux aliments dans le régime).

En France, dans le cadre du PNNS, un guide nutrition de la grossesse est proposé pour informer les femmes enceintes sur différents aspects de l'alimentation pendant la grossesse (INPES, 2015). Des collations y sont notamment proposées (**Figure 14**).

Ainsi, il nous a paru judicieux de simuler ce que seraient les effets sur la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse d'une augmentation des apports à hauteur de 150 kcal soit par une modification purement quantitative du régime soit par l'introduction d'aliments proposés dans des recommandations alimentaires en début de grossesse. Pour ce faire, les données de consommations alimentaires des 344 femmes en âge de procréer, présentées dans le paragraphe 1.1.1. ont été utilisées. Les méthodes employées et les résultats obtenus sont présentés dans le **travail personnel n°1**.

1.1.3. Conception de trois types de conseils alimentaires personnalisés et évaluation de leur impact sur la qualité nutritionnelle de l'alimentation en début de grossesse

Dans le cas d'interventions visant à faire adopter des comportements alimentaires plus sains aux individus, l'emploi de conseils personnalisés s'avère être potentiellement plus efficace que l'emploi de conseils génériques (Broekhuizen *et al.*, 2012; Brug *et al.*, 1999; Kroeze *et al.*, 2006). De plus, les interventions personnalisées dynamiques sont tout particulièrement efficaces car elles procèdent par répétitions pour un même individu (Krebs *et al.*, 2010). Enfin, les approches dites « personnalisées » utilisant des algorithmes développés sur ordinateur engendrent des coûts potentiellement réduits (Lairson *et al.*, 2004; de Vries et Brug, 1999). Ainsi, il paraît intéressant de développer une approche personnalisée, dynamique et guidée par étape, pouvant générer des conseils alimentaires spécifiquement adaptés aux besoins nutritionnels spécifiques de la grossesse et au régime de chaque femme à l'aide d'un algorithme informatique.

L'application des outils de programmation informatique à la nutrition a permis le développement de plusieurs méthodes utilisant des algorithmes visant à améliorer les régimes alimentaires observés à l'échelle individuelle, notamment dans la population française.

À titre d'exemple, la programmation linéaire, méthode mathématique permettant de trouver la meilleure solution possible à un ensemble d'équations et inéquations linéaires, permet d'identifier des combinaisons d'aliments qui respectent un ensemble de recommandations nutritionnelles (Darmon et Moy, 2009). Ainsi, les travaux ayant utilisé cette approche ont défini, à partir de données de consommations individuelles, des régimes optimisés sur une semaine pour 1 171 adultes ayant participé à l'étude INCA1 (Maillot *et al.*, 2010). L'optimisation tenait compte de plusieurs contraintes : le respect des recommandations nutritionnelles (*contraintes nutritionnelles*), un apport énergétique constant et une quantité d'aliments consommée inférieure ou égale à 115 % par rapport au régime observé (*contraintes énergétique et de quantité consommée*) et la non-introduction d'aliments dans une quantité qui soit supérieure au 95^e percentile observé dans la population (*contraintes d'acceptabilité sociale*). L'algorithme de programmation linéaire, dans sa fonction objectif, devait choisir des aliments présents dans le régime observé de l'individu, diminuer aussi peu que possible la quantité d'aliments consommés dans le régime observé, n'introduire des aliments non présents dans le régime observé que si nécessaire et, si une introduction s'avérait nécessaire, privilégier les aliments les plus fréquemment consommés dans la population française (Maillot *et al.*, 2010). Ainsi, en se basant sur les données de consommations alimentaires d'un individu donné, il est possible de

générer un régime tenant compte de ses habitudes alimentaires, optimisé en fonction des recommandations nutritionnelles (uniquement) établies pour son statut physiologique, tout en respectant d'autres contraintes pouvant être basées sur l'apport énergétique, les quantités consommées (Maillot *et al.*, 2010), mais aussi sur le coût (Maillot *et al.*, 2017; Perignon *et al.*, 2016), la quantité de contaminants ingérée (Barré *et al.*, 2016) ou l'impact environnemental (Perignon *et al.*, 2016). Cependant, une des limites de ce type de modélisation est que le régime optimisé correspond à une combinaison d'aliments consommés dans des quantités ne correspondant pas nécessairement à des portions identifiables par les consommateurs (puisque'il peut s'agir notamment de modifications de l'ordre du gramme). De plus, ces conseils ne sont ni successifs, ni planifiables dans le temps. Ainsi, cela rend plus difficile la proposition de conseils alimentaires personnalisés qui soient applicables en pratique par les individus (Maes *et al.*, 2008).

Un autre type de méthode a été utilisé dans la population adulte française afin d'optimiser l'adéquation nutritionnelle des régimes observés telle que mesurée par le PANDiet. L'algorithme utilisé génère des substitutions permettant d'optimiser le score de PANDiet selon un processus itératif par étape. Le score de PANDiet est calculé pour le régime observé (étape 1) puis l'ensemble des substitutions permises sont testées par le modèle (étape 2) et celle qui permet la plus forte augmentation du score de PANDiet est intégrée dans le régime (étape 3). Sur la base du score de PANDiet associé à la substitution optimale, les étapes 2 et 3 sont répétées selon un processus itératif jusqu'à aboutir à un régime optimal ayant intégré 20 substitutions (**Figure 15**, Verger, 2013; Verger *et al.*, 2014). Trois scénarios de substitutions étant *a priori* de difficulté d'application croissante dans le régime ont été développés. Les scénarios permettent respectivement la substitution d'un aliment présent dans le régime par sa version allégée en sucres et/ou en matières grasses (scénario n°1), par un aliment du même sous-groupe d'aliments (scénario n°2) et par un aliment du même groupe d'aliments (scénario n°3). Les substitutions permises par les scénarios n°1 et 2 se font à quantités égales. Dans le cas des substitutions permises par le scénario n°3, la portion de l'aliment introduit par la substitution est calculée à l'aide du rapport entre la portion médiane observée dans son sous-groupe et celle observée dans le sous-groupe de l'aliment remplacé. Par ailleurs, afin d'être plus réalistes, les substitutions du scénario n°3 n'étaient permises que par moments de consommation. Chaque scénario a été testé séparément à partir des données de consommations alimentaires de 1 330 adultes ayant participé à ENNS. Ainsi, trois régimes alimentaires optimisés ont été générés pour chacun des 1 330 individus.

En comparaison avec la programmation linéaire, cette approche permet de proposer des conseils alimentaires à portions équivalentes et ainsi de rendre les quantités consommées identifiables par les individus puisqu'équivalentes à celles déclarées. Cependant, aucun des scénarios développés ne permettait d'augmenter ou de diminuer les quantités consommées d'aliments. Pourtant, cela permettrait de générer des choix qui soient encore plus proches des habitudes alimentaires de chaque individu, dans le cas où des portions identifiables par les individus seraient définies. Par ailleurs, dans le cas de cette étude, aucune contrainte sur l'apport énergétique n'avait été fixée, ainsi, par rapport à l'apport énergétique initial, une diminution (en moyenne, -114 ± 2 kcal/j) était observée dans le scénario n°1 (par construction), aucune modification significative (en moyenne, -51 ± 6 kcal/j) n'était observée dans le scénario n°2, une augmentation (en moyenne, $+204 \pm 9$ kcal/j) était induite par le scénario n°3 (Verger *et al.*, 2014).

Ainsi, il paraît intéressant d'utiliser l'approche de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas proposée dans cette dernière méthode pour la population de femmes enceintes en France, avec quelques modifications s'inspirant de ce qui a été fait en programmation linéaire. En effet, l'élaboration d'un nouveau scénario de conseils alimentaires introduisant des modifications de quantités consommées d'aliments, avec une contrainte d'acceptabilité visant à ne pas proposer d'augmentation de la quantité consommée trop importante par rapport à ce qui est observé dans la population adulte, peut être envisagée. Par ailleurs, il convient d'introduire des contraintes relatives aux variations de l'apport énergétique pour la population de femmes enceintes dans chaque scénario. Les femmes enceintes n'étant pas supposées diminuer leur apport énergétique, les substitutions induisant une diminution de l'apport énergétique initial ne devront pas être autorisées. Cependant, afin de prévenir toute prise de poids excessive, les substitutions induisant une augmentation de l'apport énergétique supérieure aux recommandations ne devront pas être autorisées. Le scénario n°1 induisant par nature une diminution de l'apport énergétique ne peut donc pas être utilisé pour les femmes enceintes.

Dans le cadre de ces travaux de thèse, à partir des données de consommations alimentaires des 344 femmes en âge de procréer ayant participé à ENNS (décrites dans le paragraphe 1.1.1.), trois types de conseils alimentaires visant à optimiser le score de PANDiet de début de grossesse ont été testés séparément avec une contrainte pour l'apport énergétique.

Le type n°1 permet une modification des quantités consommées d'aliments présents dans le régime alimentaire. Les types n°2 et n°3 ont été construits selon les travaux de Verger *et al.* (Verger, 2013; Verger *et al.*, 2014), avec quelques élargissements dans le type n°3 pour permettre des substitutions entre aliments de différents groupes à condition qu'ils soient consommés au même moment dans le contexte alimentaire français (par exemple, un yaourt peut être remplacé par un fruit et inversement, ou un gâteau consommé au petit-déjeuner peut être remplacé par des céréales de petit-déjeuner). Le détail des substitutions permises dans le type n°3 est présenté dans le matériel supplémentaire du **travail personnel n°2**. Le choix a été fait de limiter le nombre d'étapes à 10, d'une part, car au-delà le score de PANDiet n'était que très peu augmenté lors des travaux de Verger *et al.* et, d'autre part car la grossesse étant une période courte, il paraissait difficile de mettre en place plus de 10 conseils alimentaires. La **Figure 16** présente un schéma explicatif des trois types de conseils alimentaires utilisés dans nos travaux de simulations à partir des données de consommations alimentaires de femmes en âge de procréer.

Les méthodes employées et les résultats obtenus sont présentés dans le **travail personnel n°2**.

1.2. Deuxième volet : Identification des déterminants affectant le comportement alimentaire des femmes enceintes en France et évaluation de la perception et de l'acceptabilité des conseils alimentaires personnalisés générés selon notre méthode

Afin d'identifier les déterminants affectant le comportement alimentaire des femmes enceintes en France et d'évaluer leur perception des conseils alimentaires personnalisés tels que générés par la méthode présentée dans le paragraphe 1.1., une étude qualitative, employant la méthode des groupes de discussion, et une étude quantitative longitudinale (six semaines) en ligne ont été effectuées. La combinaison des deux études, connue sous l'appellation de « méthodes mixtes », permet ainsi d'allier la force de données verbales riches et de données numériques pour répondre à notre objectif (Pluye et Hong, 2014).

1.2.1. L'emploi d'une méthode de recherche qualitative : les groupes de discussion

En comparaison avec les méthodes quantitatives, l'emploi de méthodes qualitatives utilise une approche holistique et globale d'un phénomène qui permet d'explorer des thématiques sur lesquelles on dispose de peu (ou pas) de données et d'appréhender les expériences profondes des individus relatives à ces thématiques. Elles peuvent également permettre de mettre en évidence des variables d'intérêt qui pourront par la suite être évaluées de manière quantitative par le développement de questionnaires appropriés (Corbin et Strauss, 2015). Ainsi, nous avons vu dans la troisième partie de l'introduction, que des études qualitatives ont permis d'explorer le rapport à l'alimentation des femmes pendant la grossesse et d'en appréhender les déterminants.

Les groupes de discussion présentent l'avantage de générer une dynamique propice à des échanges riches entre des individus partageant des caractéristiques similaires (Krueger et Casey, 2014). Cela présente un intérêt majeur dans le cadre de ce volet des travaux de thèse. Les participantes aux groupes de discussion, partageant une caractéristique majeure : leur grossesse, pourront ainsi échanger et partager leurs points de vue et leur appréciation de la méthode de conseils alimentaires proposée de manière plus dynamique que lors d'entretiens individuels.

Afin d'obtenir des données permettant d'identifier les déterminants affectant le comportement alimentaire des femmes enceintes participant aux groupes de discussion et d'évaluer leur perception des conseils alimentaires personnalisés tels que générés par notre méthode, un guide d'entretien a été élaboré. Il comporte les trois thèmes suivants : le rapport à l'alimentation pendant la grossesse ;

la recherche d'informations sur l'alimentation pendant la grossesse ; et le besoin de bénéficier de conseils alimentaires personnalisés pendant la grossesse et plus spécifiquement la perception de notre méthode de conseils alimentaires personnalisés pour la grossesse. Conformément à ce qui est préconisé dans la conception d'études qualitatives, ces thèmes sont abordés successivement car ils sont de plus en plus spécifiques. Avant d'aborder le dernier thème, la méthode employée pour générer des conseils personnalisés ainsi que les trois types de conseils sont présentés aux participantes.

En France, il existe des disparités socio-économiques, démographiques et régionales quant à l'alimentation et à sa perception (Escalon *et al.*, 2009). Ainsi, pour permettre de recueillir des données concernant des femmes enceintes de divers profils évoluant dans des contextes différents, les seuls critères de non-inclusion dans l'étude étaient basés sur le fait de devoir bénéficier de conseils alimentaires spécifiques durant cette grossesse (diabète gestationnel lors de cette grossesse ou grossesse multiple). De plus, deux régions ont été sélectionnées pour le recrutement des femmes enceintes participant aux groupes de discussion : Île-de-France et Provence-Alpes-Côte d'Azur. Ainsi, l'étude regroupe des femmes enceintes aux profils sociodémographiques et anthropométriques variés. Selon la méthodologie des enquêtes qualitatives, le recueil de données doit se poursuivre jusqu'à atteindre la saturation, c'est-à-dire lorsque les dernières données n'ont pas apporté d'éléments nouveaux.

Sept groupes de discussion incluant 40 femmes enceintes au total ont été constitués à Paris (5 groupes, n = 27) et Aix-en-Provence (2 groupes, n = 13). Les discussions issues de ces groupes ont été retranscrites, puis analysées selon des méthodes préétablies (Fade et Swift, 2011; Tong *et al.*, 2007). Le détail des méthodes utilisées dans cette étude est présenté dans les **travaux personnels n°3 et n°4**. Les résultats des analyses ont été séparés en deux thèmes : le rapport à l'alimentation et la recherche d'informations pendant la grossesse, présentés dans le **travail personnel n°3**, et le besoin de bénéficier de conseils alimentaires et les réactions quant à notre méthode de conseils alimentaires personnalisés pendant la grossesse, présenté dans l'article issu du **travail personnel n°4**.

Les données et résultats relatifs aux deux thèmes présentés dans le **travail personnel n°3** ont notamment été utilisés pour construire des questionnaires quantitatifs ayant ensuite été proposés à des femmes enceintes lors d'une étude longitudinale en ligne.

1.2.2. Une étude quantitative longitudinale en ligne pour évaluer l'acceptabilité des conseils alimentaires générés par notre méthode

Avant d'évaluer si la méthode conçue pour générer les conseils alimentaires personnalisés serait efficace pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de femmes enceintes, il est nécessaire d'évaluer si l'approche proposée leur paraît pertinente, crédible, acceptable et attractive. En effet, si ces critères ne sont pas validés par les femmes enceintes, il paraît peu probable qu'elles appliquent effectivement les conseils alimentaires dans leur alimentation (Weinrich, 2011). Ainsi, comme cela a pu être effectué lors de certaines interventions diététiques menées dans d'autres catégories de la population (Gardner *et al.*, 2014; Lara *et al.*, 2015; Vandelanotte *et al.*, 2004), l'évaluation de la perception des conseils alimentaires de chaque type par les femmes enceintes est un élément-clé pour affiner notre approche et l'adapter au mieux à leurs attentes. L'emploi d'une étude longitudinale en ligne, comportant notamment des questionnaires quantitatifs, permet de compléter l'étude qualitative en apportant des données numériques sur l'appréciation des conseils alimentaires. L'approche longitudinale en ligne permet d'augmenter la durée d'exposition des femmes enceintes aux conseils alimentaires, de multiplier le nombre de conseils alimentaires évalués sans engendrer une surcharge d'informations et de les suivre sur une période longue sans engendrer de déplacement ou intervenir à leur domicile (QualiQuanti, 2014).

Les différentes études présentées dans la troisième partie de l'introduction bibliographique et l'étude qualitative menée dans le cadre de cette thèse ont permis d'identifier les leviers et les barrières à la mise en place de conseils alimentaires pendant la grossesse. Parmi les barrières, l'accessibilité, le prix, les préférences des autres membres du foyer ou le manque de temps peuvent se révéler au moment où la femme enceinte est confrontée à la potentielle opportunité de mettre en place le conseil. De même, parmi les leviers, le plaisir de la découverte de nouveaux goûts ou le fait que les autres membres de l'entourage soutiennent la mise en place de conseils pouvaient ne pas avoir été identifiés *a priori* et se révéler plus tard. Ainsi, il paraît pertinent de proposer aux femmes enceintes incluses dans l'étude d'évaluer chaque conseil *a priori*, c'est-à-dire lorsqu'elle en prend connaissance face à son ordinateur, puis *a posteriori* après une semaine où elle aurait pu potentiellement appliquer le conseil dans son alimentation.

Enfin, dans cette étude « pilote », il paraît difficile d'évaluer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de chaque femme incluse et d'utiliser ainsi notre méthode pour générer des conseils alimentaires personnalisés correspondant à chaque type. Cependant, pour être au plus proche des conseils qui seraient le plus probablement proposés par notre méthode, les conseils alimentaires les plus générés pour chaque type lors des travaux de simulations ont été sélectionnés pour être évalués par les femmes enceintes dans cette étude. Par ailleurs, les participantes ont renseigné un FFQ simplifié comportant 56 items correspondant aux sous-groupes d'aliments considérés dans les conseils et ont répondu, avant que chaque conseil leur soit proposé, à une question relative à leur consommation de l'aliment concerné par le conseil. Si la participante ne consommait pas le sous-groupe et/ou l'aliment concerné par le conseil, un conseil remplaçant lui était proposé. Ainsi, les conseils évalués dans l'étude sont personnalisés aux habitudes alimentaires initiales des femmes mais pas à l'adéquation de leurs apports nutritionnels.

À chaque évaluation quantitative, une question ouverte permettait à chaque femme d'expliquer son choix (évaluation qualitative du conseil).

À l'issue de la période d'évaluation quantitative des conseils, les trois types ont été expliqués aux femmes enceintes et un questionnaire visant à évaluer leur appréciation de la méthode pour une utilisation pendant la grossesse leur a été proposé. Par ailleurs, un questionnaire adapté de la TCP a permis d'évaluer certains déterminants de la modification des habitudes alimentaires des participantes pendant leur grossesse.

Ainsi, afin de répondre à l'objectif initial de l'étude, 115 femmes enceintes résidant en France et membres du panel de consommateurs en ligne de l'agence de recherche marketing QualiQuanti ont été incluses dans une étude longitudinale en ligne et réparties en trois groupes de manière aléatoire afin d'évaluer trois jeux de six conseils alimentaires (deux par type) dans des ordres différents. Les méthodes et résultats relatifs à l'évaluation quantitative longitudinale des conseils sont présentés dans le **travail personnel n°2**, dans lequel l'acceptabilité et l'efficacité nutritionnelle des conseils ont été comparées. Les méthodes et résultats relatifs à la modification des habitudes alimentaires pendant la grossesse, à l'évaluation qualitative longitudinale des conseils et à l'appréciation de la méthode pour une utilisation pendant la grossesse sont présentés dans le **travail personnel n°4**.

1.3. Troisième volet : évaluation de l'efficacité de notre méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de régimes de femmes enceintes

Nous avons vu dans la quatrième partie de l'introduction de cette thèse que de nombreuses études d'intervention proposant des conseils alimentaires pour améliorer la qualité de l'alimentation (apports nutritionnels et/ou consommations de groupes d'aliments) et/ou les issues de grossesse ont été menées dans les pays développés. Ces études étant très hétérogènes, il est complexe d'aboutir à une conclusion simple et linéaire sur l'efficacité de conseils alimentaires pendant la grossesse.

À notre connaissance, seules quelques études ont utilisé des outils informatiques pour générer des conseils relatifs au mode de vie et à l'alimentation pendant la grossesse (O'Brien *et al.*, 2014). Parmi ces études, une seule regroupait tous les critères d'une intervention personnalisée et proposait des conseils adaptés aux habitudes alimentaires des femmes enceintes de tout IMC. Cependant, les conseils générés fixaient des objectifs concernant l'atteinte progressive de recommandations relatives aux consommations de quatre groupes d'aliments uniquement (Jackson *et al.*, 2011). Aucune de ces études ne proposait des conseils alimentaires personnalisés, adaptés à la qualité nutritionnelle de l'alimentation de femmes enceintes, générés à l'aide d'un algorithme développé sur une application informatique.

Notre approche globale de la qualité nutritionnelle de l'alimentation développée lors des travaux des premier et deuxième volets de cette thèse apparaît comme innovante dans la manière de proposer des conseils alimentaires adaptés aux besoins spécifiques de la grossesse mais aussi au régime alimentaire de la femme enceinte.

De plus, nous avons vu que les approches personnalisées aux apports nutritionnels et à différentes caractéristiques des individus, développées sur des applications informatiques ont été identifiées comme plus efficaces que des approches plus génériques (Broekhuizen *et al.*, 2012; Brug *et al.*, 1999).

Ainsi, notre hypothèse est que lors d'une étude d'intervention diététique, l'emploi de notre approche personnalisée et guidée par étape, utilisant un algorithme intégré dans une application informatique, peut permettre de proposer des conseils alimentaires plus efficaces nutritionnellement et plus applicables pratiquement par les femmes enceintes. L'emploi de cette approche, en accompagnement de recommandations alimentaires génériques pour la grossesse, peut ainsi entraîner une amélioration plus importante de la qualité nutritionnelle de l'alimentation qu'une approche reposant sur des recommandations alimentaires génériques uniquement.

Par ailleurs, la caractérisation des attentes des femmes enceintes françaises en matière de conseils alimentaires, permise par les études qualitative et quantitative menées précédemment, permet d'adapter la communication des conseils et d'accroître l'effet de l'intervention personnalisée.

Pour répondre à cette hypothèse, l'ERC « MON CAP Grossesse » incluant 80 femmes enceintes entre 10 et 24 semaines d'aménorrhée (SA), ayant un IMC normal et n'ayant pas développé de diabète gestationnel durant cette grossesse ou une grossesse précédente a été menée au sein de la maternité Notre-Dame de Bon Secours (Groupe Hospitalier Paris Saint-Joseph, 75014, Paris). Les femmes ont été réparties en deux groupes (« témoin » et « intervention »). Les femmes des deux groupes ont renseigné en ligne un recueil alimentaire (trois enregistrements des consommations sur 24h correspondant à deux jours de semaine et un jour de week-end définis de manière aléatoire sur une période de deux semaines) à deux reprises (pré-intervention et post-intervention). Ces recueils alimentaires ont permis d'évaluer les apports nutritionnels de chaque femme et de calculer le score de PANDiet associé, défini comme critère d'évaluation principal de l'étude.

Toutes les femmes ont participé à trois entretiens diététiques espacés de deux semaines (le premier en face-à-face et les deuxième et troisième par téléphone). Elles ont toutes reçu le guide nutrition de la grossesse présentant les recommandations génériques concernant le mode de vie et l'alimentation pendant la grossesse (INPES, 2015) qui leur a été présenté lors du premier entretien diététique et a été discuté en cas de questions lors des deux suivants. En comparaison avec celles du groupe « témoin », les femmes du groupe « intervention » ont reçu neuf conseils alimentaires personnalisés (trois par entretien diététique) destinés à améliorer la qualité nutritionnelle de leur alimentation. Les conseils ont été générés selon la méthode développée précédemment.

Afin de tenir compte de l'avancée dans la grossesse des femmes incluses, le maximum pour l'augmentation de l'apport énergétique initial a été ici fixé à 190 kcal (delta entre les augmentations d'apport énergétique proposées par l'EFSA pour le premier et le deuxième trimestre de grossesse, EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2013).

Par ailleurs, l'approche personnalisée a été adaptée et améliorée en fonction des résultats obtenus lors des études menées dans le deuxième volet de cette thèse. Ainsi, pour chaque conseil, chaque femme pouvait choisir parmi trois possibilités générées par l'algorithme : deux conseils portant sur des substitutions d'aliments au sein d'un sous-groupe (type n°2) et un conseil portant sur la

modification des quantités d'aliments qu'elle avait déclaré consommer dans son recueil alimentaire (type n°1). Ensuite, en tenant compte du conseil précédemment choisi, l'algorithme générait à nouveau trois possibilités de conseils (deux de type n°2 et un de type n°1), entre lesquelles la participante devait choisir. Le processus de choix des conseils a été répété trois fois par entretien diététique afin que chaque participante bénéficie de neuf conseils alimentaires personnalisés au total, tout en évitant une surcharge d'informations et en suivant notre approche par étape.

Les femmes recevaient, une fois par semaine, un message électronique récapitulatif des conseils pour maintenir leur motivation.

Après avoir renseigné le recueil alimentaire post-intervention, elles ont répondu à deux questionnaires en ligne : le premier adapté de la TCP visant à évaluer les déterminants de la modification des habitudes alimentaires et le second visant à évaluer leur appréciation des conseils alimentaires génériques et/ou personnalisés reçus lors de l'étude. Les données de ces questionnaires, enrichies par des entretiens semi-directifs menés auprès de dix femmes (cinq par groupe, tirées au sort à l'issue des douze semaines de suivi diététique) sont nécessaires pour comprendre les déterminants de l'application de conseils alimentaires par les femmes incluses et ainsi d'améliorer l'approche.

Les différentes étapes du suivi diététique de douze semaines sont présentées sur la **Figure 17**.

Le détail des méthodes et les résultats relatifs à l'effet de l'intervention sur le critère d'évaluation principal sont présentés dans le **travail personnel n°5**. Les méthodes et résultats préliminaires relatifs à l'appréciation et la perception de cette étude d'intervention diététique par les femmes enceintes incluses combinant les données quantitatives issues des questionnaires bilans et les données qualitatives obtenues lors des entretiens sont présentés dans le **travail personnel n°6**.

2. Travaux personnels

Cette deuxième partie du chapitre II présente les travaux personnels effectués dans le cadre de cette thèse. Les **travaux personnels n°1 à 5** sont présentés par l'intermédiaire d'articles (publiés, soumis ou à soumettre) rédigés en anglais, précédés d'un bref résumé rédigé en français et suivis du matériel supplémentaire soumis ou à soumettre lors de la publication. Le **travail personnel n°2** est également suivi de résultats supplémentaires qui n'ont pas été soumis pour publication afin de conserver une ligne directrice simple dans la présentation des résultats, mais qu'il paraissait pertinent d'inclure dans cette thèse. Les résultats du **travail personnel n°6** ne sont que préliminaires et n'ont pas encore donné lieu à la rédaction d'un article. Ainsi, le **travail personnel n°6** est présenté par une introduction, une explication des méthodes employées et un exposé des résultats préliminaires couplé à leur discussion.

2.1. Travail personnel n°1 : Adaptation du PANDiet à la grossesse et simulations de l'impact de modifications quantitatives et qualitatives du régime issues de recommandations génériques sur la qualité nutritionnelle de l'alimentation en début de grossesse

2.1.1. Résumé

Contexte : La grossesse est une période de la vie d'une femme marquée par un accroissement des besoins nutritionnels. Des apports nutritionnels adéquats de la mère sont essentiels au bon déroulement de la grossesse, à la santé de la mère et à celle de l'embryon, du fœtus, et de l'enfant dans sa vie future. Cependant, il existe peu de données concernant l'adéquation nutritionnelle globale des régimes des femmes enceintes et le potentiel impact de la grossesse sur l'adéquation nutritionnelle du régime.

Objectif : L'objectif de cette étude était d'une part d'évaluer l'ampleur de la diminution de l'adéquation nutritionnelle du régime induite par la grossesse, et d'autre part d'identifier si cette diminution pouvait être résolue par des modifications quantitatives ou qualitatives simples du régime alimentaire des femmes en début de grossesse.

Méthodes : Pour ce faire, en utilisant l'approche probabiliste proposée dans le score PANDiet, nous avons évalué l'adéquation nutritionnelle globale des régimes observés de femmes en âge de procréer (non ménopausées, âgées de moins de 45 ans) en France (ayant participé à ENNS 2006-2007, n = 344) et aux États-Unis (ayant participé à NHANES 2009-2010, n = 563). Puis, lors de travaux de simulation, nous avons, tout d'abord, évalué ce qu'induirait une absence de modification du régime alimentaire des femmes en début de grossesse sur leur score de PANDiet observé. Puis, nous avons évalué l'effet d'une augmentation de l'apport énergétique à hauteur de 150 kcal en début de grossesse sur l'adéquation nutritionnelle, par l'introduction de modifications quantitatives (augmentation des quantités consommées des aliments du régime) et qualitatives (ajout de onze collations proposées pour la grossesse par des agences de santé publique) dans les régimes observés des femmes françaises.

Résultats : Les scores de PANDiet observés étaient respectivement de $59,3 \pm 7,0$ et $58,8 \pm 9,3$ points (sur 100) en France et aux États-Unis. Les simulations d'un début de grossesse pour les femmes en âge de procréer ont conduit à une diminution du score de PANDiet de $3,3 \pm 0,1$ et de $3,7 \pm 0,1$ points respectivement en France et aux États-Unis, avec notamment une diminution de l'adéquation nutritionnelle pour les nutriments-clés pendant la grossesse. Les différentes simulations d'augmentation de l'apport énergétique à hauteur de 150 kcal (quantitative seule ou quantitative et qualitative) ne sont que partiellement et variablement efficaces pour rétablir l'adéquation nutritionnelle observée avant la grossesse.

Conclusion : La grossesse induit une diminution de l'adéquation nutritionnelle globale qui ne peut pas être résolue par le suivi de recommandations diététiques simples et génériques.

Valorisation : Ce travail a fait l'objet d'un article publié dans Plos One (volume 11, numéro 3) le 9 mars 2016.

Messages-clés

- En l'absence de modification du régime, la grossesse induit une diminution de l'adéquation nutritionnelle.
- L'augmentation de l'apport énergétique par un accroissement des quantités consommées d'aliments s'avère assez peu efficace pour rétablir l'adéquation nutritionnelle observée avant la grossesse.
- L'augmentation de l'apport énergétique par l'introduction de collations issues de recommandations diététiques génériques pour la grossesse se révèle partiellement et très variablement (selon les collations) efficace pour rétablir l'adéquation nutritionnelle observée avant la grossesse.
- Des modifications qualitatives importantes sont nécessaires au maintien voire à l'amélioration de l'adéquation nutritionnelle durant la grossesse. Des études permettant de les caractériser doivent être menées.

2.1.2. Article (publié) : Pregnancy Requires Major Changes in the Quality of the Diet for Nutritional Adequacy: Simulations in the French and the United States Populations

Cette partie présente l'article intitulé « *Pregnancy Requires Major Changes in the Quality of the Diet for Nutritional Adequacy: Simulations in the French and the United States Populations* » sous sa forme publiée en date du 9 mars 2016, dans le numéro 3 du volume 11 de Plos One.

Cet article a été co-écrit avec François Mariotti, Eric O. Verger et Jean-François Huneau.

RESEARCH ARTICLE

Pregnancy Requires Major Changes in the Quality of the Diet for Nutritional Adequacy: Simulations in the French and the United States Populations

Clélia M. Bianchi¹, François Mariotti^{1*}, Eric O. Verger^{2,3}, Jean-François Huneau¹

1 UMR Physiologie de la Nutrition et du Comportement Alimentaire, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France, **2** INSERM, UMR_S U1166, Nutriomics team, F-75013, Paris, France, **3** Institute of Cardiometabolism and Nutrition, ICAN, Assistance Publique des Hôpitaux de Paris, Pitié-Salpêtrière hospital, Nutrition department, F-75013, Paris, France

* francois.mariotti@agroparitech.fr



CrossMark
click for updates

OPEN ACCESS

Citation: Bianchi CM, Mariotti F, Verger EO, Huneau J-F (2016) Pregnancy Requires Major Changes in the Quality of the Diet for Nutritional Adequacy: Simulations in the French and the United States Populations. *PLoS ONE* 11(3): e0149858. doi:10.1371/journal.pone.0149858

Editor: Marly Augusto Cardoso, University of São Paulo, BRAZIL

Received: July 6, 2015

Accepted: February 5, 2016

Published: March 9, 2016

Copyright: © 2016 Bianchi et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: Data from the ENNS survey are available from the 'Unité de Surveillance et d'Epidémiologie Nutritionnelle (Usen), Institut de Veille Sanitaire - Université Paris 13' Institutional Data Access for researchers who meet the criteria for access to confidential data. Information from NHANES is made available by the Centers for Disease Control and Prevention through an extensive series of publications and articles in scientific and technical journals. For data users and researchers throughout the world, survey data are available on the

Abstract

Background

Maternal nutrition is critical to the health of both mother and offspring, but there is a paucity of data on the nutritional adequacy of diets during pregnancy.

Objective

Our objective was to identify to what extent pregnancy reduces the nutritional adequacy of the expecting mother's diet and if this nutritional gap can be resolved by simple quantitative or qualitative changes in the diet.

Materials and Methods

We evaluated the observed overall nutritional adequacy of diets of French and American women of childbearing age participating in ENNS (n = 344) and NHANES (n = 563) using the probabilistic approach of the PANDiet system, resulting in a 100-point score. Then, we simulated the changes in the PANDiet scores of women of childbearing age who would remain on their diet during pregnancy. Finally, by either increasing the quantity of consumed foods or using eleven snacks recommended during pregnancy, we simulated the effect of a 150-kcal increase in the energy intake of French women.

Results

Observed PANDiet scores were equal to 59.3 ± 7.0 and 58.8 ± 9.3 points respectively in France and in the US. Simulation of pregnancy for women of childbearing age led to a decrease in nutritional adequacy for key nutrients during pregnancy and resulted in reducing PANDiet scores by 3.3 ± 0.1 and 3.7 ± 0.1 points in France and in the US. Simulated 150-kcal increases in energy intake proved to be only partially effective in filling the gap

internet (http://www.cdc.gov/nchs/nhanes/nhanes_questionnaires.htm) and on easy-to-use CD-ROMs.

Funding: This study was conducted with the framework of the ECAP project (<http://alimentation-sante.org/aap2013-projet2-2/>) supported by a grant from the Fonds Français Alimentation & Santé (FFAS: <http://alimentation-sante.org>). The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

both when the quantity of food consumed was increased and when recommended snacks were used.

Conclusions

The decrease in nutritional adequacy induced by pregnancy cannot be addressed by simply following generic dietary guidelines.

Introduction

During pregnancy, nutritional requirements increase to support both fetal growth and development and maternal metabolism and tissue accretion [1]. Poor maternal nutrition, as characterized by low intake or status in single nutrients during pregnancy, can result in adverse outcomes of pregnancy and birth [2–4]. The influence of the nutritional status may start even before pregnancy since preconceptional dietary patterns are associated with perinatal outcomes [5, 6]. On the other hand, several studies have reported that the intake of total energy, macronutrients [7] and a large set of vitamins and minerals [8, 9] are often inadequate in pregnant women in developed countries. Public health policies have been addressing maternal nutrition for several years. Indeed, dietary interventions, such as dietary counselling, are known to affect final critical outcomes for perinatal health [10]. The effect may however vary. For instance, in low-income pregnant women, recommendations on nutritional requirements or dietary advice to achieve national recommendations improve birth weight, whereas counselling to modify fat intake or meet energy requirements have the opposite effect [10]. Hence, there is critical need to analyze the impact of pregnancy on the nutritional gap between all nutrient intakes and requirements, to identify maternal nutrient intakes that have to be improved to optimize both neonatal and infant outcomes [10] and finally to evaluate the dietary strategy that can address this nutritional gap.

Overall diet quality of pregnant women and women of childbearing age can be evaluated using diet quality indexes that have been adapted to these specific populations [11–14]. However, because these indexes are based on food rather than nutrients, they do not relate specifically to the satisfaction of specific vitamin and mineral requirements during pregnancy.

To the best of our knowledge, nutritional adequacy estimates (based on nutrients) have never before been used to characterize the overall diet quality of pregnant women and the nutritional gap which exists during pregnancy. The Probability of Adequate Nutrient intake based Diet quality index (PANDiet) aims at measuring the overall diet quality through the probability of having adequate nutrient intakes for the largest possible set of nutrients [15]. It is versatile and adaptable to changes in specific nutritional requirements, such as those confronted during pregnancy.

The main objective of the present study was to evaluate the impact of pregnancy on the overall nutritional adequacy of women's diets. Using adapted PANDiet scoring, we evaluated the overall nutritional adequacy of the diet of French and US women of childbearing age and pregnant women participating in the French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé—ENNS, 2006–2007) and in the National Health Administration and Nutrition Examination Survey (NHANES, 2009–2010). Then, we estimated the nutritional gap induced by pregnancy by simulating what the overall nutritional adequacy of the diet of women of childbearing age during the first trimester of pregnancy would be. Lastly, we evaluated the

relevance of generic dietary guidelines for pregnancy by simulating their impact on the nutritional adequacy of the diet of French women of childbearing age.

Materials and Methods

Population study

Data used in this study came from ENNS (2006–2007) and NHANES (2009–2010).

The design and methodology of ENNS have already been described in detail elsewhere [16]. The ENNS survey was carried out according to the Declaration of Helsinki guidelines. All participants gave written informed consent and the survey protocol was approved by the Ethical Committee (Hôpital Cochin, Paris, no. 2264) and the French Data Protection Authority (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés, CNIL, authorization no.905481). The use of the anonymized data from the ENNS survey in this study has been granted to the authors by the main investigator of the ENNS survey (Unité de Surveillance en Epidémiologie Nutritionnelle, USEN). Briefly, the ENNS survey was a multistage stratified descriptive cross-sectional survey undertaken in 2006 and 2007. Non-institutionalized 18-74-year-olds living in mainland France were randomly selected. Dietary data were collected using three 24-hour recalls (including a weekend day) randomly selected within a 2-week period. Dietary recalls were conducted over the telephone by trained dietitians. Nutritional values for energy and nutrients were taken from a previously published nutrient database [17], updated to include recently marketed foods and data regarding the content in linoleic acid (LA), alpha-linolenic acid (ALA), docosahexaenoic acid (DHA), eicosapentaenoic acid (EPA), acid pantothenic, iodine and selenium. This update was conducted by extracting information from the French food composition table CIQUAL [18] and from the United States Department of Agriculture's (USDA) National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27 [19].

The design and methodology of NHANES have also been described in detail elsewhere [20]. All participants gave written informed consent and the survey protocol was approved by the National Center for Health Statistics Ethics Review Board. Anonymized data from the NHANES survey are publicly released and are freely available to download [21]. Briefly, the NHANES survey was a multistage stratified descriptive cross-sectional survey undertaken on a randomly selected sample of civilian non-institutionalized 20-80-year-olds living in the US. Subjects completed two 24-hour recalls (week or weekend days), the first of which was collected in-person by trained dietitians and the second over the telephone between three and ten days later. Nutritional values for energy and nutrients came from the USDA Food and Nutrient Database for Dietary Studies 5.0 (FNDDS 5.0) [22].

Subjects (i) who did not complete all food recalls (three for ENNS and two for NHANES), (ii) who had missing information about variables required to calculate the nutritional adequacy index (namely sex, age, bodyweight, menstruation, pregnancy) and (iii) who were identified as under-reporters based on the method proposed by Black *et al.* [23] were excluded from both surveys. In the studied samples, we selected only women who were pregnant ($n = 22$ in ENNS and $n = 39$ in NHANES) or of childbearing age, defined as premenopausal and under 45 years of age ($n = 344$ in ENNS and $n = 563$ in NHANES).

Initial PANDiet

The PANDiet aims at measuring the overall diet quality of an individual by combining the probabilities of having an adequate intake in nutrients. Adequate intake was defined as the level likely to satisfy a nutrient requirement and unlikely to be excessive, according to dietary reference values, which differ with age, sex and physiological condition. The construction and design of the PANDiet have already been described in detail elsewhere [15]. Briefly, the

PANDiet is a 100-point score that results from the average of two sub-scores, the Adequacy sub-score (AS) and the Moderation sub-score (MS). The higher the PANDiet is, the better the diet quality is. Each sub-score is composed of probabilities of adequacy for nutrients (21 for the AS and 6 for the MS), with a further 12 potential penalties for exceeding tolerable upper intake limits which are added to the MS. In its first version, 24 nutrients were considered: protein, total carbohydrate, dietary fibre, total fat, polyunsaturated fatty acids, saturated fatty acids, cholesterol, vitamin A, thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B6, folate, vitamin B12, vitamin C, vitamin D and vitamin E, calcium, iron, magnesium, phosphorus, potassium, sodium and zinc [15]. The content and construct validities of the PANDiet had been previously evaluated for both the French and the US implementations. In brief, as far as the content validity is concerned, the correlations between the PANDiet score and the PANDiet items and the relationship between the PANDiet score and energy intake were investigated. As far as the construct validity is concerned, the PANDiet score was shown to be higher in individuals being non-smokers, consuming a lower-energy-dense diet and consuming more fruits and vegetables and less meat and processed meat [15].

Implementation of the PANDiet for the French population

A probability of adequacy for the intake of free sugars was previously added to the MS in the implementation of the PANDiet for the French adults [24]. To further adapt the PANDiet for the present work, we added three nutrients: pantothenic acid, iodine and selenium, which resulted in the addition of three probabilities of adequacy to the AS and two potential penalties for iodine and selenium to the MS. Furthermore, the single probability of adequacy for PUFAs was replaced by four probabilities of adequacy for three fatty acids (LA, ALA and DHA) and for the sum of two fatty acids: EPA + DHA. In this study, the updated PANDiet score for the French sample was composed of 27 probabilities of adequacy (protein, total carbohydrate, dietary fibre, total fat, LA, ALA, DHA, EPA+DHA, vitamin A, thiamin, riboflavin, niacin, pantothenic acid, vitamin B6, folate, vitamin B12, vitamin C, vitamin D, vitamin E, calcium, iodine, iron, magnesium, phosphorus, potassium, selenium and zinc) in the AS and of seven probabilities of adequacy (protein, total carbohydrate, free sugars, total fat, saturated fatty acids, cholesterol and sodium) plus 14 potential penalties (retinol, niacin, vitamin B6, folate, vitamin C, vitamin D, vitamin E, calcium, iodine, iron, magnesium, phosphorus, selenium and zinc) in the MS.

Dietary reference values used to calculate the PANDiet for the French sample were those emitted by the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health (ANSES), (S1 Table) [25, 26], except for iron for which the probability of adequacy was determined using values published by the Institute of Medicine [27, 28]. For some nutrients, different dietary reference values were proposed by the ANSES depending on the trimester of pregnancy. The validity of content and construct of the updated PANDiet score was assessed on French adults participating in ENNS (n = 1330) using the same method as for the initial scoring and this resulted in the same findings (data not shown).

Implementation of the PANDiet for the US population

For the US implementation of the PANDiet, the probability of adequacy for selenium intake was added to the AS. The probability of adequacy for PUFAs intake in the AS was replaced by four probabilities of adequacy for LA, ALA, DHA and EPA+DHA intakes. A potential penalty corresponding to tolerable upper intake limit for selenium defined by the Institute of Medicine was also included in the MS. In this study, the updated PANDiet score for the US population was composed of 25 probabilities of adequacy in the AS (protein, total carbohydrate, total fat, LA, ALA, DHA, EPA+DHA, dietary fibre, vitamin A, thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B6,

folate, vitamin B12, vitamin C, vitamin D and vitamin E, calcium, iron, magnesium, phosphorus, potassium, selenium and zinc) and five probabilities of adequacy (total carbohydrate, total fat, saturated fatty acids, cholesterol and sodium) plus 12 potential penalties (retinol, niacin, vitamin B6, folate, vitamin C, vitamin D and vitamin E, calcium, iron, phosphorus, selenium and zinc) in the MS.

Dietary reference intakes used to calculate the PANDiet for the US population were those given by the Institute of Medicine (S2 Table) [27, 28], except for DHA and EPA+DHA. No dietary reference intakes were defined by the Institute of Medicine for DHA and EPA+DHA but given their association with pregnancy outcomes [29], dietary reference values for DHA and EPA+DHA were taken from the American Academy of Nutrition and Dietetics [30], which were indeed similar to the French dietary reference values [26]. Dietary reference intakes proposed by the IoM for pregnancy were the same whatever the trimester of pregnancy, except for protein.

Diet recommendations for pregnant women

Energy requirements during pregnancy have been under discussion for a long time and recommendations differ according to countries and agencies [31–35]. In France, the guidelines consider an increase in energy intake for the first trimester of pregnancy with an approximate reference value at 150 kcal. In line with these guidelines, four snacks have been proposed to be added to the usual diet of pregnant women [36]. Agencies from some other countries have also proposed snacks for pregnancy. Therefore, seven healthy snacks for pregnancy proposed by British, Swiss and Quebecker public health agencies were secondly used in this analysis [37–39]. Food items composing these snacks are shown in Table 1. Because the energy density differed between the eleven snacks, we adjusted their weights so that they provide the same 150-kcal energy content. This adjustment was needed to compare the effect of the snacks for the same amount of energy.

Calculating the PANDiet for women of childbearing age and pregnant women

As a first approach to describe the situation, observed PANDiet scores were calculated for women of childbearing age and pregnant women using the nutritional requirements respectively for premenopausal women and for women in the third trimester of pregnancy. As no information were available about the trimester of pregnancy in ENNS, nutritional requirements for the third trimester of pregnancy were used to calculate observed PANDiet scores of pregnant women to avoid a potential overestimation of nutritional adequacy for some women. The PANDiet is designed to focus on nutrient intakes from food alone. Even if national guidelines recommend the use of dietary supplements to meet requirements for some nutrients (folate, vitamin D, iron or iodine) during pregnancy, nutrient intakes from dietary supplements were not included in the PANDiet calculation, like in other studies using diet quality indexes for pregnancy [11–13].

Simulating the PANDiet for women of childbearing age if they become pregnant—estimating the nutritional gap

Then, simulated-pregnancy PANDiet scores and associated sub-scores for women of childbearing age were also calculated using nutritional requirements for the first trimester of pregnancy. The difference between observed PANDiet and simulated-pregnancy PANDiet represents the decrease in nutritional adequacy induced by the change in physiological status of each individual, when keeping the same diet. In these simulations, we used nutritional requirements for the first trimester of pregnancy and did not extrapolate to the third trimester

Table 1. Composition, weight and 150-kcal adjusted weight of healthy snacks recommended during pregnancy.

Snack description	Snack content		150 kcal adjusted snack weight (g)	References ¹
	Composition	Weight (g)		
<i>Milk and soft bun</i>	A soft bun	35 ²	163	[36]
	A glass of half-skimmed milk	200 ³		
<i>Banana and yogurt</i>	A banana	150 ²	227	[36]
	A plain yogurt	125 ²		
<i>Bread with nuts⁴</i>	A little whole bread	50	44	[36]
	Walnuts	15		
<i>Cereal bar and yogurt</i>	A cereal bar	22.5 ²	143	[36]
	A plain yogurt	125 ²		
<i>Walnuts and yogurt</i>	A handful of walnuts	30 ²	91	[39]
	A plain yogurt	125 ²		
<i>Fruit and yogurt</i>	A fruit (average food ⁵)	150 ²	286	[37, 38]
	A plain yogurt	125 ²		
<i>Bread and cheese</i>	A slice of whole bread	30 ⁶	47	[37]
	A slice of Emmental	30 ⁶		
<i>Toasts and egg</i>	Two toasts	16 ²	74	[39]
	A hard-boiled egg	55 ²		
<i>Vegetable sticks and hummus</i>	Carrot sticks	100 ⁷	153	[38]
	Hummus	30 ⁷		
<i>Bread with baked beans in tomato sauce</i>	A slice of whole bread	30 ⁵	103	[38]
	Baked beans	50 ⁷		
	Tomato sauce	10 ⁷		
<i>Pita bread filled with salad and tuna</i>	Half of a pita bread	35 ²	96	[38]
	Salad	15 ⁷		
	Mashed tuna	40 ⁷		

¹ References refer to guidelines or documents for pregnant women edited by public health agencies in France [36], in the United Kingdom [38], in Switzerland [37], and in Quebec [39].

² Weights of a soft bun, a plain yogurt, a banana, a cereal bar, a fruit, a handful of nuts, two toasts, a hard-boiled egg, and half of a pita bread were determined as an average of most commonly marketed foods in France (as supplied by the manufacturers or retailers).

³ Weight of the half-skimmed milk portion was determined as the equivalent of the content of one standard glass.

⁴ Weights of walnuts and bread composing the bread with nuts were determined as an average of recipes of little bread with nuts found in France.

⁵ Average food as presented in the French food composition table is a “theoretical” food, composition of which is estimated by a combination, weighted by levels of consumption, of several precise food items.

⁶ Weights of a slice of whole bread, a slice of Emmental correspond to servings “C” in the French guidebook for estimating food quantities [40].

⁷ Weights of carrots sticks and hummus in vegetable and hummus, of baked beans and tomato sauce in bread with baked beans in tomato sauce and of salad and tuna in pita bread filled with salad and mashed tuna were defined using common recipes.

doi:10.1371/journal.pone.0149858.t001

in order to focus on the transition period between the non-pregnant status and the first trimester of pregnancy to estimate the nutritional gap.

Simulating the effects of French generic dietary guidelines on women of childbearing age—evaluating the theoretical efficiency for addressing the nutritional gap

Based on the simulated-pregnancy PANDiet scores, we simulated the effect of different changes in the diet, both quantitatively and qualitatively, with two types of simulations. The

first one was a simple proportional increase in food weights consumed by each individual that resulted in a 150-kcal increase in energy intake. The second one consisted of the addition of one of the eleven snacks for pregnancy. However, at a practical level, in order not to increase their energy intake, pregnant women could add these snacks to their diet but consume less of the other foods composing their usual diet. To explore this possibility, a supplemental approach was implemented: one of the eleven snacks was used as a substitution for 150 kcal of the observed diets of women of childbearing age. US nutritional guidelines developed in the *MyPlate* initiative proposed a *Daily Food Plan for Moms* [41] but no healthy snacks to eat during pregnancy were identified. This approach is also consistent with the absence of guidelines regarding an increase in energy intake during pregnancy. Therefore, for the sake of consistency, this approach was not conducted in the US population.

Statistical analyses

To describe the distribution of PANDiet scores, elemental statistics (mean, standard deviation, standard error of the mean and quartiles) were used. PANDiet scores and probabilities of adequacy are presented as mean \pm SD. Differences between PANDiet scores are presented as mean \pm SEM. Effects of physiological status (pregnancy / childbearing age) on PANDiet scores, AS, MS, energy intake and probabilities of adequacy were assessed by using Student's t-tests after a Box-Cox transformation when residuals were not normally distributed. As pregnant women sample sizes were small, power calculations were performed for the comparisons between the scores of the pregnant women as compared to the scores of the women of childbearing age. Differences between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores according to observed PANDiet quartiles were assessed by ANOVA. Multiple comparisons were then conducted using Bonferroni correction. Mixed models were used to analyze whether the PANDiet scores, AS, MS and probabilities of adequacy for nutrient intakes were different according to the nature of the simulation (pregnancy with/without increase in food consumption or snack addition) after a Box-Cox transformation when residuals were not normally distributed. All analyses were performed using SAS version 9.1.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC). $P < 0.05$ was considered significant.

Results

Preliminary observations: evaluation of the overall diet quality of women of childbearing age and pregnant women

Before simulating the impact of pregnancy on the diet of women of childbearing age, we ran a preliminary analysis to compare the observed overall diet quality of pregnant women (31.5 ± 5.2 y for the French sample and 29.6 ± 7.4 y for the US sample) and women of childbearing age (35.1 ± 6.9 y and 32.1 ± 7.4 y). Energy intakes, PANDiet scores, AS and MS (mean \pm SD) for women of childbearing age and pregnant women in the French and the US population samples are shown in [Table 2](#). In the French sample, the PANDiet scores and the AS were lower in pregnant women than in women of childbearing age, while the MS were not significantly different between the two groups. No differences were found between energy intakes of women of childbearing age and pregnant women.

In the US sample, PANDiet scores, AS and MS were the same for women of childbearing age and pregnant women. However, the energy intake in the group of pregnant women was higher than in the group of women of childbearing age.

Probabilities of adequacy for nutrients composing the PANDiet for French and US pregnant women and women of childbearing age are available in [S3 Table](#).

Table 2. PANDiet scores, Adequacy sub-scores and Moderation sub-scores (mean ± SD) of the diets of French and US women.

	French population sample (ENNS ¹)		US population sample (NHANES ²)	
	Women of childbearing age (n = 344)	Pregnant women (n = 22)	Women of childbearing age (n = 563)	Pregnant women (n = 39)
Energy intake ³ (kcal/d)	1878 ± 402	1934 ± 444	2016 ± 499	2315* ± 661
PANDiet score	59.3 ± 7.0	54.5* ± 7.5	58.8 ± 9.3	59.9 ± 8.9
Adequacy sub-score	61.1 ± 11.9	54.7* ± 13.1	62.3 ± 11.2	63.5 ± 11.1
Moderation sub-score	57.4 ± 11.9	54.2 ± 13.7	55.3 ± 17.4	56.3 ± 17.5

¹ ENNS, Etude Nationale Nutrition Santé.

² NHANES, National Health Administration and Nutrition Examination Survey.

³ Excluding alcohol.

*P<0.05 as compared to women of childbearing age in the same country (Student's t-test).

doi:10.1371/journal.pone.0149858.t002

Simulating the PANDiet for women of childbearing age if they become pregnant—estimating the nutritional gap

In women of childbearing age, simulating the pregnancy-induced changes in nutritional requirements led to a decrease in nutritional adequacy of the observed diet in both population samples (59.3 ± 7.0 for observed PANDiet scores vs 55.9 ± 7.3 for simulated-pregnancy PANDiet scores in the French sample, and 58.8 ± 9.3 vs 55.1 ± 9.8 in the US sample, Fig 1). Because reference dietary intakes for nutrients composing the MS did not differ in pregnancy, the MS remained unchanged in each population sample. In contrast, AS decreased markedly in both samples (Fig 1).

Table 3 shows variations between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores according to the observed PANDiet score quartiles. A significant effect of observed PANDiet score quartiles on the variations between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores was seen in the French sample and in the US sample.

In simulations of the effect of pregnancy on nutritional adequacy, the decrease in the AS was explained by decreases in the probabilities of adequacy for some nutrients. Such was the case for 8 out of 34 nutrients (thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B6, folate, vitamin D, iodine and zinc) for the French sample and 12 out of 30 (LA, ALA, vitamin A, thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B6, folate, vitamin B12, vitamin C, magnesium and zinc) for the US sample (S4 Table). Fig 2 presents the five vitamins and minerals for which the probability of adequacy was lowered the most in the French sample (thiamin, niacin, vitamin B6, folate and iodine) and in the US sample (thiamin, vitamin B6, folate, magnesium and zinc).

Simulating the effects of French generic dietary guidelines on women of childbearing age—evaluating the theoretical efficiency for addressing the nutritional gap

A 150-kcal increase in the intake of the diets of French women of childbearing age that would become pregnant was not effective in improving their diet quality (Table 4). This increase in energy intake increased the AS (+4.5 ± 0.9 points, P<0.01) and lowered the MS (-2.7 ± 0.9 points, P<0.01). The addition of any of the four 150-kcal adjusted snacks recommended by the French PNNS always led to an improvement of the simulated-pregnancy PANDiet score, even if the magnitude of the improvement differed according to the snack composition (Table 4).

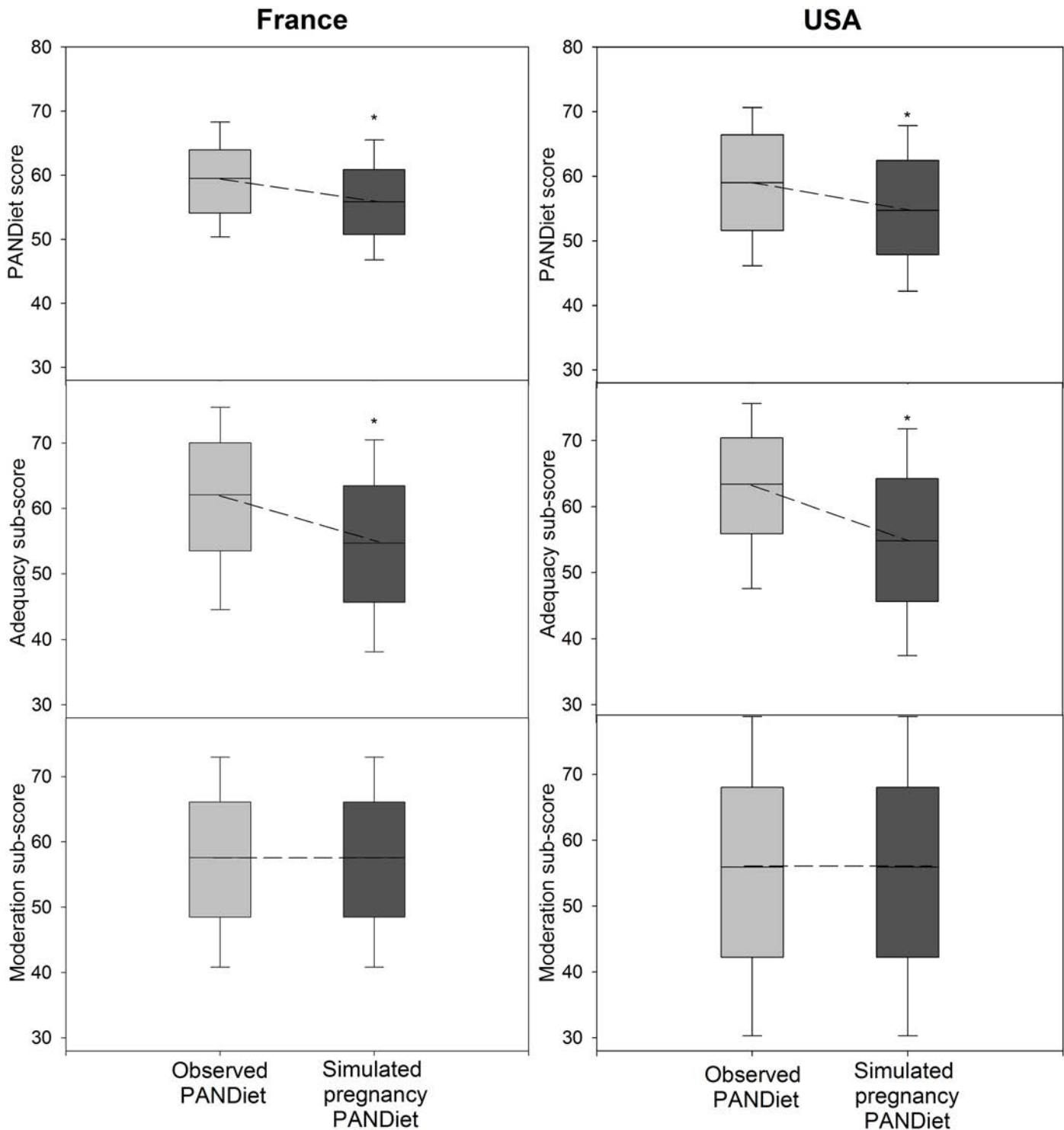


Fig 1. Distribution of observed PANDiet scores and simulated-pregnancy PANDiet scores, Adequacy sub-scores and Moderation sub-scores for French women of childbearing age from the ENNS survey (left panel) and US women of childbearing age from the NHANES survey 2009–2010 (right panel). Each bar represents $n = 344$ for the French sample and $n = 563$ for the US sample. The light grey bars represent the observed PANDiet score and sub-scores. The dark grey bars represent the simulated-pregnancy PANDiet score and sub-scores. The middle line in the box plots shows the median, the bottom and top of the box are the 25th and 75th percentiles and the ends of the whiskers represent the 5th and 95th percentiles. Differences between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores, Adequacy sub-scores and Moderation sub-scores were assessed with a mixed model: * $P < 0.05$

doi:10.1371/journal.pone.0149858.g001

Table 3. Differences between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores (mean ± SEM) by observed PANDiet score quartiles among French and US women of childbearing age.

Observed PANDiet score quartile	Difference between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores	
	French women of childbearing age ¹ (n = 344, ENNS ³)	US women of childbearing age ² (n = 563, NHANES ⁴)
Q1	-3.48 ^a ± 0.09	-3.98 ^c ± 0.14
Q2	-3.56 ^a ± 0.11	-3.87 ^{c,d} ± 0.14
Q3	-3.32 ^{a,b} ± 0.13	-3.59 ^{c,d} ± 0.17
Q4	-2.92 ^b ± 0.13	-3.38 ^d ± 0.17

¹ Difference between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores varied across observed PANDiet score quartiles in French women of childbearing age (ANOVA, *P* = 0.0006).

^{a,b} *P* < 0.05: Multiple comparisons were conducted under Bonferroni correction.

² Difference between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores varied across observed PANDiet score quartiles in US women of childbearing age (ANOVA, *P* = 0.03).

^{c,d} *P* < 0.05: Multiple comparisons were conducted under Bonferroni correction.

³ ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé)

⁴ NHANES, National Health Administration and Nutrition Examination Survey

doi:10.1371/journal.pone.0149858.t003

The addition of one of the seven 150-kcal adjusted snacks recommended by other national agencies led to more varied results depending on the snack. Although the addition of five of these snacks resulted in similar improvements, adding the ‘bread and cheese’ or the ‘egg and toasts’ snacks failed to increase the simulated-pregnancy PANDiet score. The best increase in the simulated-pregnancy PANDiet score (+5.15 ± 0.1 points) was obtained with the

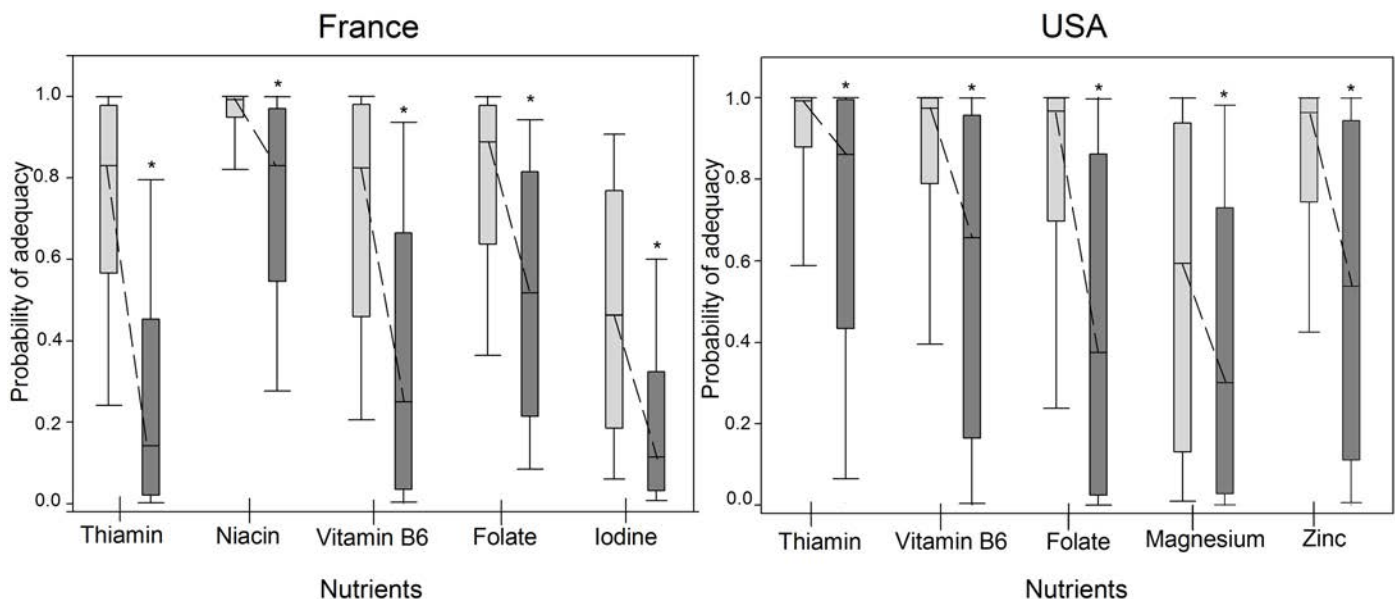


Fig 2. Probabilities of adequacy composing PANDiet scores for the five vitamins and minerals for which the probability of adequacy was lowered the most when simulating the changes in the nutritional requirements in the first trimester of pregnancy in the French sample (left panel) and in the US sample (right panel). Each bar represents n = 344 for the French sample and n = 563 for the US sample. The light grey bars represent probabilities of adequacy for nutrient intakes composing the observed PANDiet score. The dark grey bars represent probabilities of adequacy for nutrient intakes composing the simulated-pregnancy PANDiet score. The middle line in the box plots shows the median, the bottom and top of the box are the 25th and 75th percentiles and the ends of the whiskers represent the 5th and 95th percentiles. Differences between observed and simulated-pregnancy probabilities of adequacy for nutrients were assessed with a mixed model after a Box-Cox transformation: * *P* < 0.05.

doi:10.1371/journal.pone.0149858.g002

Table 4. Simulated-pregnancy PANDiet scores after simulations of a 150-kcal addition to the diet of French women of childbearing age from ENNS¹ (n = 344).

Simulation of 150-kcal addition to women of childbearing age diets	Observed PANDiet score ²	Simulated-pregnancy PANDiet score ²	Differences in PANDiet score as compared to the simulated-pregnancy score ^{3,4}	Percentage of women whose nutritional gap was solved by the snack addition ⁵
<i>Proportional increase in consumed food weight</i>	59.3 ± 7.0	55.9 ± 7.3	+0.94 ± 0.05	0.9%
150-kcal adjusted snacks				
<i>Milk and soft bun</i>			+1.54* ± 0.07	9.0%
<i>Banana and yogurt</i>			+5.15* ± 0.12	86.6%
<i>Bread with nuts</i>			+2.98* ± 0.07	37.8%
<i>Cereal bar and yogurt</i>			+3.22* ± 0.08	45.4%
<i>Walnuts and yogurt</i>			+3.34* ± 0.12	51.5%
<i>Fruit and yogurt</i>	59.3 ± 7.0	55.9 ± 7.3	+4.37* ± 0.10	73.0%
<i>Bread and cheese</i>			+0.22 ± 0.07	0.9%
<i>Toasts and egg</i>			-0.45 ± 0.12	2.3%
<i>Vegetable sticks and hummus</i>			+1.96* ± 0.10	20.1%
<i>Bread with baked beans in tomato sauce</i>			+3.34* ± 0.10	52.0%
<i>Pita bread filled with salad and tuna</i>			+3.91* ± 0.13	63.1%

¹ ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé)

² All values are mean ± SD.

³All values are mean ± SEM.

⁴ Differences between simulated-pregnancy PANDiet scores after simulation of 150-kcal additions to women of childbearing age diet were assessed with a mixed model:

*P<0.05, difference as compared to simulated-pregnancy PANDiet score before 150-kcal addition.

⁵ Nutritional gap was considered as solved when the simulated-pregnancy PANDiet score with the 150-kcal adjusted snack addition was superior or equal to the observed PANDiet score.

doi:10.1371/journal.pone.0149858.t004

‘banana and yogurt’ 150-kcal adjusted snack (Table 4). Finally, only five of the eleven generic dietary guidelines solved the nutritional gap induced by pregnancy in more than half of the population.

Depending on the snack content, simulations of snack additions had different effects on the probabilities of adequacy for different nutrients. By focusing on nutrients considered as key during pregnancy in French nutritional guidelines: folate, vitamin D, calcium, iodine and iron (36) plus DHA, we noted that three snack additions (‘cereal bar and yogurt’, ‘toasts and egg’ and ‘pita bread filled with salad and tuna’) and the proportional increase in consumed food weight increased probabilities of adequacy for four key nutrient intakes during pregnancy. However, the proportional increase in consumed food weight improved only slightly the overall nutritional adequacy and the ‘toasts and egg’ addition did not improve it. The eight other snack addition resulted in increasing probabilities of adequacy for two or three key nutrients during pregnancy. Probabilities of adequacy for those key nutrients during pregnancy obtained after each simulation are presented in S5 Table. When, rather than simulating addition, we simulated a substitution of the 150-kcal adjusted snacks for 150 kcal of the observed diet, we found lower effects on PANDiet scores. However, in seven out of eleven snacks, this substitution yielded an increase in the simulated-pregnancy PANDiet score (S6 Table).

Discussion

This study provides the first estimate of the global nutritional gap as induced by pregnancy by using simulations from the diets of women of childbearing age. This study also offers clear evidence that resolving this nutritional gap requires above all major changes in the quality of the diet and not only an increase in energy intake. The nutritional gap associated to the onset of pregnancy is not fully addressed by the snacks currently recommended for pregnant women by public health agencies in developed countries.

Because there are mostly based on food alone, diet quality indexes do not make it possible to identify the nutritional gap induced by pregnancy. For instance, the American Healthy Eating Index for Pregnancy (AHEI-P) has reported similar scores between pregnant women and women of childbearing age. However, iron and folate requirements were met by a larger number of women of childbearing age than of pregnant women [11]. Hence, adequate assessment of diet quality in pregnancy requires also addressing the adequacy of nutrient intakes. Indeed, the mainstream in adapting diet quality indexes for pregnancy is to add items in the calculation of scores to describe the adherence to recommendations concerning pregnancy for important vitamins and minerals. Using this approach, the Mediterranean Diet Score for Pregnancy [13] and the Diet Quality Index [42] were adapted by adding three items evaluating the adherence of pregnant women to specific requirements for calcium, folate and iron intakes. However, as agreed by Laraia *et al.*, the increase in nutritional requirements during pregnancy cannot be reduced to three nutrients [42]. For instance, folate requirements have been included in previously cited diet quality indexes because it is known to be strongly and positively associated with a decrease in the risk of neural tube defects. However, the risk of neural tube defects has also been associated with a diet quality scoring that takes into account more nutrients in addition to folate (calcium, iron, vitamin B6 and vitamin A, and percentage of calories from fat and from sweets) [43]. In contrast to these composite diet quality indexes based on dietary recommendations for adults and slightly updated with nutrient recommendations for pregnant women, the PANDiet index is versatile and can be directly adapted to the physiological status of a population by changing the scoring parameters to account for the specific set of nutritional requirements. It also uses the most comprehensive set of recommendations, and therefore gives the most global picture of the nutritional adequacy of the diet. It is particularly well adapted for studying the nutritional gap arising from pregnancy by using firstly the set of nutritional requirements for premenopausal women and, secondly, the set of nutritional requirements for women in their first trimester of pregnancy.

We found no other study simulating the effect of pregnancy on diet quality and we thus consider our estimate of the nutritional gap as induced by pregnancy to be a novel finding. Others studies on large cohort of pregnant women have focused on the nutritional adequacy during pregnancy, however nutrients were considered individually [44, 45]. These studies did not intend to provide an estimate of the overall diet quality of pregnant women.

Another finding of our study is that this pregnancy-induced nutritional gap cannot be addressed by a simple increase in energy. For the first trimester of pregnancy, the French guidelines consider an increase in energy intake with an approximate reference value at 150 kcal, but when simulating this increase, nutritional adequacy of the diet for pregnancy is not improved. As already stated, nutritional requirements that markedly increase during pregnancy [27, 28, 35] are those related to vitamins and minerals. Hence, the underlying reason of this failure to improve the PANDiet score is that initial diets of women of childbearing age are not rich enough in vitamins and minerals and too rich in sodium and cholesterol. Therefore, the quantitative increase in energy intake does not make it possible to meet the extra requirements during pregnancy, whereas it leads to a deterioration of the MS. Public health agencies develop

generic dietary guidelines for pregnancy that are supposed to solve or limit the decrease in nutritional adequacy of the diet. We tested the four snacks that have been recommended in France and a set of seven other snacks, to provide a wide view of their theoretical efficiency. Our simulations show that most of the snacks result in an increase in nutritional adequacy of the diet, with two failing to do so when we simulated an addition to the diet and three when we simulated a 150-kcal energy substitution of the observed diet. However, the theoretical efficiency of these snacks to address the pregnancy-induced nutritional gap varied considerably from snacks that finally resulted in restoring the pre-pregnancy nutritional adequacy to a snack that resulted in a decrease in overall nutritional adequacy. The overall theoretical efficiency of some of these snack recommendations is not negligible, but it is clearly limited as compared to the improvement that may be expected from optimization, in particular if based on the observed diet of each individual. For instance, in the general population, we have shown that a substitution of two food items in initial diets of individuals results in an improvement of PANDiet scores that is higher than those found in the present simulation [24]. Further research is needed to evaluate the theoretical and practical efficiency of the current recommendations and propose systematic methods to select or define general or specific dietary advice based on its theoretical efficiency, which would yet be acceptable and thus practically efficient.

Limitations

In both surveys, sample sizes of pregnant women were rather small and we cannot be sure that they are representative of the general population. Although we did find significant differences between the overall diet quality of French pregnant women and women of childbearing age, the statistical power of the comparisons remained limited. Given the sample sizes, we were able to detect a difference in PANDiet score of 4.3 points both in France and in the US with a correct power ($\beta = 0.20$, $\alpha = 0.05$). This comparison between the observed populations was however a preliminary assessment only, which does not at all concern the main findings from the simulation on the populations, with large sample size. Women who become pregnant have a physiological increase in nutritional requirements but as their nutrition awareness also rises, they are more likely to change their diets for a healthier pattern [46]. These changes are poorly predictable and difficult to delineate on the basis of observational data comparing pregnant women and women of childbearing age. A cohort study only could identify the real pregnancy-induced changes in the nutritional adequacy of women's diets. By performing simulations of changes in the diet and the physiological status, we could delineate the specific effect of these changes on the nutritional adequacy of the diet, based on a comprehensive insight into each woman's diet and we could also simulate the effect of specific simple changes in their diet. Such simulations however of course remain theoretical.

Conclusion

Pregnancy tends to markedly widen the nutritional gap. The decrease in the nutritional adequacy of observed diets of women of childbearing age cannot be solved by a simple increase in energy intake, as recommended in some countries. A relatively good nutritional adequacy in pregnant women can therefore not be simply attributed to a higher energy intake, but to qualitative changes in the diet. Recommendations of snack additions from public health agencies make a somewhat limited and an extremely variable contribution to tackling the nutritional gap during pregnancy. These results call for dedicated studies to define the most theoretically efficient dietary counselling during pregnancy on a methodologically sound basis, either as generic counselling for the whole population or as tailor-fitted advice at the individual level, to

improve the nutritional adequacy of the diet which is jeopardized at this specific, critical stage of the life cycle.

Supporting Information

S1 Table. Items, reference values¹ and variabilities used in the French implementation of the updated PANDiet for women of childbearing age and women during the first and the third trimester of pregnancy. ¹References values were emitted by the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health (25, 26). The Adequacy sub-score is composed by 27 items and the Moderation sub-score is composed by 7 items plus 14 potential penalty values. ALA, Alpha Linolenic Acid. Bw, bodyweight. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. EIEA, Energy Intake Excluding Alcohol. LA, Linoleic Acid. NES, Niacin Equivalents. RE, Retinol Equivalents. (DOCX)

S2 Table. Items, reference values¹ and variabilities used in the US implementation of the updated PANDiet for women of childbearing age and women during the first and the third trimester of pregnancy. ¹References values were emitted by the Food and Nutrition Board of the United States Department of Agriculture (27, 28), except for EPA and DHA whose reference values come from the American Academy of Nutrition and Dietetics (30). The Adequacy sub-score is composed by 25 items and the Moderation sub-score is composed by 5 items plus 12 potential penalty values. ALA, Alpha Linolenic Acid. Bw, bodyweight. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. EIEA, Energy Intake Excluding Alcohol. LA, Linoleic Acid. NES, Niacin Equivalents. RE, Retinol Equivalents. (DOCX)

S3 Table. PANDiet scores, associated sub-scores and probabilities of adequacy for nutrients corresponding to observed PANDiet by country (France (ENNS) / USA (NHANES)) and physiological status (Women of childbearing age/ Pregnant women). ^{1,2} Differences between PANDiet scores, AS, MS and probabilities of adequacy by physiological status in the same country were assessed by using Student's t-tests. A Box Cox transformation was used for probabilities of adequacy for nutrients because residuals were not normally distributed: *P<0.05; **P<0.01. ALA, Alpha-linolenic Acid. AS, Adequacy sub-score. DHA, docosahexaenoic acid. ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé). EPA, eicosapentaenoic acid. LA, linoleic acid. NA, not available. NHANES, National Health Administration and Nutrition Examination Survey. (DOCX)

S4 Table. Observed and simulated-pregnancy PANDiet scores, AS, MS and associated probabilities of adequacy among French women of childbearing age (n = 344) from ENNS and US women of child-bearing age (n = 563) from NHANES. Differences between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores, AS, MS and probabilities of adequacy in the same country were assessed with a mixed model. A Box Cox transformation was used for probabilities of adequacy for nutrients when residuals were not normally distributed: *P<0.05; **P<0.01. ALA, Alpha-linolenic Acid. AS, Adequacy sub-score. DHA, docosahexaenoic acid. ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé). EPA, eicosapentaenoic acid. LA, linoleic acid. NA, not available. NHANES, National Health Administration and Nutrition Examination Survey. (DOCX)

S5 Table. Probabilities of adequacy for key nutrients during pregnancy (mean \pm SD): DHA, Folate, Vitamin D, Calcium, Iodine and Iron obtained after different simulations (simulated-pregnancy without any addition, with a proportional increase in consumed food weight of 150-kcal or with the addition of one of the eleven 150-kcal snacks recommended during pregnancy) in French women of childbearing age (ENNS¹, n = 344).

¹ ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé). As probabilities of adequacy were not normally distributed, they were transformed using Box-Cox transformations before being used in the mixed model. * $P < 0.05$ difference as compared to simulated-pregnancy probability of adequacy before simulation of 150-kcal addition assessed with a mixed model.

(DOCX)

S6 Table. Simulated-pregnancy PANDiet scores obtained after substitutions of 150-kcal of the observed diet with snacks among French women of childbearing age from ENNS¹ (n = 344). ¹ ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé).

² All values are mean \pm SD. ³ All values are mean \pm SEM. ⁴ Differences between simulated-pregnancy PANDiet scores after simulation of 150-kcal substitutions in women of childbearing age diets were assessed with a mixed model: * $P < 0.05$ difference as compared to simulated-pregnancy PANDiet score before 150-kcal substitution. ⁵ Nutritional gap was considered as solved when the simulated-pregnancy PANDiet score with the 150 kcal substitution with a snack was superior or equal to the observed PANDiet score.

(DOCX)

S7 Table. STROBE Checklist.

(DOCX)

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the “Centers for Disease Control and Prevention’s National Center for Health Statistics”, as main investigator, for access to the NHANES database and support documentation, and thank the “Unité de Surveillance et d’Epidémiologie Nutritionnelle (Usen), Institut de Veille Sanitaire—Université Paris 13”, as the main investigator, and the “Institut de Veille Sanitaire”, as the main promoter and supporter, for access to the ENNS database and support documentation.

Author Contributions

Conceived and designed the experiments: CMB FM EOJ JFH. Performed the experiments: CMB. Analyzed the data: CMB. Wrote the paper: CMB FM EOJ JFH.

References

1. Abu-Saad K, Fraser D. Maternal nutrition and birth outcomes. *Epidemiol Rev.* 2010 Apr; 32(1):5–25.
2. Bath SC, Steer CD, Golding J, Emmett P, Rayman MP. Effect of inadequate iodine status in UK pregnant women on cognitive outcomes in their children: results from the Avon Longitudinal Study of Parents and Children (ALSPAC). *The Lancet.* 2013; 382(9889):331–7.
3. Blumfield ML, Hure AJ, MacDonald-Wicks LK, Smith R, Simpson SJ, Giles WB, et al. Dietary balance during pregnancy is associated with fetal adiposity and fat distribution. *Am J Clin Nutr.* 2012 Nov; 96(5):1032–41. doi: [10.3945/ajcn.111.033241](https://doi.org/10.3945/ajcn.111.033241) PMID: [23034964](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23034964/)
4. Christian P, Stewart CP. Maternal Micronutrient Deficiency, Fetal Development, and the Risk of Chronic Disease. *J Nutr.* 2010 Mar 1; 140(3):437–45. doi: [10.3945/jn.109.116327](https://doi.org/10.3945/jn.109.116327) PMID: [20071652](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20071652/)

5. Grieger JA, Grzeskowiak LE, Clifton VL. Preconception dietary patterns in human pregnancies are associated with preterm delivery. *J Nutr.* 2014 Jul; 144(7):1075–80. doi: [10.3945/jn.114.190686](https://doi.org/10.3945/jn.114.190686) PMID: [24790026](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24790026/)
6. Dean SV, Lassi ZS, Imam AM, Bhutta ZA. Preconception care: nutritional risks and interventions. *Reprod Health.* 2014 Sep 26; 11(Suppl 3):S3. doi: [10.1186/1742-4755-11-S3-S3](https://doi.org/10.1186/1742-4755-11-S3-S3) PMID: [25415364](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25415364/)
7. Blumfield ML, Hure AJ, Macdonald-Wicks L, Smith R, Collins CE. Systematic review and meta-analysis of energy and macronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutr Rev.* 2012 Jun; 70(6):322–36. doi: [10.1111/j.1753-4887.2012.00481.x](https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00481.x) PMID: [22646126](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22646126/)
8. Blumfield ML, Hure AJ, Macdonald-Wicks L, Smith R, Collins CE. A systematic review and meta-analysis of micronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutr Rev.* 2013 Feb; 71(2):118–32. doi: [10.1111/nure.12003](https://doi.org/10.1111/nure.12003) PMID: [23356639](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23356639/)
9. Pinto E, Barros H, dos Santos Silva I. Dietary intake and nutritional adequacy prior to conception and during pregnancy: a follow-up study in the north of Portugal. *Public Health Nutr.* 2009 Jul; 12(7):922–31. doi: [10.1017/S1368980008003595](https://doi.org/10.1017/S1368980008003595) PMID: [18752697](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18752697/)
10. Gresham E, Byles JE, Bisquera A, Hure AJ. Effects of dietary interventions on neonatal and infant outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr.* 2014 Nov 1; 100(5):1298–321. doi: [10.3945/ajcn.113.080655](https://doi.org/10.3945/ajcn.113.080655) PMID: [25332328](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25332328/)
11. Pick ME, Edwards M, Moreau D, Ryan EA. Assessment of diet quality in pregnant women using the Healthy Eating Index. *J Am Diet Assoc.* 2005 Feb; 105(2):240–6. PMID: [15668682](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15668682/)
12. Melere C, Hoffmann JF, Nunes MAA, Drehmer M, Buss C, Ozcariz SGI, et al. Healthy eating index for pregnancy: adaptation for use in pregnant women in Brazil. *Rev Saúde Pública.* 2013 Feb; 47(1):20–8. PMID: [23703126](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23703126/)
13. Mariscal-Arcas M, Rivas A, Monteagudo C, Granada A, Cerrillo I, Olea-Serrano F. Proposal of a Mediterranean diet index for pregnant women. *Br J Nutr.* 2009 Sep; 102(05):744.
14. Bodnar LM, Siega-Riz AM. A Diet Quality Index for Pregnancy detects variation in diet and differences by sociodemographic factors. *Public Health Nutr.* 2002 Dec; 5(6):801–9. PMID: [12570888](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12570888/)
15. Verger EO, Mariotti F, Holmes BA, Paineau D, Huneau J-F. Evaluation of a diet quality index based on the probability of adequate nutrient intake (PANDiet) using national French and US dietary surveys. *PLoS One.* 2012; 7(8):e42155. doi: [10.1371/journal.pone.0042155](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042155) PMID: [22870293](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22870293/)
16. Castetbon K, Vernay M, Malon A, Salanave B, Deschamps V, Roudier C, et al. Dietary intake, physical activity and nutritional status in adults: the French nutrition and health survey (ENNS, 2006–2007). *Br J Nutr.* 2009 Sep; 102(5):733–43. doi: [10.1017/S0007114509274745](https://doi.org/10.1017/S0007114509274745) PMID: [19250574](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19250574/)
17. Arnault N, Astorg P, Aubert A, Bertrais S, Collectif. *Table de composition des aliments.* Paris: Economica; 2005. 181 p.
18. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. *Table Ciqua 2013 Composition nutritionnelle des aliments* [Internet]. 2013 [cited 2014 Oct 31]. Available from: <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm>
19. U.S. Department of Agriculture. *USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27* [Internet]. 2014 [cited 2014 Oct 31]. Available from: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods>
20. Johnson CL, Paulose-Ram R, Ogden C, Carroll MD, Kruszan-Moran D, Dohrmann SM, et al. *National health and nutrition examination survey: analytic guidelines, 1999–2010.* National Center for Health Statistics. 2013.
21. Zipf G, Chiappa M, Porter K. *National Health and Nutrition Examination Survey: Plan and operations, 1999–2010.* National Center for Health Statistics; 2013. Report No.: 1 (56).
22. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. *USDA Food and Nutrient Database for Dietary Studies, 5.0.* [Internet]. Food Surveys Research Group Home Page. 2012 [cited 2014 Nov 4]. Available from: <http://www.ars.usda.gov/News/docs.htm?docid=12068>
23. Black A. Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake: basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations. *Int J Obes.* 2000; 24:1119–30.
24. Verger EO, Holmes BA, Huneau JF, Mariotti F. Simple changes within dietary subgroups can rapidly improve the nutrient adequacy of the diet of French adults. *J Nutr.* 2014 Jun; 144(6):929–36. doi: [10.3945/jn.113.188284](https://doi.org/10.3945/jn.113.188284) PMID: [24699804](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24699804/)
25. Agence française de sécurité sanitaire des aliments. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 3e éd.* AFSSA : Editions Lavoisier. 3rd ed. Paris: Lavoisier; 2001. 650 p.
26. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement, et du travail. *Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras.* Maisons-Alfort; 2011 p. 323.
27. Food and Nutrition Board : Institute of Medicine. *Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements.* Washington: National Academies Press; 2006. 1330 p.

28. Food and Nutrition Board : Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington: National Academies Press; 2006. 800 p.
29. Larqué E, Gil-Sánchez A, Prieto-Sánchez MT, Koletzko B. Omega 3 fatty acids, gestation and pregnancy outcomes. *Br J Nutr.* 2012 Jun; 107 Suppl 2:S77–84. doi: [10.1017/S0007114512001481](https://doi.org/10.1017/S0007114512001481) PMID: [22591905](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22591905/)
30. Vannice G, Rasmussen H. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Dietary Fatty Acids for Healthy Adults. *J Acad Nutr Diet.* 2014 Jan; 114(1):136–53. doi: [10.1016/j.jand.2013.11.001](https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.11.001) PMID: [24342605](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24342605/)
31. Commission of the European Communities. Energy. In: Nutrients and energy intakes for the European Community Report of the Scientific Committee for Food (Thirsty-first series). Office for Official Publication of the European Communities. Luxembourg; 1993. p. 12–38.
32. Food and Nutrition Board : Institute of Medicine. Energy. In: Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements. Washington: National Academies Press; 2006. p. 82–93.
33. Nordic Co-operation. Energy. In: Nordic Nutrition Recommendations 2012. Copenhagen: Nordic Council of Ministers; 2008. p. 161–94.
34. United Nations University, World Health Organization, Food and Agriculture Organization. Human Energy Requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation: Rome, 17–24 October 2001. Food and Agriculture Organization.; 2004. 96 p.
35. Bresson J, Rey F. Femmes enceintes et allaitantes. In: Apports Nutritionnels Conseillés pour la population française. 3rd ed. Paris: Tec et Doc. Lavoisier; 2001. p. 293–305.
36. Institut National de Prévention pour l'Education et la Santé. Le guide nutrition pendant et après la grossesse. Paris: INPES; 2007. 52 p.
37. Société Suisse de Nutrition. L'alimentation de la femme enceinte. Berne: Société Suisse de Nutrition; 2011. 12 p.
38. National Health Service. Healthy diet in pregnancy—Pregnancy and baby guide [Internet]. NHS Choices. 2013 [cited 2014 Nov 4]. Available from: <http://www.nhs.uk/Conditions/pregnancy-and-baby/pages/healthy-pregnancy-diet.aspx#snacks>
39. Doré N, Le Hénaff D. Etre enceinte au quotidien. In: Mieux vivre avec notre enfant de la grossesse à deux ans, guide pratique pour les mères et les pères. Québec: Institut national de santé publique du Québec; 2014. p. 37–90.
40. Hercberg S, Deheeger M, Preziosi P. SU.VI.MAX Portions alimentaires manuel-photos pour l'estimation des quantités. Polytechnica. Paris; 2002. 132 p.
41. Food and Nutrition Service—United States Department of Agriculture. Tips for Pregnant Women. United States Department of Agriculture; 2013.
42. Laraia BA, Bodnar LM, Siega-Riz AM. Pregravid body mass index is negatively associated with diet quality during pregnancy. *Public Health Nutr.* 2007 Sep; 10(09).
43. Carmichael SL, Shaw GM, Selvin S, Schaffer DM. Diet quality and risk of neural tube defects. *Med Hypotheses.* 2003 Mar; 60(3):351–5. PMID: [12581611](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12581611/)
44. Alwan NA, Cade JE, Greenwood DC, Deanfield J, Lawlor DA. Associations of Maternal Iron Intake and Hemoglobin in Pregnancy with Offspring Vascular Phenotypes and Adiposity at Age 10: Findings from the Avon Longitudinal Study of Parents and Children. *PLoS One.* 2014; 9(1):e84684. doi: [10.1371/journal.pone.0084684](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084684) PMID: [24400110](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24400110/)
45. van Eijsden M, Hornstra G, van der Wal MF, Vrijkotte TG, Bonsel GJ. Maternal n-3, n-6, and trans fatty acid profile early in pregnancy and term birth weight: a prospective cohort study. *Am J Clin Nutr.* 2008; 87(4):887–95. PMID: [18400711](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18400711/)
46. Szwajcer E, Hiddink GJ, Maas L, Koelen M, van Woerkum C. Nutrition awareness before and throughout different trimesters in pregnancy: a quantitative study among Dutch women. *Fam Pract.* 2012 Apr; 29 Suppl 1:i82–8. doi: [10.1093/fampra/cmr107](https://doi.org/10.1093/fampra/cmr107) PMID: [22399562](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22399562/)

2.1.3. Matériel supplémentaire soumis pour la publication en ligne

S1 Table. Items, reference values¹ and variabilities used in the French implementation of the updated PANDiet for women of childbearing age and women during the first and the third trimester of pregnancy.

	Women of childbearing age	Pregnant women (1 st trimester)	Pregnant women (3 rd trimester)	Variability
Adequacy sub-score				
Protein	0.66 g/kg bw	0.66 g/kg bw	0.8 g/kg bw	12.50 %
Total Fat	30% EIEA	30% EIEA	30% EIEA	0 %
LA (C18:2 n-6)	3.08 % EIEA	3.08% EIEA	3.08% EIEA	15 %
ALA (C18:3 n-3)	0.77% EIEA	0.77% EIEA	0.77% EIEA	15 %
DHA	192 mg	192 mg	192 mg	15 %
EPA + DHA	385 mg	385 mg	385 mg	15 %
Total carbohydrate	45 % EIEA	45 % EIEA	45 % EIEA	0 %
Dietary fibre	25 g	25 g	25 g	15 %
Vitamin A	462 µg RE	462 µg RE	539 µg RE	15%
Thiamin	0.85 mg	1.39 mg	1.39 mg	15%
Riboflavin	1.15 mg	1.23 mg	1.23 mg	15 %
Niacin	8.5 mg NES	12.3 mg NES	12.3 mg NES	15 %
Pantothenic acid	3.85 mg	3.85 mg	3.85 mg	15 %
Vitamin B6	1.25 mg	1.67 mg	1.67 mg	10 %
Folate	215 µg	286 µg	286 µg	20 %
Vitamin B12	2.0 µg	2.17 µg	2.17 µg	10 %
Vitamin C	84.6 mg	92.3 mg	92.3 mg	15 %
Vitamin D	3.85 µg	7.70 µg	7.70 µg	15 %
Vitamin E	9.23 mg	9.23 mg	9.23 mg	15 %
Calcium	690 mg	690 mg	760 mg	15 %
Iodine	107 µg	143 µg	143 µg	20 %
Iron	Table provided by the IoM [27]			
Magnesium	5 mg/kg bw	5 mg/kg bw	5.56 mg/kg bw	10 %
Phosphorus	580 mg	580 mg	640 mg	15 %
Potassium	2385 mg	2385 mg	2385 mg	15 %
Selenium	38.5 µg	38.5 µg	46.2 µg	15 %
Zinc	5.39 mg	6.41 mg	8.46 mg	15 %
Moderation sub-score				
Protein	2.2 g/kg bw	2.2 g/kg bw	2.2 g/kg bw	0 %
Total carbohydrate	60% EIEA	60% EIEA	60% EIEA	0 %
Free sugars	10% EIEA	10% EIEA	10% EIEA	15 %
Total fat	40% EIEA	40% EIEA	40% EIEA	0 %
Saturated Fatty Acids	12% EIEA	12% EIEA	12% EIEA	15 %
Cholesterol	300 mg	300 mg	300 mg	15 %
Sodium	2365 mg	2365 mg	2365 mg	15 %
<i>Tolerable Upper Intakes Limits for potential penalties</i>				
Retinol	3000 µg			
Niacin	900 mg			
Vitamin B6	25 mg			
Folate	1000 µg			
Vitamin C	500 mg			
Vitamin D	50 µg			
Vitamin E	300 mg			
Calcium	2500 mg			
Iodine	600 µg			
Iron	28 mg			

Magnesium	700 mg
Phosphorus	2500 mg
Selenium	300 µg
Zinc	25 mg

¹References values were emitted by the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health [25, 26]. The Adequacy sub-score is composed by 27 items and the Moderation sub-score is composed by 7 items plus 14 potential penalty values.

ALA, Alpha Linolenic Acid. Bw, bodyweight. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. EIEA, Energy Intake Excluding Alcohol. LA, Linoleic Acid. NES, Niacin Equivalents. RE, Retinol Equivalents

S2 Table. Items, reference values¹ and variabilities used in the US implementation of the updated PANDiet for women of childbearing age and women during the first and the third trimester of pregnancy.

	Women of childbearing age	Pregnant women (1 st trimester)	Pregnant women (3 rd trimester)	Variability
Adequacy sub-score				
Protein	0.66 g/kg bw	0.66 g/kg bw	0.88 g/kg bw	12 %
Total Fat	20% EIEA	20% EIEA	20% EIEA	0 %
LA (C18:2 n-6)	12 g	13 g	13 g	10 %
ALA (C18:3 n-3)	1.1 g	1.4 g	1.4 g	10 %
DHA	192 mg	192 mg	192 mg	15 %
EPA + DHA	385 mg	385 mg	385 mg	15 %
Total carbohydrate	45 % EIEA	45 % EIEA	45 % EIEA	0 %
Dietary fibre	14 g/1000 kcal	14 g/1000 kcal	14 g/1000 kcal	10 %
Vitamin A	500 µg RE	550 µg RE	550 µg RE	20 %
Thiamin	0.9 mg	1.2 mg	1.2 mg	10 %
Riboflavin	0.9 mg	1.2 mg	1.2 mg	10 %
Niacin	11 mg NES	14 mg NES	14 mg NES	10 %
Vitamin B6	1.1 mg	1.6 mg	1.6 mg	10 %
Folate	320 µg	520 µg	520 µg	20 %
Vitamin B12	2.0 µg	2.2 µg	2.2 µg	10 %
Vitamin C	60 mg	70 mg	70 mg	10 %
Vitamin D	10 µg	10 µg	10 µg	25 %
Vitamin E	12 mg	12 mg	12 mg	12.5 %
Calcium	800 mg	800 mg	800 mg	12.5 %
Iron	Table provided by the IoM [27]			
Magnesium	255 mg (19-30y) 265 mg (31-44y)	290 mg (19-30y) 300 mg (31-44y)	290 mg (19-30y) 300 mg (31-44y)	10 %
Phosphorus	580 mg	580 mg	580 mg	10 %
Potassium	4700 mg	4700 mg	4700 mg	10 %
Selenium	45 µg	49 µg	49 µg	10 %
Zinc	6.8 mg	9.5 mg	9.5 mg	10 %
Moderation sub-score				
Total carbohydrate	65% EIEA	65% EIEA	65% EIEA	0 %
Total fat	35% EIEA	35% EIEA	35% EIEA	0 %
Saturated Fatty Acids	10% EIEA	10% EIEA	10% EIEA	10 %
Cholesterol	300 mg	300 mg	300 mg	10 %
Sodium	2300 mg	2300 mg	2300 mg	15 %
<i>Tolerable Upper Intakes Limits for potential penalties</i>				
Retinol			3000 µg	
Niacin			900 mg	
Vitamin B6			100 mg	
Folate			1000 µg	
Vitamin C			2000 mg	
Vitamin D			100 µg	
Vitamin E			1000 mg	
Calcium			2500 mg	
Iron			45 mg	
Phosphorus	4000 mg	3500 mg	3500 mg	
Selenium			400 µg	
Zinc			40 mg	

¹ Reference values were emitted by the Food and Nutrition Board of the United States Department of Agriculture [27, 28], except for EPA and DHA whose reference values come from the American Academy of Nutrition and Dietetics [30]. The Adequacy sub-score is composed by 25 items and the Moderation sub-score is composed by 5 items plus 12 potential penalty values.

ALA, Alpha Linolenic Acid. Bw, bodyweight. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. EIEA, Energy Intake Excluding Alcohol. LA, Linoleic Acid. NES, Niacin Equivalents. RE, Retinol Equivalents.

S3 Table. PANDiet scores, associated sub-scores and probabilities of adequacy for nutrients corresponding to observed PANDiet by country (France (ENNS) / USA (NHANES)) and physiological status (Women of Childbearing age/ Pregnant women).

Country	France ^{1,2}			USA ^{1,2}		
	Physiological status	Women of childbearing age (n=344)	Pregnant women (n=22)	Women of childbearing age (n=563)	Pregnant women (n=39)	
PANDiet	59.3 ± 7.0	54.5 ± 7.5	**	58.8 ± 9.3	59.9 ± 8.9	
AS	61.1 ± 11.9	54.7 ± 13.1	*	62.3 ± 11.2	63.5 ± 11.1	
<i>Total Carbohydrate</i>	0.38 ± 0.39	0.25 ± 0.31		0.79 ± 0.33	0.82 ± 0.34	
<i>Total Fat</i>	0.92 ± 0.18	0.98 ± 0.04		0.97 ± 0.13	0.97 ± 0.08	
<i>LA</i>	0.60 ± 0.34	0.60 ± 0.32		0.63 ± 0.37	0.67 ± 0.38	
<i>ALA</i>	0.09 ± 0.20	0.06 ± 0.12		0.66 ± 0.36	0.58 ± 0.39	
<i>DHA</i>	0.17 ± 0.29	0.22 ± 0.37		0.07 ± 0.21	0.07 ± 0.21	
<i>EPA + DHA</i>	0.15 ± 0.27	0.23 ± 0.37		0.05 ± 0.17	0.05 ± 0.19	
<i>Protein</i>	0.97 ± 0.08	0.95 ± 0.08		0.90 ± 0.20	0.71 ± 0.29	**
<i>Dietary fibre</i>	0.12 ± 0.20	0.11 ± 0.20		0.11 ± 0.24	0.14 ± 0.27	
<i>Vitamin A</i>	0.78 ± 0.27	0.64 ± 0.36	*	0.54 ± 0.37	0.72 ± 0.30	**
<i>Thiamin</i>	0.73 ± 0.29	0.32 ± 0.32	**	0.88 ± 0.22	0.90 ± 0.15	
<i>Riboflavin</i>	0.85 ± 0.23	0.89 ± 0.16		0.95 ± 0.13	0.95 ± 0.14	
<i>Niacin</i>	0.94 ± 0.13	0.81 ± 0.24	**	0.94 ± 0.15	0.94 ± 0.12	
<i>Pantothenic acid</i>	0.64 ± 0.32	0.71 ± 0.30		NA		
<i>Vitamin B6</i>	0.71 ± 0.31	0.45 ± 0.35	**	0.84 ± 0.26	0.73 ± 0.34	*
<i>Folate</i>	0.78 ± 0.26	0.53 ± 0.35	**	0.80 ± 0.30	0.64 ± 0.39	**
<i>Vitamin B12</i>	0.90 ± 0.18	0.88 ± 0.21		0.86 ± 0.24	0.86 ± 0.26	
<i>Vitamin C</i>	0.48 ± 0.38	0.49 ± 0.37		0.53 ± 0.41	0.64 ± 0.41	
<i>Vitamin D</i>	0.10 ± 0.22	0.04 ± 0.12	**	0.13 ± 0.23	0.26 ± 0.32	*
<i>Vitamin E</i>	0.54 ± 0.34	0.53 ± 0.35		0.12 ± 0.25	0.13 ± 0.27	
<i>Calcium</i>	0.75 ± 0.30	0.74 ± 0.30		0.60 ± 0.38	0.85 ± 0.25	**
<i>Iodine</i>	0.47 ± 0.31	0.29 ± 0.27	**	NA		
<i>Iron</i>	0.78 ± 0.18	0.81 ± 0.16		0.86 ± 0.16	0.94 ± 0.07	**
<i>Magnesium</i>	0.38 ± 0.36	0.14 ± 0.22	**	0.54 ± 0.38	0.61 ± 0.40	
<i>Potassium</i>	0.64 ± 0.31	0.73 ± 0.29		0.03 ± 0.10	0.05 ± 0.16	
<i>Phosphorus</i>	0.98 ± 0.06	0.99 ± 0.04		0.98 ± 0.07	1.00 ± 0.01	
<i>Selenium</i>	0.68 ± 0.31	0.60 ± 0.29		0.96 ± 0.13	0.98 ± 0.03	
<i>Zinc</i>	0.95 ± 0.11	0.80 ± 0.30	**	0.83 ± 0.26	0.68 ± 0.33	**
MS	57.4 ± 11.9	54.2 ± 13.7		55.3 ± 17.4	56.3 ± 17.5	
<i>Total carbohydrate</i>	0.99 ± 0.07	1.00 ± 0.00		0.93 ± 0.18	0.91 ± 0.20	
<i>Total fat</i>	0.55 ± 0.39	0.53 ± 0.40		0.58 ± 0.41	0.65 ± 0.40	
<i>Saturated Fatty Acids</i>	0.14 ± 0.21	0.09 ± 0.16		0.41 ± 0.37	0.50 ± 0.36	
<i>Cholesterol</i>	0.45 ± 0.34	0.36 ± 0.33		0.68 ± 0.37	0.66 ± 0.39	
<i>Protein</i>	0.97 ± 0.11	0.99 ± 0.03		NA		
<i>Free sugars</i>	0.56 ± 0.38	0.63 ± 0.36		NA		
<i>Sodium</i>	0.36 ± 0.31	0.23 ± 0.28	*	0.16 ± 0.24	0.11 ± 0.19	
<i>Penalty</i>	0.02 ± 0.14	0.05 ± 0.21		0.02 ± 0.14	0.05 ± 0.22	

^{1,2} Differences between PANDiet scores, AS, MS and probabilities of adequacy by physiological status in the same country were assessed with Student's t-tests. A Box Cox transformation was used for probabilities of adequacy for nutrients because residuals were not normally distributed: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

ALA, Alpha-linolenic Acid. AS, Adequacy sub-score. DHA, docosahexaenoic acid. ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé). EPA, eicosapentaenoic acid. LA, linoleic acid. NA, not available. NHANES, National Health Administration and Nutrition Examination Survey.

S4 Table. Observed and simulated-pregnancy PANDiet scores, AS, MS and associated probabilities of adequacy among French women of child-bearing age (n=344) from ENNS and US women of child-bearing age (n=563) from NHANES.

	French women of childbearing age (n=344)			US women of childbearing age (n=563)		
	Observed PANDiet	Simulated pregnancy PANDiet		Observed PANDiet	Simulated pregnancy PANDiet	
PANDiet score	59.3 ± 7.0	55.9 ± 7.3	*	58.8 ± 9.3	55.1 ± 9.8	*
AS	61.1 ± 11.9	54.5 ± 12.5	*	62.3 ± 11.2	54.9 ± 13.3	*
<i>Total carbohydrate</i>	0.38 ± 0.39	0.38 ± 0.39		0.79 ± 0.33	0.79 ± 0.33	
<i>Total fat</i>	0.92 ± 0.18	0.92 ± 0.18		0.97 ± 0.13	0.97 ± 0.13	
<i>ALA</i>	0.09 ± 0.20	0.09 ± 0.20		0.66 ± 0.36	0.48 ± 0.20	**
<i>LA</i>	0.60 ± 0.34	0.60 ± 0.34		0.63 ± 0.37	0.58 ± 0.38	**
<i>DHA</i>	0.17 ± 0.29	0.17 ± 0.29		0.07 ± 0.21	0.07 ± 0.21	
<i>EPA + DHA</i>	0.15 ± 0.27	0.15 ± 0.27		0.05 ± 0.17	0.05 ± 0.17	
<i>Protein</i>	0.97 ± 0.08	0.97 ± 0.08		0.90 ± 0.20	0.90 ± 0.20	
<i>Dietary Fibre</i>	0.12 ± 0.20	0.12 ± 0.20		0.11 ± 0.24	0.11 ± 0.24	
<i>Vitamin A</i>	0.78 ± 0.27	0.78 ± 0.27		0.54 ± 0.37	0.48 ± 0.38	**
<i>Thiamin</i>	0.73 ± 0.29	0.27 ± 0.30	**	0.88 ± 0.22	0.70 ± 0.35	**
<i>Riboflavin</i>	0.85 ± 0.23	0.80 ± 0.26	**	0.95 ± 0.13	0.83 ± 0.27	**
<i>Niacin</i>	0.94 ± 0.13	0.73 ± 0.28	**	0.94 ± 0.15	0.87 ± 0.24	**
<i>Pantothenic Acid</i>	0.64 ± 0.32	0.64 ± 0.32		NA		
<i>Vitamin B6</i>	0.71 ± 0.31	0.37 ± 0.35	**	0.84 ± 0.26	0.57 ± 0.38	**
<i>Folate</i>	0.78 ± 0.26	0.52 ± 0.32	**	0.80 ± 0.30	0.44 ± 0.40	**
<i>Vitamin B12</i>	0.90 ± 0.18	0.88 ± 0.20		0.86 ± 0.24	0.83 ± 0.28	**
<i>Vitamin C</i>	0.48 ± 0.38	0.43 ± 0.38		0.53 ± 0.41	0.47 ± 0.41	**
<i>Vitamin D</i>	0.10 ± 0.22	0.03 ± 0.12	**	0.13 ± 0.23	0.13 ± 0.23	
<i>Vitamin E</i>	0.54 ± 0.34	0.54 ± 0.34		0.12 ± 0.25	0.12 ± 0.25	
<i>Calcium</i>	0.75 ± 0.30	0.75 ± 0.30		0.60 ± 0.38	0.60 ± 0.38	
<i>Iodine</i>	0.47 ± 0.31	0.22 ± 0.24	**	NA		
<i>Iron</i>	0.78 ± 0.18	0.78 ± 0.18		0.86 ± 0.16	0.86 ± 0.16	
<i>Magnesium</i>	0.38 ± 0.36	0.38 ± 0.36		0.54 ± 0.38	0.40 ± 0.37	**
<i>Phosphorus</i>	0.98 ± 0.06	0.98 ± 0.06		0.98 ± 0.07	0.98 ± 0.07	
<i>Potassium</i>	0.64 ± 0.31	0.64 ± 0.31		0.03 ± 0.10	0.03 ± 0.10	
<i>Selenium</i>	0.68 ± 0.31	0.68 ± 0.31		0.96 ± 0.13	0.95 ± 0.15	
<i>Zinc</i>	0.95 ± 0.11	0.89 ± 0.18	**	0.83 ± 0.26	0.53 ± 0.39	**
MS	57.4 ± 11.9	57.4 ± 11.9		55.3 ± 17.4	55.3 ± 17.4	
<i>Protein</i>	0.97 ± 0.11	0.97 ± 0.11		NA		
<i>Total carbohydrate</i>	0.99 ± 0.07	0.99 ± 0.07		0.93 ± 0.18	0.93 ± 0.18	
<i>Free sugars</i>	0.56 ± 0.38	0.56 ± 0.38		NA		
<i>Total fat</i>	0.55 ± 0.39	0.55 ± 0.39		0.58 ± 0.41	0.58 ± 0.41	
<i>Saturated fat</i>	0.14 ± 0.21	0.14 ± 0.21		0.41 ± 0.37	0.41 ± 0.37	
<i>Cholesterol</i>	0.45 ± 0.34	0.45 ± 0.34		0.68 ± 0.37	0.68 ± 0.37	
<i>Sodium</i>	0.36 ± 0.31	0.36 ± 0.31		0.16 ± 0.24	0.16 ± 0.24	
<i>Penalty</i>	0.02 ± 0.14	0.02 ± 0.14		0.02 ± 0.14	0.02 ± 0.14	

Differences between observed and simulated-pregnancy PANDiet scores, AS, MS and probabilities of adequacy in the same country were assessed with a mixed model. A Box Cox transformation was used for probabilities of adequacy for nutrients when residuals were not normally distributed: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

ALA, Alpha-linolenic Acid. AS, Adequacy sub-score. DHA, docosahexaenoic acid. ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé). EPA, eicosapentaenoic acid. LA, linoleic acid. NA, not available. NHANES, National Health Administration and Nutrition Examination Survey.

S5 Table. Probabilities of adequacy for key nutrients during pregnancy (mean \pm SD): DHA, Folate, Vitamin D, Calcium, Iodine and Iron obtained after different simulations (simulated-pregnancy without any addition, with a proportional increase in consumed food weight of 150-kcal or with the addition of one of the eleven 150-kcal snacks recommended during pregnancy) in French women of childbearing age (ENNS¹, n=344)

	DHA	Folate	Vitamin D	Calcium	Iodine	Iron
<i>Simulated-pregnancy without any addition</i>	0.17 \pm 0.29	0.52 \pm 0.32	0.03 \pm 0.12	0.75 \pm 0.30	0.22 \pm 0.24	0.78 \pm 0.18
Simulated-pregnancy with a 150-kcal addition						
<i>Proportional increase in consumed food weight</i>	0.19 \pm 0.30	0.60* \pm 0.31	0.04 \pm 0.13	0.81* \pm 0.26	0.27* \pm 0.26	0.83* \pm 0.15
150-kcal snacks						
<i>Milk and soft bun</i>	0.18 \pm 0.29	0.60* \pm 0.30	0.03 \pm 0.12	0.90* \pm 0.18	0.32* \pm 0.27	0.81 \pm 0.16
<i>Banana and yogurt</i>	0.17 \pm 0.29	0.62* \pm 0.30	0.03 \pm 0.12	0.92* \pm 0.16	0.42* \pm 0.28	0.81 \pm 0.16
<i>Bread with nuts</i>	0.17 \pm 0.29	0.58* \pm 0.31	0.03 \pm 0.12	0.77 \pm 0.28	0.22 \pm 0.24	0.83* \pm 0.14
<i>Cereal bar and yogurt</i>	0.17 \pm 0.29	0.73* \pm 0.26	0.03 \pm 0.12	0.92* \pm 0.16	0.42* \pm 0.28	0.83* \pm 0.14
<i>Walnuts and yogurt</i>	0.17 \pm 0.29	0.61* \pm 0.30	0.03 \pm 0.12	0.87* \pm 0.21	0.31* \pm 0.27	0.81 \pm 0.15
<i>Fruit and yogurt</i>	0.17 \pm 0.29	0.54 \pm 0.31	0.03 \pm 0.13	0.93* \pm 0.15	0.42* \pm 0.28	0.80 \pm 0.16
<i>Bread and cheese</i>	0.17 \pm 0.29	0.54 \pm 0.31	0.04* \pm 0.14	0.95* \pm 0.12	0.26 \pm 0.26	0.81 \pm 0.16
<i>Toasts and egg</i>	0.23* \pm 0.32	0.68* \pm 0.28	0.03 \pm 0.12	0.80 \pm 0.27	0.37* \pm 0.25	0.85* \pm 0.13
<i>Vegetable sticks and hummus</i>	0.17 \pm 0.29	0.72* \pm 0.26	0.03 \pm 0.12	0.84* \pm 0.24	0.23 \pm 0.25	0.86* \pm 0.11
<i>Bread with baked beans in tomato sauce</i>	0.17 \pm 0.29	0.73* \pm 0.26	0.03 \pm 0.12	0.80 \pm 0.27	0.23 \pm 0.25	0.89* \pm 0.09
<i>Pita bread filled with salad and tuna</i>	0.25* \pm 0.33	0.69* \pm 0.27	0.05* \pm 0.15	0.79 \pm 0.27	0.26 \pm 0.25	0.87* \pm 0.11

¹ ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé)

As probabilities of adequacy were not normally distributed, they were transformed using Box-Cox transformations before being used in the mixed model.

* $P < 0.05$ difference as compared to simulated-pregnancy probability of adequacy before simulation of 150-kcal addition assessed with a mixed model.

S6 Table. Simulated-pregnancy PANDiet scores obtained after substitutions of 150-kcal of the observed diet with snacks among French women of childbearing age from ENNS¹ (n=344)

Simulation of substituting 150 kcal of women of childbearing age diets by snacks	Observed PANDiet score ²	Simulated-pregnancy PANDiet score ²	Differences in PANDiet score as compared to the simulated-pregnancy score ^{3,4}	Percentage of women whose nutritional gap was solved by 150-kcal substitution with a snack ⁵
<i>Milk and soft bun</i>	59.3 ± 7.0	55.9 ± 7.3	+0.74 ± 0.05	2.3%
<i>Banana and yogurt</i>			+4.57* ± 0.10	76.2%
<i>Bread with nuts</i>			+2.11* ± 0.06	23.3%
<i>Cereal bar and yogurt</i>			+2.44* ± 0.06	24.7%
<i>Walnuts and yogurt</i>			+2.38* ± 0.12	32.9%
<i>Fruit and yogurt</i>			+3.72* ± 0.09	58.1%
<i>Bread and cheese</i>			-0.66 ± 0.06	0.3%
<i>Toasts and egg</i>			-1.65* ± 0.12	0.3%
<i>Vegetable sticks and hummus</i>			+0.98 ± 0.09	10.5%
<i>Bread with baked beans in tomato sauce</i>			+2.47* ± 0.09	33.7%
<i>Pita bread filled with salad and tuna</i>			+3.45* ± 0.10	48.0%

¹ ENNS, French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé)

² All values are mean ± SD.

³ All values are mean ± SEM.

⁴ Differences between simulated-pregnancy PANDiet scores after simulation of 150-kcal substitutions in women of childbearing age diet were assessed with a mixed model:

* $P < 0.05$ difference as compared to simulated-pregnancy PANDiet score before 150-kcal substitution.

⁵ Nutritional gap was considered as solved when the simulated-pregnancy PANDiet score with the 150 kcal substitution with a snack was superior or equal to the observed PANDiet score.

S7 Table. STROBE Checklist

	Item No	Recommendation
Title and abstract	1	(a) Indicate the study's design with a commonly used term in the title or the abstract: 1.1,2 (title: p.1) (b) Provide in the abstract an informative and balanced summary of what was done and what was found: 1.25-41 (abstract: p.2,3)
Introduction		
Background/rationale	2	Explain the scientific background and rationale for the investigation being reported: 1.43-70 (p.4,5)
Objectives	3	State specific objectives, including any prespecified hypotheses: 1.71-80 (p.5)
Methods		
Study design	4	Present key elements of study design early in the paper: 1.84 (p.5); 1.114-120 (p.6, 7); 1.225-265 (p.11-13)
Setting	5	Describe the setting, locations, and relevant dates, including periods of recruitment, exposure, follow-up, and data collection: 1.85-120 (p.5-7)
Participants	6	(a) <i>Cross-sectional study</i> —Give the eligibility criteria, and the sources and methods of selection of participants : 1.84 (p.5) – 1.114-120 (p.6, 7) (b) <i>Cohort study</i> —For matched studies, give matching criteria and number of exposed and unexposed : NA <i>Case-control study</i> —For matched studies, give matching criteria and the number of controls per case : NA
Variables	7	Clearly define all outcomes, exposures, predictors, potential confounders, and effect modifiers. Give diagnostic criteria, if applicable: 1.114-120 (p.6, 7); 1.144-167 (p.8, 9); 1.169-189 (p.9); 1.191-202 (p.10)
Data sources/ measurement	8*	For each variable of interest, give sources of data and details of methods of assessment (measurement). Describe comparability of assessment methods if there is more than one group: : 1.84 (p.5); 1.114-120 (p.6, 7); 1.144-167 (p.8, 9); 1.169-189 (p.9); 1.225-265 (p.11-13)
Bias	9	Describe any efforts to address potential sources of bias: 1.225-237 (p.11,12)
Study size	10	Explain how the study size was arrived at: 1.114-120 (p.6,7)
Quantitative variables	11	Explain how quantitative variables were handled in the analyses. If applicable, describe which groupings were chosen and why: 1.227-229 (p.12); 1.241-243 (p.12); 1.253-261 (p.13); 1.268-273 (p. 13, 14); 1.276-283 (p.14)
Statistical methods	12	(a) Describe all statistical methods, including those used to control for confounding : 1.268-283 (p.13,14) (b) Describe any methods used to examine subgroups and interactions: 1.271-282 (p.13,14) ; (c) Explain how missing data were addressed: NA (d) <i>Cohort study</i> —If applicable, explain how loss to follow-up was addressed: NA <i>Case-control study</i> —If applicable, explain how matching of cases and controls was addressed: NA <i>Cross-sectional study</i> —If applicable, describe analytical methods taking account of sampling strategy: NA (e) Describe any sensitivity analyses: NA

Results		
Participants	13*	(a) Report numbers of individuals at each stage of study—eg numbers potentially eligible, examined for eligibility, confirmed eligible, included in the study, completing follow-up, and analysed : NA (b) Give reasons for non-participation at each stage: NA (c) Consider use of a flow diagram: NA
Descriptive data	14*	(a) Give characteristics of study participants (eg demographic, clinical, social) and information on exposures and potential confounders: 1.286-289 (p.14) ; (b) Indicate number of participants with missing data for each variable of interest: NA (c) <i>Cohort study</i> —Summarise follow-up time (eg, average and total amount) : NA
Outcome data	15*	<i>Cohort study</i> —Report numbers of outcome events or summary measures over time: NA <i>Case-control study</i> —Report numbers in each exposure category, or summary measures of exposure: NA <i>Cross-sectional study</i> —Report numbers of outcome events or summary measures: 1.291-293 (p.14); 1.313-316 (p. 16); 1.335-338 (p.16, 17); 1.355-362 (p.17, 18); 1.382-389 (p.19); 1.411-425 (p.20,21);
Main results	16	(a) Give unadjusted estimates and, if applicable, confounder-adjusted estimates and their precision (eg, 95% confidence interval). Make clear which confounders were adjusted for and why they were included: 1.291-309 (p.14, 15); 1.313-316 (p.16); 1.335-352 (p.16, 17); 1.355-362 (p.17, 18); 1.382-408 (p.19, 20); 1.411-425 (p.20, 21); (b) Report category boundaries when continuous variables were categorized: 1.341-352 (p.17) (c) If relevant, consider translating estimates of relative risk into absolute risk for a meaningful time period: NA
Other analyses	17	Report other analyses done—eg analyses of subgroups and interactions, and sensitivity analyses: 1.421-425 (p. 20, 21)
Discussion		
Key results	18	Summarise key results with reference to study objectives: 1.428-433 (p.21)
Limitations	19	Discuss limitations of the study, taking into account sources of potential bias or imprecision. Discuss both direction and magnitude of any potential bias: 1.495-512 (p.23, 24)
Interpretation	20	Give a cautious overall interpretation of results considering objectives, limitations, multiplicity of analyses, results from similar studies, and other relevant evidence: 1.434-493 (p.21-23)
Generalisability	21	Discuss the generalisability (external validity) of the study results: 1.451-460 (p. 22); 1.476-479 (p.23); 1.490-493 (p.23)
Other information		
Funding	22	Give the source of funding and the role of the funders for the present study and, if applicable, for the original study on which the present article is based: NA

2.2. Travail personnel n°2 : Simulation de l'efficacité de différents types de conseils alimentaires pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation en début de grossesse et mise en parallèle avec leur acceptabilité chez les femmes enceintes en France.

2.2.1. Résumé

Contexte : Pendant la grossesse, le régime alimentaire de la mère doit être adapté pour permettre la satisfaction de besoins nutritionnels accrus. Les travaux de simulation précédemment menés ont montré que des recommandations alimentaires génériques avaient une efficacité faible mais aussi variable pour maintenir l'adéquation nutritionnelle en début de grossesse. Des conseils alimentaires personnalisés semblent plus prometteurs à ce titre. Cependant, la mesure dans laquelle l'efficacité de ces conseils pourrait être limitée par leur acceptabilité reste à déterminer.

Objectif : L'objectif de cette étude était d'évaluer, par des travaux de simulation, l'efficacité théorique de trois types de conseils alimentaires personnalisés quant à l'amélioration de la qualité nutritionnelle de l'alimentation, puis d'en évaluer l'acceptabilité par les femmes enceintes françaises lors d'une étude longitudinale.

Méthodes : Tout d'abord, la qualité nutritionnelle de l'alimentation de régimes de 344 femmes en âge de procréer (18 – 44 ans) ayant participé à ENNS (2006-2007) a été évaluée par l'intermédiaire du score de PANDiet, en comparant leurs apports nutritionnels avec les références nutritionnelles établies pour le premier trimestre. L'efficacité théorique de trois types de dix conseils alimentaires successifs pour améliorer l'adéquation nutritionnelle de leurs régimes en début de grossesse a été évaluée lors de travaux de simulation. La difficulté d'application des trois types de conseils alimentaires dans le régime était supposée être croissante. Ensuite, lors d'une étude longitudinale en ligne incluant 115 femmes enceintes en France (22 – 41 ans), l'acceptabilité (définie comme la potentielle intention d'usage du conseil dans le régime) des conseils, identifiés comme les plus efficaces lors des travaux de simulation, a été déterminée.

Résultats : La modification de la quantité consommée d'aliments présents dans le régime observé (type n°1) ne modifiait pas le répertoire alimentaire des femmes et aboutissait à la plus faible amélioration du score de PANDiet ($+9,8 \pm 0,2$ points). Cependant, ces conseils étaient identifiés comme les plus acceptables par les femmes enceintes (probabilité pour l'intention d'usage : 0,30 - 0,78). Inversement, le remplacement d'aliments présents dans le régime observé par des aliments du même groupe alimentaire ou consommés à la même occasion (type n°3) élargissait le répertoire alimentaire des femmes ($+3,6 \pm 1,3$ sous-groupes d'aliments) et aboutissait à la plus forte amélioration du score de PANDiet ($+23,9 \pm 0,3$ points). Cependant, les conseils de ce type étaient identifiés comme les moins acceptables (probabilité pour l'intention d'usage : 0,07 – 0,23). Enfin, substituer des aliments au sein du même sous-groupe d'aliments (type n°2) n'élargissait que peu le répertoire alimentaire ($+8,0 \pm 1,3$ aliments) et améliorait modérément le score de PANDiet ($+14,8 \pm 0,2$ points) tout en présentant une acceptabilité intermédiaire (probabilité pour l'intention d'usage : 0,11 – 0,35).

Conclusion : Un compromis marqué existe entre l'efficacité nutritionnelle théorique et l'acceptabilité de différents types de conseils alimentaires, selon l'ouverture du répertoire alimentaire qu'ils entraînent.

Valorisation : Ce travail a fait l'objet d'un manuscrit actuellement soumis pour publication.

Messages-clés

- Les trois types de conseils alimentaires personnalisés sont d'efficacité croissante pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation en début de grossesse selon l'ouverture du répertoire alimentaire qu'ils entraînent.
- L'introduction d'aliments ou sous-groupes d'aliments dans les régimes permet d'améliorer l'adéquation nutritionnelle en certains nutriments dont les apports sont habituellement très faibles.
- L'acceptabilité des conseils alimentaires par les femmes enceintes décroît selon l'ouverture du répertoire alimentaire qu'ils entraînent.
- Un compromis entre efficacité nutritionnelle théorique et acceptabilité doit être effectué afin de permettre la mise en place effective des conseils alimentaires dans les régimes de femmes enceintes en France.

2.2.2. Manuscrit (soumis) : A clear trade-off exists between the theoretical efficiency and acceptability of dietary changes that improve nutrient adequacy during pregnancy in French women

Cette partie présente le manuscrit intitulé « *A clear trade-off exists between the theoretical efficiency and acceptability of dietary changes that improve the nutrient adequacy during pregnancy in French women* » soumis pour publication.

Ce manuscrit a été co-écrit avec Jean-François Huneau, Pierre Barbillon, Anne Lluch, Manon Egnell, Hélène Fouillet, Eric O. Verger et François Mariotti.

A clear trade-off exists between the theoretical efficiency and acceptability of dietary changes that improve nutrient adequacy during pregnancy in French women

Short title: Theoretical efficiency and acceptability of dietary changes in pregnancy

Clélia M. Bianchi¹, Jean-François Huneau¹, Pierre Barbillon², Anne Lluch³, Manon Egnell¹, Hélène Fouillet¹, Eric O. Verger⁴, François Mariotti^{1*}

¹ UMR Physiologie de la Nutrition et du Comportement Alimentaire, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France.

² UMR Mathématiques et Informatique Appliquées, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France.

³ Global Nutrition Department, Danone Nutricia Research, Centre Daniel Carasso, RD 128, 91737 Palaiseau Cedex, France.

⁴IRD (Institut de Recherche pour le Développement), UMR NUTRIPASS IRD-UM-SupAgro, 34000 Montpellier, France.

***Corresponding author:** François Mariotti, 16, rue Claude Bernard, 75005, Paris, France – francois.mariotti@agroparistech.fr - Phone: +33 1 44 08 72 86 – Fax: +33 1 44 08 18 25

ABSTRACT

BACKGROUND: During pregnancy, the diet of a mother-to-be should be adapted to meet increases in nutrient requirements.

OBJECTIVE: We analyzed the theoretical efficiency and acceptability of different types of tailored dietary changes for pregnant women.

METHODS: The nutrient adequacy of the diet was evaluated using the PANDiet score, by comparing the nutrient intakes of 344 premenopausal women (18-44y) with dietary reference intakes for the first trimester of pregnancy. Simulations were performed to evaluate the theoretical efficiency of three types of ten successive tailored dietary changes in improving nutrient adequacy, with graded difficulty in implementation. The acceptability (declared intention to use in the diet) of most efficient dietary changes was evaluated during a randomized study including 115 French pregnant women (22-41y).

RESULTS: Modifying the amount consumed of foods (type-1) did not modify the food repertoire and resulted in the smallest improvement in the PANDiet score ($+9.8 \pm 0.2$ points), but changes were the most acceptable (probability of the intention to use: 0.30-0.78). Conversely, replacing food items by items from the same group or eaten at the same time (type-3) broadened the food repertoire ($+3.6 \pm 1.3$ food subgroups) and resulted in the greatest improvement in the PANDiet score ($+23.9 \pm 0.3$) but changes were the least acceptable (0.07-0.23). Replacing food items within the same subgroup (type-2) slightly broadened the food repertoire ($+8.0 \pm 1.3$ foods) and resulted in moderate increase in the PANDiet score ($+14.8 \pm 0.2$) and intermediary acceptability (0.11-0.35).

CONCLUSION: A clear trade-off exists between the theoretical efficiency and acceptability of dietary changes, with a graded broadening of the food repertoire.

KEYWORDS: Pregnancy, tailored dietary counseling, nutrient adequacy, diet quality, acceptability.

Introduction

The nutrient adequacy of the diet, meaning that it enables a sufficient but not excessive intake of nutrients, is critical to individuals' health [1–3]. However, for adults living in developed countries, “unhealthy” dietary patterns, associated with a high intake of saturated fatty acids (SFA) and a low intake of vitamins and minerals, persist [4–6]. In the general population, women of childbearing age who are likely to become pregnant are of growing interest in terms of public health issues related to nutrition [7], because of an important body of evidence that associates maternal nutrition during preconception and pregnancy with birth outcomes [8] and the health of offspring during childhood and adulthood [9,10]. However, in developed countries, although pregnancy has been described as being associated with a rise in nutrition awareness [11, 12] and a will to adopt healthier behaviors [13–15], nutrient requirements are not always satisfied [16, 17]. In France, few data are available on nutrient intakes in pregnant women, but studies of different samples have revealed a high n6:n3 fatty acid ratio [18], a moderate iodine deficiency [19] and inadequate intakes in dietary fiber, folate, vitamin D, SFA and sodium [20]. Furthermore, a previously published simulation study carried out by our team [21] showed that compliance with generic dietary guidelines, such as consuming recommended snacks, is only partially effective in maintaining the nutrient adequacy of the preconceptional diet of French women. This calls for major changes to the diet of French women so that they will meet the higher nutrient requirements associated with pregnancy [21]. This also supports the need to design new methods for dietary counseling which target women of childbearing age and those who are pregnant. We recently developed an algorithm to improve the overall nutrient adequacy of the observed diets of French adults, measured using the PANDiet diet quality index, by means of a stepwise dietary counseling model [22]. This model identifies the best dietary change, consisting in the best substitution of a food or beverage that forms part of the observed diet of an individual with a food or beverage from the same food group or subgroup. Because adapting advice to individual habits can improve the acceptability and perception of interventions [23], resorting to tailored dietary advice has proved more efficient than generic dietary advice [24, 25]. However, dietary advice identified as being theoretically efficient needs to be acceptable to the targeted population if it is to be effective in practice [26, 27]. Although women in the periconceptional period are keener to adopt healthier eating behaviors [11–15], we could anticipate that the efficiency of dietary advice might be limited by its acceptability. Our objective

was therefore to identify the dietary changes most efficient in improving nutrient adequacy during pregnancy, and to investigate a possible trade-off with acceptability.

We therefore ran a simulation and optimization study to evaluate the theoretical efficiency of three different types of dietary changes in improving the nutrient adequacy of the diet for pregnancy, followed by a study to evaluate the acceptability (declared intention to use in the diet) of these dietary changes to pregnant women. Finally, we combined the two studies in order to analyze the degree of acceptability of these changes that might limit an improvement in the nutrient adequacy of the diet during pregnancy.

Materials and Methods

We report the results of two studies, a simulation & optimization study and an acceptability study, which are detailed below and the combination of their results are shown in **Figure 1**.

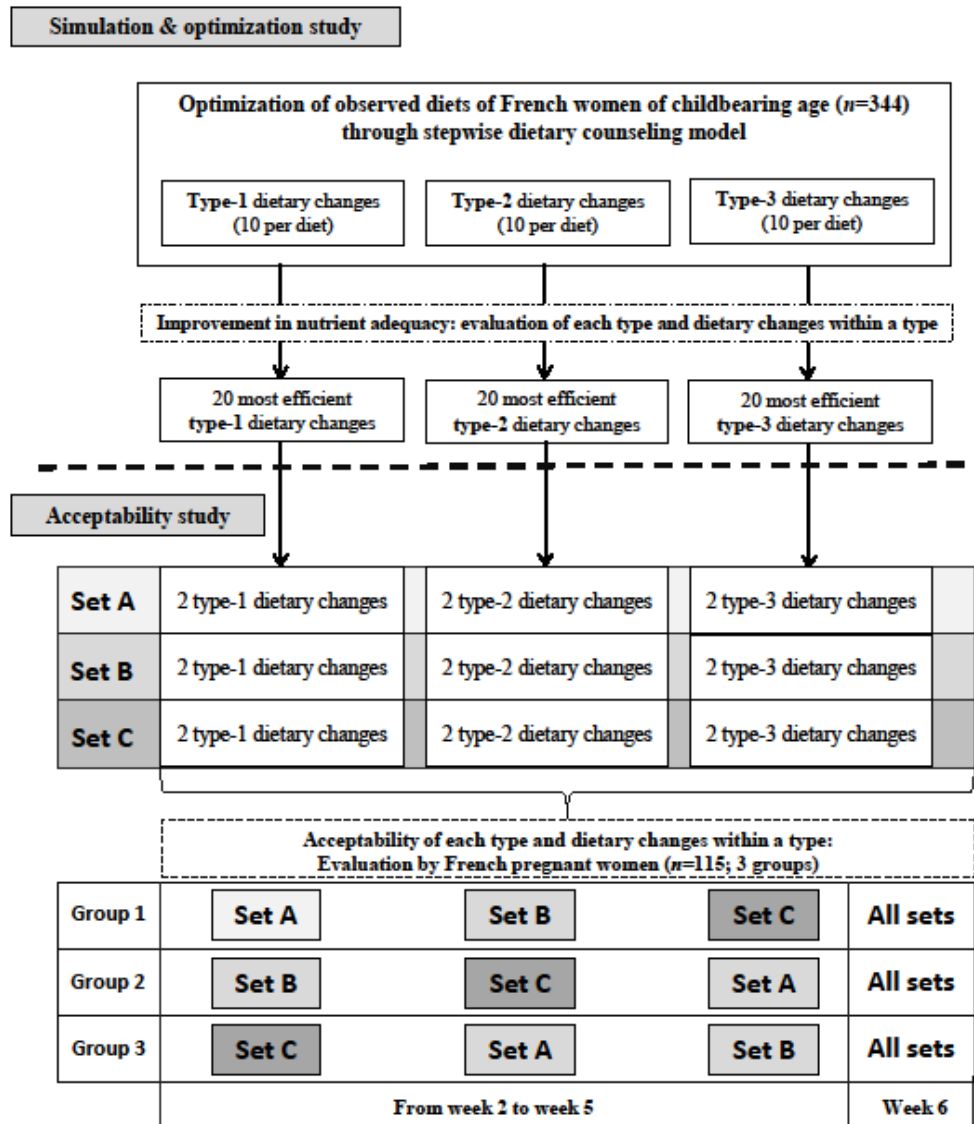


Figure 1. Combination between the simulation & optimization study and the acceptability study. Type-1 dietary changes consist in modifying the amount of a food item present in the observed diet (D_0'). Type-2 dietary changes consist in replacing a food item consumed in the observed diet (D_0') by a food item from the same subgroup. Selection of food items to be used as potential substitutes under type-2 dietary changes was made to account for their consumption in the French population, their price and their seasonality. Type-3 dietary changes consist in replacing a food item consumed in the observed diet (D_0') by a food item from the same group or that could be consumed at the same time according to the French cultural meal scheme. For the simulation & optimization study (upper part), we used a step by step optimization process of each individual diet according to each type of changes, and this resulted in evaluating the efficiency of each type of changes and identifying the 20 most efficient changes of each type. In the acceptability study, each individual tested 6 of the most efficient dietary changes of each type, as two dietary changes at three different occasions (sets A, B, C), and this was tested both a priori and a posteriori. Individuals were randomized in 3 groups (#1-3) for the sequencing of the sets according to a latin square.

Simulation & optimization study

Dietary data

Data were collected between February 2006 and July 2007 in the context of the French Nutrition and Health Survey (Etude Nationale Nutrition Santé, ENNS). The design and methods of the ENNS have been described in detail elsewhere [28]. The survey was carried out in compliance with the Declaration of Helsinki guidelines. All participants gave their written informed consent and the survey protocol was approved by an Ethics Committee (Hôpital Cochin, Paris, no. 2264) and the French Data Protection Authority (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés, CNIL, authorization no.905481). The authors of the present study were granted permission to use anonymized data from the ENNS survey by its principal investigator (Unité de Surveillance en Epidémiologie Nutritionnelle, USEN). The survey had a multistage, stratified, descriptive and cross-sectional design. Non-institutionalized 18 to 74-year-old people living in mainland France were selected at random and their dietary data were collected using three 24-hour recalls (including a weekend day) chosen randomly during a 2-week period. Dietary recalls were conducted over the telephone by trained dietitians. Nutritional values in terms of energy and nutrients were taken from a previously published nutrient database [29], updated as previously presented [21].

Subjects (i) who did not complete all three food recalls, (ii) who had missing information about variables required to calculate the nutrient adequacy index (namely sex, age, body weight, menstruation, pregnancy, lactation) and (iii) who were identified as under-reporters based on the method proposed by Black [30], were excluded. From the overall population, we selected women of childbearing age, defined as being premenopausal, not pregnant, not lactating and younger than 45 years of age (n=344). The characteristics of these subjects are presented in **S1 Table**.

Nutrient adequacy measurement

The PANDiet aims to measure the overall diet quality of an individual by combining the probabilities of having an adequate nutrient intake. This intake is defined as the level likely to satisfy a nutrient requirement and unlikely to be excessive, according to dietary reference values, which differ according to age, sex and physiological condition [31]. The construction and design of the initial PANDiet and its updated version have been described in detail elsewhere [21, 32]. Briefly, the PANDiet is a 100-point score that results averaging two sub-scores, the Adequacy sub-score (Adeq-S) and the Moderation sub-score (Mod-S), so the higher the PANDiet score, the better

the nutrient adequacy. The composition of each sub-score is detailed in **S2 Text**. The dietary reference values used to calculate the PANDiet were mostly those issued by the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health (ANSES) (**S3 Table**). As previously described, for our study, the PANDiet score was adapted for early pregnancy in order to evaluate the nutrient adequacy of women of childbearing age, so the dietary reference values retained were those for pregnancy, except when they were identified as being specific to the third trimester [21, 33].

Stepwise dietary optimization model

We used a stepwise dietary optimization model designed to improve the initial simulated-pregnancy PANDiet score observed for each individual. The same process was implemented for the three types of dietary changes. Step 1 consisted in calculating the PANDiet score for pregnancy for the initial observed diet (D0). Step 2 involved the potential replacement of 134 food items not recommended during pregnancy and included in each observed diet with its cooked version for raw meat when available in the database (n=4), with a very similar food item when identifiable (n=3) or with an equivalent “average food” (n=127), the latter being a theoretical food whose nutritional composition is the mean of that of similar food items weighted by their consumption in the population. Foods not recommended during pregnancy were excluded from the definition of average food compositions. The diet thus obtained was called the “initial observed modified diet” (D0’) and its associated PANDiet score was calculated. Step 3 then consisted in generating all possible dietary changes (depending on the selected type) with respect to D0’. Step 4 consisted in selecting the dietary change that enabled the greatest improvement in the PANDiet score while not decreasing energy intake versus D0’ or increasing it by more than 150 kcal. This was in line with the French guidelines which consider a 150-kcal increase in energy intake during the first trimester of pregnancy to be an approximate reference value [33]. Subsequent steps consisted in repeating the same actions (steps 3 and 4), starting from the diet that had been generated at the last step by retaining the dietary change enabling the greatest improvement.

During this study, we arbitrarily restricted the final number of dietary changes to 10 because pregnancy corresponds to a short period that limits the number of dietary changes possible and because our previous work in the general population had found that only minimal improvements in the PANDiet score were achieved beyond 10 steps [22].

Types of dietary changes

Selection of food items to be used for dietary changes

This selection was made from the ENNS food list (1427 foods and beverages divided into 14 groups and 66 subgroups) plus the 17 average food items that were created for step 2.

Briefly, three types of dietary changes were studied, with type-1 based on the modification of the amount consumed of a food item; and types 2 and 3 based on the replacement of a food item consumed in the observed diet by a food item either from the same subgroup (type-2) or from the same group or that could be consumed at the same time (type-3) (**Figure 1**). Details of the three types of dietary change and the numbers of food items by subgroup used for each type are presented in **S4 Text**, **S5 Figure** and **S6 Table** respectively. Simulations and optimizations resulted in three pathways comprising 10 optimized dietary changes for each of the 344 women.

Acceptability study

Acceptability of dietary changes in pregnant women

We designed a 6-week online quantitative study to evaluate the acceptability of the dietary changes (and their associated types) identified by the simulation as being the most efficient. This study was approved by the Comité de Protection des Personnes Ile-de-France X (Study NI-2016-03-02), a French Ethics Committee. Women aged from 18 to 44, living in mainland France and members of an online panel operated by a generalist market research company (QualiQuanti) were contacted by email to ask if they were pregnant and willing to participate in the study (n=17,244). To register, women had to sign the consent form electronically and to answer a questionnaire on their sociodemographic profile to assess their eligibility. Non-inclusion criteria were as follows: not pregnant, more than six months pregnant, multiple pregnancy, specific diet linked to the dietary management of metabolic disorders or major food exclusions, no signature of the consent form (**S7 Figure**). Eligible participants were asked to answer a questionnaire on their usual consumption of the 56 food subgroups used. If the questionnaire was not filled, the eligible participant was not included in the study. This questionnaire was mainly used to determine the food subgroups consumed by our participants and thus prevent us from proposing the evaluation of a dietary change that might be irrelevant to their diet. In total, 36 dietary changes (12 by type of

dietary change) were selected to build three sets of dietary changes. In order to propose changes that targeted different food subgroups, the 36 dietary changes were selected from the 60 most frequently identified by the simulation (20 by type of dietary change). If the change concerned a food item not usually consumed by the participant, a replacement dietary change was planned. Dietary changes were assigned to one or another set (A, B or C) so that a participant would not evaluate two dietary changes in the same subgroup.

Finally, 115 eligible women were included in the study and were randomly allocated to three groups of similar characteristics (**S7 Figure and S8 Table**). Each group evaluated the sets of dietary changes in a different order, and each participant evaluated independently the six dietary changes comprising the set. The endpoint to assess the acceptability of a dietary change was a declared intention to use it in the diet (“I might apply this dietary change to my diet once a week”: Yes – No). The evaluation was made both a priori (when the set was shown to the participant for the first time) and a posteriori (after a week-long period of reflection by the participant about whether she might use each of the dietary changes of the set in her diet). Details about sequencing of evaluations for each group are provided in **Figure 1**. At the end of the study, the motivation of each participant was assessed in terms of the number of completed questionnaires. Participants who evaluated at least once one set of dietary changes (n=106) were considered for the analysis (**S7 Figure**). Only 29 dietary changes (out of 36) which were evaluated at least five times a priori and five times a posteriori, were considered for the analysis.

Statistical analysis

In the simulation study, descriptive statistics (mean, median, SD, SE and quartiles) were used to report PANDiet scores, associated sub-scores, probabilities of adequacy and changes relative to the three final simulated diets (D1, D2, D3) and the initial observed diets (D0 and D0'). These variables were not all normally distributed according to standard tests (such as the Kolmogorov-Smirnov test); however, according to the central limit theorem, and taking account of the number of subjects ($n=344$), we used the normal approximation for performing mean comparison tests [34]. Student t-tests with a Bonferroni correction were performed to determine whether the means of the delta between the PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and energy intake excluding alcohol (EIEA) between D0 and the D0', named $\Delta 0'$, and between D0' and D1, D2 and D3, respectively named $\Delta 1$, $\Delta 2$ and $\Delta 3$, were different from 0. Sign tests with a Bonferroni correction were also performed to determine whether the percentage of individuals with a positive or negative $\Delta 0'$, $\Delta 1$, $\Delta 2$ and $\Delta 3$ for variables presented above, were different. Multiple mean comparisons were performed under a mixed model, taking a subject effect into account, with a Bonferroni correction to compare the means of $\Delta 0'$, $\Delta 1$, $\Delta 2$ and $\Delta 3$ for variables presented above.

In the acceptability study, descriptive statistics (mean, SD and range) were used to describe the declared intention to use dietary changes. A binomial logistic regression model with random effects for the subject was used to assess respectively whether the declared intention to use (2 levels) was associated with dietary changes (29 levels) or the type of dietary changes (1, 2 or 3), group (1, 2 or 3), order of evaluation (*i.e.* 1, 2 or 3), a priori/a posteriori (binary variable), number of completed questionnaires (from 1 to 6) and parity (binary variable: primiparous or multiparous). The probability that a participant might intend to use a dietary change was derived from the binomial logistic regression model. Correlations between evaluations a priori and a posteriori were evaluated using Pearson coefficients. Combining the results of both studies, the relationship between the probability that a participant might intend to use a dietary change ("acceptability score") and the mean improvement in the PANDiet score obtained for the dietary change during the simulation study ("theoretical efficiency score") was analyzed using linear regression with an inverse transformation of the theoretical efficiency score.

All analyses were performed using SAS 9.1.3 (version 9.1.3, SAS Institute Inc., Cary, NC). $P < 0.05$ were considered to be statistically significant.

Results

Analysis of the preliminary step before simulations: replacement of the food items not recommended during pregnancy

Briefly, this step barely modified the quality of the diet: from D0 to D0', there was only an increase of 1.15% in the PANDiet score ($P<0.001$). Details are shown in **S9 Table**.

Analysis of the kinetics of PANDiet scores, associated sub-scores and energy intake variations between the initial observed modified (D0') and final simulated (D1, D2, D3) diets

At the end of the ten steps of the stepwise dietary counseling model, three final simulated diets (D1, D2 and D3) were obtained for each of the 344 women, corresponding to the three different types. The changes in the PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S and energy intake excluding alcohol (EIEA) of the diets relative to all ten dietary changes are presented in **Figure 2**. After ten dietary changes, the increases in the PANDiet score were, in descending order, 23.9 ± 0.26 ($P<0.001$) with type-3 dietary changes, 14.8 ± 0.20 ($P<0.001$) with type-2 dietary changes and 9.78 ± 0.18 with type-1 dietary changes. Increases in Adeq-S and Mod-S ranked the same between the three different types of dietary changes. Increases in EIEA were, in descending order, 94.0 ± 2.65 ($P<0.001$) with type-1 dietary changes, 49.5 ± 2.42 ($P<0.001$) with type-3 dietary changes and 32.3 ± 1.94 ($P<0.001$) with type-2 dietary changes. There was an effect of the PANDiet quartile of D0' on $\Delta 1$ ($P<0.01$), $\Delta 2$ ($P<0.05$) and $\Delta 3$ ($P<0.001$), respectively. The lower the PANDiet of D0', the higher were the $\Delta 1$, $\Delta 2$ and $\Delta 3$ values. More details can be found in **S10 to 13 Tables**.

Analysis of the nutrient adequacy of the initial observed modified (D0') and final simulated (D1, D2, D3) diets

An increase in the probability of adequacy was observed for 28, 30 and 31 nutrient intakes with types -1, -2 and -3 dietary changes, respectively (**Figure 3**). Globally, the variation in the probabilities of adequacy for nutrient intakes increased significantly from type-1 dietary changes to type-2 dietary changes and then type-3 (total fat, LA, ALA, DHA, EPA+DHA, thiamin, vitamins B6, C, D and E, iron and magnesium intakes in the Adeq-S (12 out of 27) and SFA, cholesterol and sodium intakes (3 out of 7) in the Mod-S; see **S10 to 13 Tables**). For dietary fiber, pantothenic acid and potassium, the variation in the probabilities of adequacy was higher with type-1 dietary changes than with type-2. An increase in the probability of adequacy regarding vitamin A and calcium

intakes was observed with dietary changes of type 1 (except for vitamin A) and of type 2, whereas a decrease was observed with type-3 dietary changes. Very small mean increases in the probability of adequacy for iodine were found, but approximately half of the women increased their adequacy with type-2 dietary changes, and approximately two thirds with types-1 and -3 dietary changes.

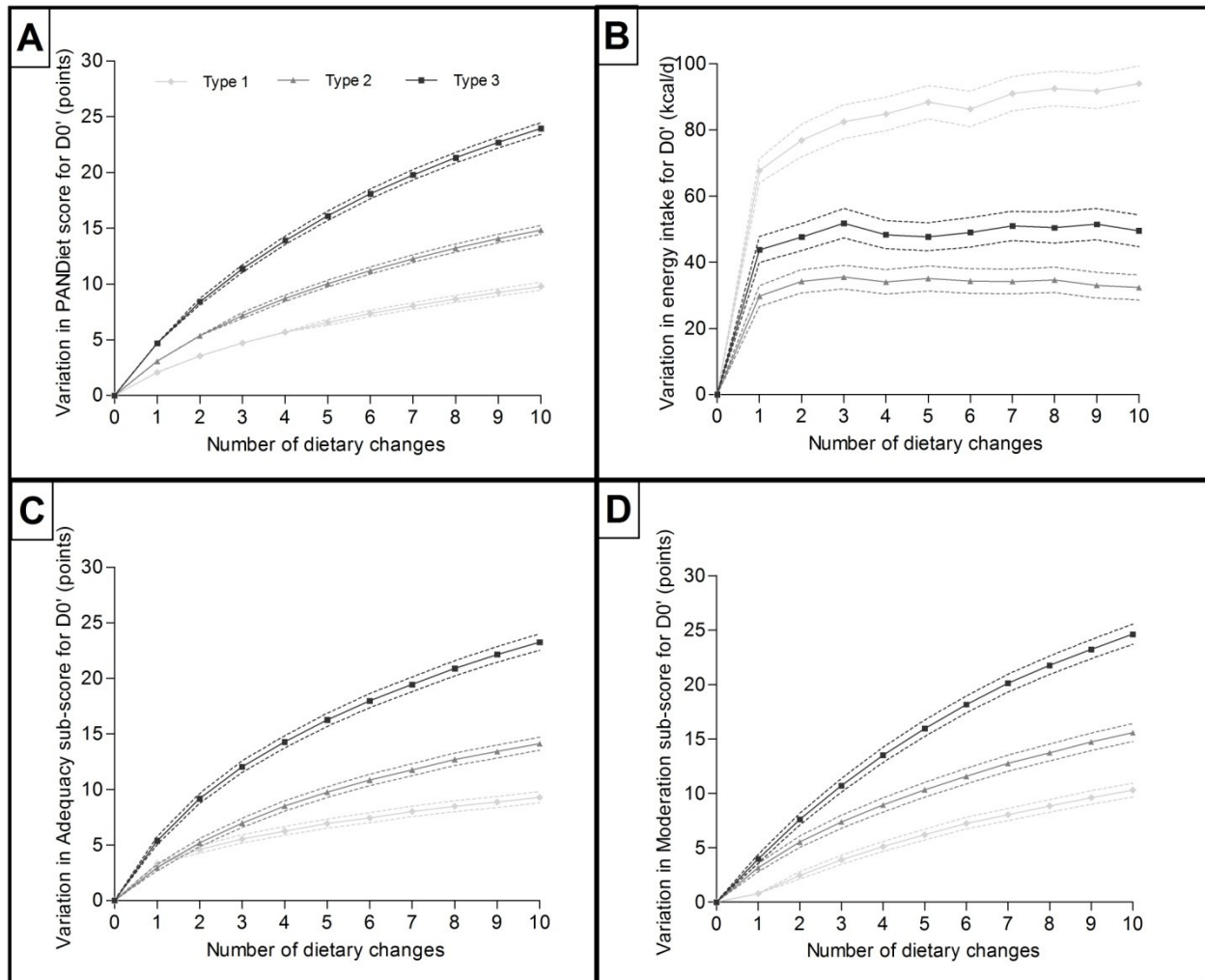


Figure 2. Changes to the PANDiet score (Panel A), energy intake excluding alcohol (EIEA, Panel B), Adequacy sub-score (Adeq-S; Panel C) and Moderation sub-score (Mod-S; Panel D) between the initial observed modified diet (D0') and the three final simulated diets (D1, D2, D3) in line with the ten subsequent dietary changes. Solid lines represent the variation in the mean and dashed lines represent 95% CIs. $n = 344$.

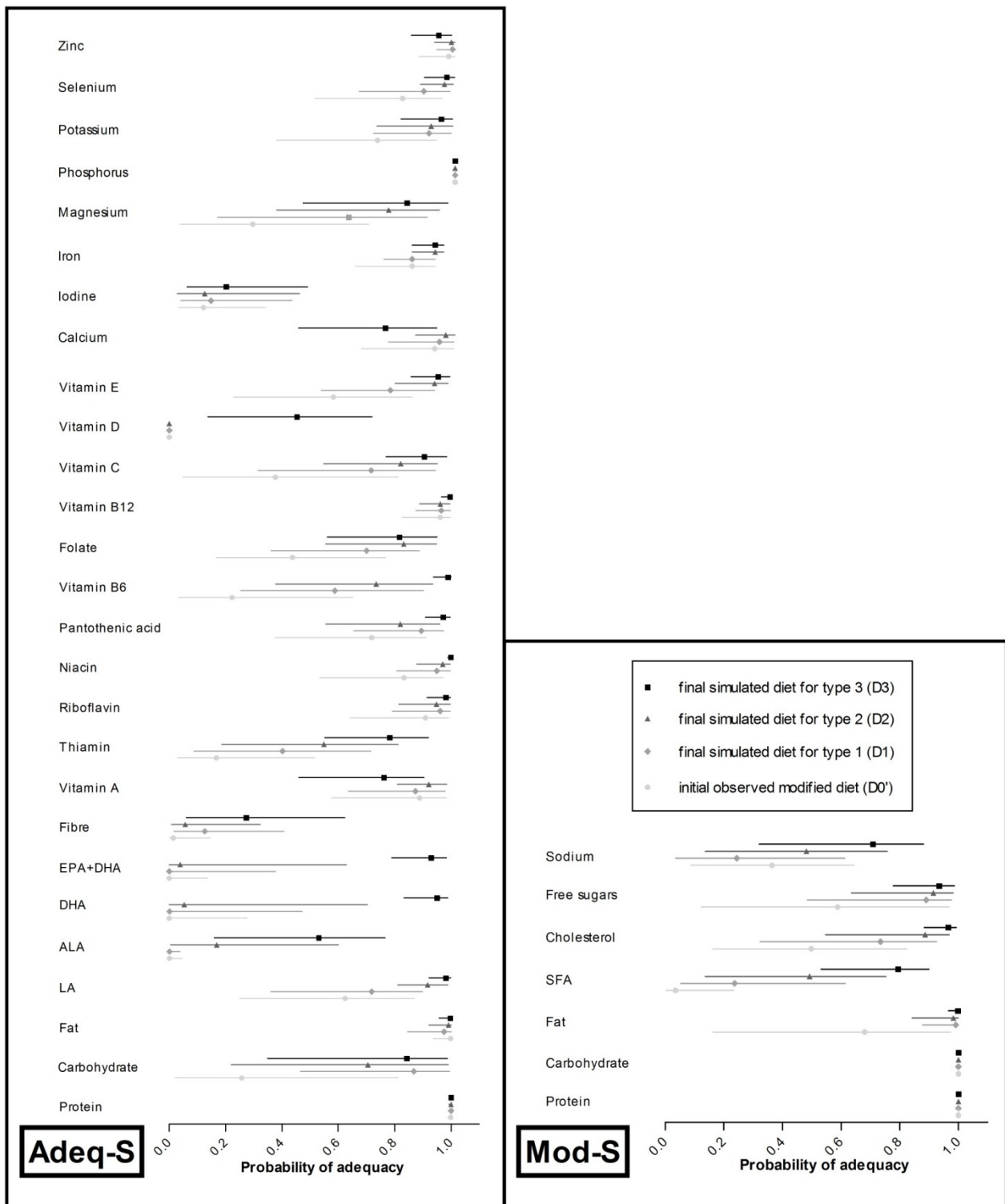


Figure 3. Distribution (first quartile, median, and third quartile) of the probability of adequacy for each nutrient intake considered in the Adequacy sub-score (Adeq-S) and in the Moderation sub-score (Mod-S) for the observed initial modified diets (D0') and the final simulated diets with the three types of dietary changes (D1, D2, D3) separately (Etude Nationale Nutrition Santé 2006–2007). The starting point of each line represents the quartile 1 (25th percentile), the mark (filled circle for D0, filled diamond for D1, filled triangle for D2 and filled square for D3) on each line represents the median, and the final point of each line represents the quartile 3 (75th percentile). The light gray lines with light gray circles represent D0', the medium gray lines with medium gray diamonds represent D1, the dark gray lines with dark gray triangles represent D2 and the black lines with black squares represents D3. *n*= 344.

Analysis of the acceptability of dietary changes and types of dietary changes

The declared intention to use a priori and a posteriori were well correlated (Pearson correlations, $\rho=0.60$, $P<0.001$). The 29 dietary changes were ranked according to the probability of their declared intention to use, derived from the binomial logistic regression model. The 11 type-1 dietary changes were ranked from first to twelfth (1-9, 11 and 12) with a mean probability of declared intention to use of 0.51 ± 0.14 (range: 0.30–0.77). The eight type-2 dietary changes were ranked from tenth to twenty-sixth (10, 13, 14, 19, 21, 22, 24 and 26) with a mean probability of declared intention to use of 0.22 ± 0.08 (range: 0.10–0.35). The ten type-3 dietary changes were ranked from fifteenth to twenty-ninth (15, 16-18, 20, 23, 25, 27-29) with a mean probability of declared intention to use of 0.1 ± 0.06 (range: 0.07–0.23). Among the other variables included in the model (group, order of evaluation, a priori/a posteriori, number of questionnaires and parity), only parity had a significant effect on declared intention to use. When introducing potential confounding factors other than parity into the model (age, number of people composing the household, number of children, socio-professional category, occupation, urbanization of the place of residence), there were no changes greater than one rank.

Comparison of efficiency in improving the nutrient adequacy of the diet and the acceptability of dietary changes

Figure 4 presents the relationship between the “acceptability score” of dietary changes (measured as the probability of declared intention to use) and their “theoretical efficiency score” (measured as the mean increase in the PANDiet score observed with this dietary change during simulations). The relationship between acceptability and theoretical efficiency was not linear and fitted well with the simple one-parameter inverse function (Acceptability = $0.43/\text{Theoretical efficiency}$, $R^2=0.54$; **Figure 4**). Type-1 dietary changes were the least efficient but the most acceptable, while conversely, type-3 dietary changes were the most efficient but the least acceptable. The ranges of theoretical efficiency for type-1 and type-2 dietary changes were 18-40% and 28-90%, respectively, of the most efficient type-3 dietary change. The ranges of acceptability of type-2 and type-3 dietary changes were 13-45% and 9-30%, respectively, of the most acceptable type-1 dietary change. Type-2 dietary changes had an intermediary range of rating for efficiency and acceptability, and ultimately a lower overall rating when acceptability and efficiency were considered together (as

illustrated by their central position in the concavity of the regression curve, **Figure 4**). Overall, the more dietary changes were efficient in improving the nutrient adequacy of the diet, the less they were acceptable, but the relation was variable and not linear.

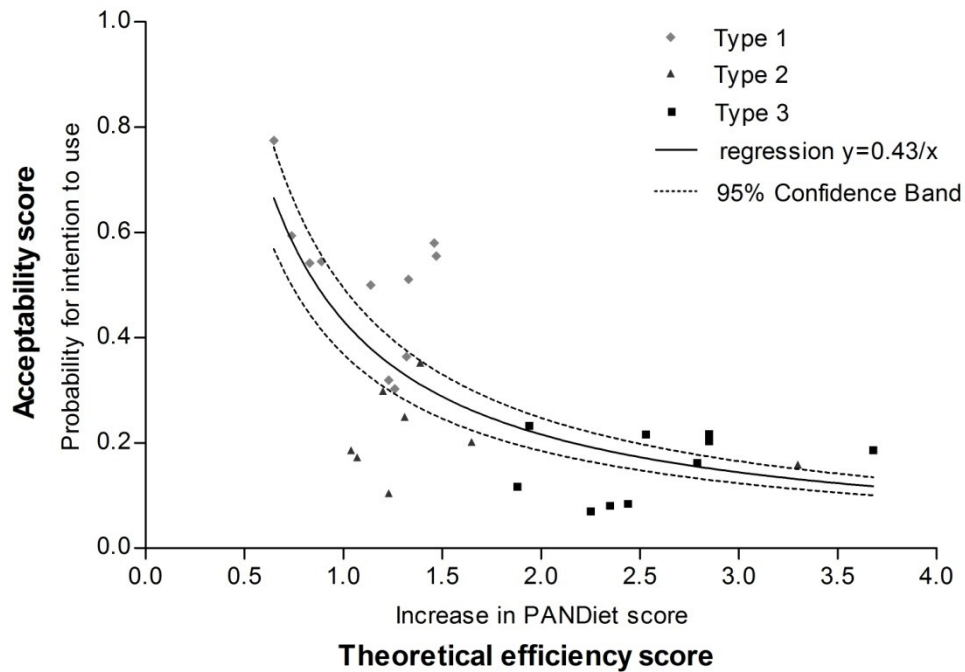


Figure 4. Acceptability of dietary changes (y axis) according to their efficiency (x axis). Acceptability was measured as the probability of the declared intention to use derived from the binomial logistic regression model (i.e. the probability that participants intended to use a dietary change) for the acceptability study ($n=106$). Efficiency was measured as the mean increase in the PANDiet score (points) obtained with this dietary change in the simulation study ($n=344$, Etude Nationale Nutrition Santé, 2006-2007). Measures of acceptability and efficiency are presented for 29 dietary changes. Mid-gray diamonds represent type-1 dietary changes ($n=11$), dark gray triangles represent type-2 dietary changes ($n=8$) and black gray squares represent type-3 dietary changes ($n=10$). The solid line represents the regression curve with the following equation: $y = 0.43/x$, $R^2=0.54$, and the dashed lines represent the 95% CIs for this curve.

Discussion

During this study, we compared different types of dietary changes to improve nutrient adequacy during pregnancy using a tailored approach, and were able to analyze the relationship between the theoretical efficiency and acceptability of these changes. The three types of tailored dietary changes had different a priori acceptability and impacts on the food repertoire, ranging from type-1 where no new foods were added to the initial diet, to type-2 where a new food item could be added to the food repertoire providing it belonged to a food subgroup that was already being consumed by the individual, and type-3 where a food item belonging to new food subgroups could be added to the food repertoire providing that it belonged to the same group or could be consumed at the same time. The three types of dietary changes were designed to present an a priori graded difficulty in implementation by individuals. As no introduction or deletion of food items by comparison with the initial diet was allowed for type-1 dietary changes, a broadening of the food repertoire remained impossible and the individual's eating habits were preserved. By contrast, types-2 and -3 dietary changes consisted in substitutions with food items and/or subgroups that were not necessarily in the food repertoire: type-2 dietary changes produced diets containing a mean of eight supplemental food items (out of a possible ten) and no new food subgroups (by construction) and type-3 dietary changes generated diets containing a mean of four supplemental food subgroups (out of a possible ten). Because the type-2 dietary changes were substitutions limited to a particular food subgroup, their impact on the individual's eating habits remained small, whereas type-3 dietary changes were based on substitutions between food items consumed from the same group or at the same time (with reference to the French cultural meal scheme), enabling a greater broadening of the food repertoire. As expected, the types of dietary changes which enabled more broadening of the food repertoire a priori were the most efficient in improving the nutrient adequacy of the diet. On the other hand, the most efficient dietary changes of each type that were presented to a selected group of pregnant French women were shown to be the least acceptable, and, overall dietary changes of a type which least broadened the food repertoire were favored by these women. However, the relationship between efficiency and acceptability was not linear, so our analysis of this trade-off was able to show that in general, the final expected impact of a higher theoretically efficient change is largely limited by the lower acceptability.

Furthermore, the tailored approach used here appeared to be more efficient than a generic approach. In particular, tailored dietary changes based on the observed diet resulted in a greater increase in the simulated-pregnancy PANDiet score after four (type-1) and two (types -2 and -3) dietary changes than adding any of the 150-kcal snacks recommended during pregnancy and also simulated in the same population, as reported elsewhere [21].

It is important to note that even though the type-1 dietary changes did not broaden the food repertoire and resulted in only a minor improvement in overall nutrient adequacy as compared to the other types of dietary changes, they could still improve the overall nutrient adequacy of women at the start of their pregnancy, by balancing the amounts of different foods consumed. They could even be more efficient than type-2 dietary changes in improving the intake of certain nutrients. For instance, the probability of an adequate dietary fiber intake, which is low in France and other western countries [35, 36], was more increased with type-1 than with type-2 dietary changes.

The type-2 dietary changes were surprisingly efficient, inasmuch as we limited the possibility of substitutions to those that were deemed realistic, feasible and acceptable. Even when the number of foods that could be used as substitutes had been reduced in order to account for the consumption of food items in the French population, their price and seasonality, this type of dietary change appeared to be very efficient in improving overall nutrient adequacy at the start of pregnancy. Overall, the type-2 dietary changes improved the probability of adequacy for all nutrient intakes in most of the population, except for some specific nutrients (such as vitamin D and iodine, whose intakes were markedly inadequate). When focusing on folate, whose requirement fulfillment at the start of pregnancy is very important [37], the type-2 dietary changes were more efficient than type-1 changes in improving the probability of adequate intake.

The marked efficiency of type-3 dietary changes could be ascribed to a greater use of food items belonging to the “Fish, unprocessed” and “Nuts, oilseeds and oil fruits” subgroups, the consumption of which remains low in the French population [38]. Introducing foods from these subgroups contributed to dramatically improving the intake of long chain PUFA and vitamin D. This could be seen as a major strength of this type of dietary change, knowing that an adequate intake of omega-3 fatty acids can impact pregnancy outcomes [39], human milk composition and the DHA status of offspring [40]. However, with type-3 dietary changes, the slight decrease in the probabilities of

adequacy for calcium and vitamin A intakes could be ascribed to substituting food items from the “Dairy” group with those from the “Fruits and nuts” group, and from the “Butter, margarine and fresh cream” subgroup with those from the “Oil” subgroup. Such slight reductions could be considered as side effects of the global approach used in our dietary counseling model, which was driven by increasing the probability of overall nutrient adequacy of the diet, not the intake of a specific nutrient.

A comparison of the efficiency results achieved with each type of dietary change revealed that broadening the usual food repertoire was necessary to meet nutrient requirements, a finding which had already been highlighted during a diet modeling study in French adults [41]. Here we could show that broadening the food repertoire was deemed less acceptable, and this lower acceptability should be expected to be a firm limit to the efficiency of that type of dietary change for improving nutrient adequacy of the diet.

Strengths and limitations

There are no data comparing the nutritional efficiency of tailored dietary changes with a priori graded difficulty of implementation and studying their acceptability in pregnant women. In this group, dietary interventions have mostly targeted those who are overweight and/or obese and/or at risk of gestational diabetes. In most cases, dietary counseling has been based on generic dietary guidelines (e.g. increasing the consumption of fruits and vegetables, increasing dietary fiber intakes, and reducing those of SFA and refined carbohydrates); to some extent they have been appropriate for women [42, 43], but not tailored to the adequacy of their nutrient intakes in view of the specific nutrient requirements for pregnancy. By contrast, our study was conducted in a general population of women, and identified dietary advice based on theoretical efficiency (using a tailored approach) and acceptability (using a dedicated longitudinal study). A major strength of our approach was the dual assessment of efficiency and acceptability, considering the tradeoffs that could exist between them as a function of the type of changes.

The principal limitation of this study was its theoretical aspect because we used a dietary optimization model to generate theoretical best changes for being tested in the acceptability study. Furthermore, we used dietary data from women of childbearing age, whereas we could hypothesize that if they had been pregnant, some of the women would have adopted a healthier diet [11]. Nonetheless, the approach remains relevant to women of childbearing age who are considering changes to their diet during the periconceptional period, because we were able to show that at the start of pregnancy, just a few tailored dietary changes to the pre-pregnancy diet would result in marked improvements in nutrient adequacy. Lastly, because we needed first of all to design different types of dietary changes and evaluate their efficiency in improving the nutrient adequacy of the diet, efficiency and acceptability could not have been evaluated in the same samples.

Conclusion

In conclusion, we characterize a clear trade-off between theoretical efficiency and acceptability of dietary changes with a graded broadening of the food repertoire, in order to improve nutrient adequacy during pregnancy in French women. This trade-off has practical implication for the design of dietary interventions that would be practically effective in improving the nutrient adequacy of pregnant women.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Unité de Surveillance et d'Epidémiologie Nutritionnelle (USEN), Institut de Veille Sanitaire–Université Paris 13, as the main investigator, and the Institut de Veille Sanitaire, as the main promoter and supporter, for providing access to the ENNS database and supplying supporting documentation. The authors acknowledge the generalist market research company, QualiQuanti, for helping with the recruitment process and conduct of the acceptability study. The authors would also like to thank Louis-Georges Soler (UMR Alimentation et Sciences Sociales, INRA) and Nicole Darmon (UMR Nutrition, Obésité et Risque Thrombotique, INRA, INSERM, Université Aix-Marseille) for their help with the price database of French food items.

References

1. Tulchinsky TH. Micronutrient Deficiency Conditions: Global Health Issues. *Public Health Rev.* 2010 Jan 1;32(1):243–55.
2. Willett WC, Stampfer MJ. Current evidence on healthy eating. *Annu Rev Public Health.* 2013;34:77–95.
3. WHO/FAO. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of the joint WHO/FAO expert consultation. Geneva: World Health Organization; 2003. (WHO Technical Report Series). Report No.: 916.
4. Shay CM, Van Horn L, Stamler J, Dyer AR, Brown IJ, Chan Q, et al. Food and nutrient intakes and their associations with lower BMI in middle-aged US adults: the International Study of Macro-/Micronutrients and Blood Pressure (INTERMAP)123. *Am J Clin Nutr.* 2012 Sep;96(3):483–91.
5. Gazan R, Béchaux C, Crépet A, Sirot V, Drouillet-Pinard P, Dubuisson C, et al. Dietary patterns in the French adult population: a study from the second French national cross-sectional dietary survey (INCA2) (2006-2007). *Br J Nutr.* 2016 May 18;1–16.
6. Ax E, Warensjö Lemming E, Becker W, Andersson A, Lindroos AK, Cederholm T, et al. Dietary patterns in Swedish adults; results from a national dietary survey. *Br J Nutr.* 2016 Jan 14;115(1):95–104.
7. De-Regil LM, Harding KB, Roche ML. Preconceptional Nutrition Interventions for Adolescent Girls and Adult Women: Global Guidelines and Gaps in Evidence and Policy with Emphasis on Micronutrients. *J Nutr.* 2016 Jun 8;jn223487.
8. Abu-Saad K, Fraser D. Maternal nutrition and birth outcomes. *Epidemiol Rev.* 2010 Apr;32(1):5–25.
9. King JC. A Summary of Pathways or Mechanisms Linking Preconception Maternal Nutrition with Birth Outcomes. *J Nutr.* 2016 Jun 8;S1:S8.
10. Barker DJP. The developmental origins of adult disease. *Eur J Epidemiol.* 2003;18(8):733–6.
11. Szwajcer EM, Hiddink GJ, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition awareness and pregnancy: implications for the life course perspective. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2007 Nov;135(1):58–64.
12. Szwajcer E, Hiddink GJ, Maas L, Koelen M, van Woerkum C. Nutrition awareness before and throughout different trimesters in pregnancy: a quantitative study among Dutch women. *Fam Pract.* 2012 Apr;29 Suppl 1:i82–8.
13. Devine CM, Bove CF, Olson CM. Continuity and change in women's weight orientations and lifestyle practices through pregnancy and the postpartum period: the influence of life course trajectories and transitional events. *Soc Sci Med* 1982. 2000 Feb;50(4):567–82.
14. Whitaker KM, Wilcox S, Liu J, Blair SN, Pate RR. African American and White women's perceptions of weight gain, physical activity, and nutrition during pregnancy. *Midwifery.* 2016;34:211–20.
15. Bianchi CM, Huneau J-F, Le Goff G, Verger EO, Mariotti F, Gurviez P. Concerns, attitudes, beliefs and information seeking practices with respect to nutrition-related issues: a qualitative study in French pregnant women. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2016;16:306.
16. Blumfield ML, Hure AJ, Macdonald-Wicks L, Smith R, Collins CE. Systematic review and meta-analysis of energy and macronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutr Rev.* 2012 Jun;70(6):322–36.
17. Blumfield ML, Hure AJ, Macdonald-Wicks L, Smith R, Collins CE. A systematic review and meta-analysis of micronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutr Rev.* 2013 Feb;71(2):118–32.
18. Bernard JY, Agostini MD, Forhan A, Lauzon-Guillain B de, Charles M-A, Heude B, et al. The Dietary n6:n3 Fatty Acid Ratio during Pregnancy Is Inversely Associated with Child Neurodevelopment in the EDEN Mother-Child Cohort. *J Nutr.* 2013 Jan 9;143(9):1481–8.
19. Caron P, Glinoe D, Lecomte P, Orgiazzi J, Wémeau J-L. [Status of iodine nutrition in France: prevention of iodine deficiency in pregnant and lactating women]. *Ann Endocrinol.* 2006 Sep;67(4):281–6.
20. Pouchieu C, Lévy R, Faure C, Andreeva VA, Galan P, Hercberg S, et al. Socioeconomic, Lifestyle and Dietary Factors Associated with Dietary Supplement Use during Pregnancy. *PLoS ONE.* 2013;8(8):e70733.
21. Bianchi CM, Mariotti F, Verger EO, Huneau J-F. Pregnancy Requires Major Changes in the Quality of the Diet for Nutritional Adequacy: Simulations in the French and the United States Populations. *PLOS ONE.* 2016 Mar 9;11(3):e0149858.
22. Verger EO, Holmes BA, Huneau JF, Mariotti F. Simple changes within dietary subgroups can rapidly improve the nutrient adequacy of the diet of French adults. *J Nutr.* 2014 Jun;144(6):929–36.
23. de Vries H, Brug J. Computer-tailored interventions motivating people to adopt health promoting behaviours: introduction to a new approach. *Patient Educ Couns.* 1999;36(2):99–105.
24. Brug J, Campbell M, van Assema P. The application and impact of computer-generated personalized nutrition education: a review of the literature. *Patient Educ Couns.* 1999 Feb;36(2):145–56.
25. Krebs P, Prochaska JO, Rossi JS. Defining what works in tailoring: a meta-analysis of computer-tailored interventions for health behavior change. *Prev Med.* 2010;51(3–4):214–21.

26. Weinrich NK. *Hands-On Social Marketing A Step-by-Step Guide to Designing Change for Good*. 2nd Ed. Los Angeles: SAGE Publishing; 2011. 328 p.
27. Vandelanotte C, Bourdeaudhuij ID, Brug J. Acceptability and feasibility of an interactive computer-tailored fat intake intervention in Belgium. *Health Promot Int*. 2004 Jan 12;19(4):463–70.
28. Castetbon K, Vernay M, Malon A, Salanave B, Deschamps V, Roudier C, et al. Dietary intake, physical activity and nutritional status in adults: the French nutrition and health survey (ENNS, 2006-2007). *Br J Nutr*. 2009 Sep;102(5):733–43.
29. Arnault N, Astorg P, Aubert A, Bertrais S, Collectif. *Table de composition des aliments*. Paris: Economica; 2005. 181 p.
30. Black A. Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake:basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations. *Int J Obes*. 2000;24:1119–30.
31. AFSSA. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*, 3e éd. AFSSA : Editions Lavoisier. 3rd ed. Paris: Lavoisier; 2001. 650 p. (Tec et Doc).
32. Verger EO, Mariotti F, Holmes BA, Paineau D, Huneau J-F. Evaluation of a diet quality index based on the probability of adequate nutrient intake (PANDiet) using national French and US dietary surveys. *PloS One*. 2012;7(8):e42155.
33. Bresson J, Rey J. Femmes enceintes et allaitantes. In: *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*, 3e éd AFSSA : Editions Lavoisier. 3rd ed. Paris: Lavoisier; 2001. (Tec et Doc).
34. Berry AC. The Accuracy of the Gaussian Approximation to the Sum of Independent Variates. *Trans Am Math Soc*. 1941;49(1):122–36.
35. Bellisle F, Hébel P, Colin J, Reyé B, Hopkins S. Consumption of whole grains in French children, adolescents and adults. *Br J Nutr*. 2014 Nov 28;112(10):1674–84.
36. Lairon D, Arnault N, Bertrais S, Planells R, Clero E, Hercberg S, et al. Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in French adults. *Am J Clin Nutr*. 2005 Dec;82(6):1185–94.
37. Refsum H. Folate, vitamin B12 and homocysteine in relation to birth defects and pregnancy outcome. *Br J Nutr*. 2001 May;85 Suppl 2:S109-113.
38. Dubuisson C, Lioret S, Touvier M, Dufour A, Calamassi-Tran G, Volatier J-L, et al. Trends in food and nutritional intakes of French adults from 1999 to 2007: results from the INCA surveys. *Br J Nutr*. 2010 Apr;103(7):1035–48.
39. Larqué E, Gil-Sánchez A, Prieto-Sánchez MT, Koletzko B. Omega 3 fatty acids, gestation and pregnancy outcomes. *Br J Nutr*. 2012 Jun;107 Suppl 2:S77-84.
40. Meldrum SJ, D’Vaz N, Casadio Y, Dunstan JA, Niels Krogsgaard-Larsen N, Simmer K, et al. Determinants of DHA levels in early infancy: Differential effects of breast milk and direct fish oil supplementation. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*. 2012 Jun;86(6):233–9.
41. Maillot M, Vieux F, Ferguson EF, Volatier J-L, Amiot MJ, Darmon N. To meet nutrient recommendations, most French adults need to expand their habitual food repertoire. *J Nutr*. 2009 Sep;139(9):1721–7.
42. Hawkins M, Hosker M, Marcus BH, Rosal MC, Braun B, Stanek EJ, et al. A pregnancy lifestyle intervention to prevent gestational diabetes risk factors in overweight Hispanic women: a feasibility randomized controlled trial. *Diabet Med*. 2015 Jan 1;32(1):108–15.
43. Dodd JM, Cramp C, Sui Z, Yelland LN, Deussen AR, Grivell RM, et al. The effects of antenatal dietary and lifestyle advice for women who are overweight or obese on maternal diet and physical activity: the LIMIT randomised trial. *BMC Med*. 2014;12.

2.2.3. Matériel supplémentaire soumis pour la publication en ligne

S1 Table. Characteristics of women of childbearing age (premenopausal, 18-44y, $n=344$) from the ENNS¹ survey

	Total ($n=344$)
Age ² (years)	35.1 ± 6.9
Number of people composing the household ³	
1	9.0% (31)
2	16.3% (56)
3	18.6% (64)
4	38.4% (132)
5	12.8% (44)
6 or more	4.9% (17)
Number of children ³	
0	24.1% (83)
1	16.6% (57)
2	38.1% (131)
3	15.7% (54)
4 or more	5.2% (18)
Absence of answer	0.3% (1)
Occupation ³	
Farmer, Craftsperson, Storekeeper	3.8% (13)
Professional, executive	17.4% (60)
Intermediate profession	27.6% (95)
Employee	36.3% (125)
Manual worker	8.7% (30)
Student	4.9% (17)
Unemployed	1.2% (4)
Socio-professional category ^{3,4}	
High	48.8% (168)
Low	45.1% (155)
Inactive	6.1% (21)
Urbanization of the place of residence ³	
Paris	15.4% (53)
Major city (>100,000 inhab.)	31.4% (108)
Medium-sized town (20 – 100,000 inhab.)	15.1% (52)
Small-sized town (2 – 20,000 inhab.)	15.7% (54)
Rural area	22.4% (77)

¹ *Etude Nationale Nutrition Santé*, 2006-2007.

² Values are mean ± SD

³ Values correspond to the percentage of participants presenting the characteristic described in the first column followed by the associated number of participants in parentheses.

⁴ Socio-professional categories were derived from occupations. “Farmer, craftsperson, storekeeper”, “Professional, executive”, and “Intermediate profession” belong to the High socio-professional category, “Employee”, “Manual worker” and “Student” belong to the Low socio-professional category and “Unemployed” belong to the Inactive socio-professional category.

S2 Text. Details of each sub-score composing the PANDiet score.

In the updated version, each sub-score is composed of probabilities of adequacy for nutrients (27 for the Adeq-S: protein, total carbohydrate, dietary fiber, total fat, LA, ALA, DHA, EPA+DHA, vitamin A, thiamin, riboflavin, niacin, pantothenic acid, vitamin B6, folate, vitamin B12, vitamin C, vitamin D, vitamin E, calcium, iodine, iron, magnesium, phosphorus, potassium, selenium and zinc and 7 for the Mod-S: protein, total carbohydrate, free sugars, total fat, saturated fatty acids, cholesterol and sodium), with a further 14 potential penalties for exceeding the tolerable upper intake limits (retinol, niacin, vitamin B6, folate, vitamin C, vitamin D, vitamin E, calcium, iodine, iron, magnesium, phosphorus, selenium and zinc) which are added to the Mod-S. As DHA intakes are considered in the probabilities of adequacy for both DHA and EPA+DHA intakes, in this study, each one was weighted by 0.5 in the final score, which resulted in an Adeq-S with 26 probabilities of adequacy for nutrient intakes.

S3 Table. Items, reference values¹ and variabilities used to calculate the PANDiet score at the start of pregnancy.

	Pregnant women (1 st trimester)	Variability
Adequacy sub-score		
Protein	0.66 g/kg bw	12.50 %
Total Fat	30% EIEA	0 %
LA (C18:2 n-6)	3.08% EIEA	15 %
ALA (C18:3 n-3)	0.77% EIEA	15 %
DHA	192 mg	15 %
EPA + DHA	385 mg	15 %
Total carbohydrate	45 % EIEA	0 %
Dietary fiber	25 g	15 %
Vitamin A	462 µg RE	15%
Thiamin	1.39 mg	15%
Riboflavin	1.23 mg	15 %
Niacin	12.3 mg NES	15 %
Pantothenic acid	3.85 mg	15 %
Vitamin B6	1.67 mg	10 %
Folate	286 µg	20 %
Vitamin B12	2.17 µg	10 %
Vitamin C	92.3 mg	15 %
Vitamin D	7.70 µg	15 %
Vitamin E	9.23 mg	15 %
Calcium	690 mg	15 %
Iodine	143 µg	20 %
Iron	Based on tables provided by the IoM	
Magnesium	5 mg/kg bw	10 %
Phosphorus	580 mg	15 %
Potassium	2385 mg	15 %
Selenium	38.5 µg	15 %
Zinc	6.41 mg	15 %
Moderation sub-score		
Protein	2.2 g/kg bw	0 %
Total carbohydrate	60% EIEA	0 %
Free sugars	10% EIEA	15 %
Total fat	40% EIEA	0 %
Saturated Fatty Acids	12% EIEA	15 %
Cholesterol	300 mg	15 %
Sodium	2365 mg	15 %
<i>Tolerable Upper Intakes Limits for potential penalties</i>		
Retinol	3000 µg	
Niacin	900 mg	
Vitamin B6	25 mg	
Folate	1000 µg	
Vitamin C	500 mg	
Vitamin D	50 µg	
Vitamin E	300 mg	
Calcium	2500 mg	
Iodine	600 µg	
Iron	28 mg	
Magnesium	700 mg	
Phosphorus	2500 mg	
Selenium	300 µg	
Zinc	25 mg	

¹References values were mostly issued by the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health. The Adequacy sub-score comprises 27 items and the Moderation sub-score comprises 7 items plus 14 potential penalty values.

ALA, Alpha Linolenic Acid. Bw, bodyweight. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. EIEA, Energy Intake Excluding Alcohol. LA, Linoleic Acid. NES, Niacin Equivalents. RE, Retinol Equivalents

S4 Text. Details about the three types of dietary changes used in the simulation study.

Type-1: modification to the amount consumed of a food item

The first type of dietary change related to modifying the amount of a food item present in the observed diet (D0'). To be considered for type-1, a food item should not contain too many ingredients or foods at unidentifiable proportions (*i.e.* all items belonging to the mixed dishes group, except for some pizzas and quiches with quite simple and constant recipes) and should be consumed by the population to identify the amounts usually consumed. For the food items considered, this amount could be increased or decreased in a stepped manner. A step size was attributed to each food item according to the observed consumption of participants in the ENNS survey (adults, non under-reporters, $n=2756$). The step size was thus defined for 1146 food items according to the process described below.

To define the step size, 1146 food items were considered. Food items were gathered in “serving size subgroups” ($n=241$), which corresponded to a set of food items where the same amount is generally consumed on the same moment of consumption. Eighty-five “serving size subgroups” were defined for the 194 food items sold by unit or pack in stores (*e.g.* a cereal bar, a yogurt), then the step was defined as the quantity contained in one unit or one pack. For each of the other 156 “serving size subgroups”, i , (corresponding to 952 food items), the step, $STEP_i$, was defined as the following amount rounded to 5 grams:

$$STEP_i = \left(\frac{(P25_i - P10_i) + (P50_i - P25_i) + (P75_i - P50_i) + (P90_i - P75_i)}{4} \right)$$

Where $P10_i$, $P25_i$, $P50_i$, $P75_i$ and $P90_i$ correspond respectively to the 10th, 25th, 50th, 75th and 90th percentiles of the amount consumed by participants in the ENNS study of all food items belonging to the serving size subgroup i .

In the dietary changes simulation, several modifications, k , of the amount consumed of one food item j belonging to the food portion subgroup i , could be simulated providing that the final simulated quantity would not exceed the 90th percentile of the amount consumed in the serving size subgroup i , $P90_i$, and be lower than its step ($STEP_{i,j}$). Each final simulated amount consumed by an individual of one food item j belonging to the portion size subgroup i ($Quantity_{i,j,k,fin}$) was calculated from the initial amount consumed of this food item on one eating occasion in the considered diet ($Quantity_{i,j,ini}$) as follows:

$$Quantity_{i,j,k,fin} = \left(\text{Round} \left(\frac{Quantity_{i,j,ini}}{STEP_{i,j}} \right) + k \right) \times STEP_{i,j}$$

Finally, after deleting the food items not recommended during pregnancy, and those containing soy (which should only be consumed in small quantities during pregnancy) (39), 1024 food items were considered for type-1 dietary changes.

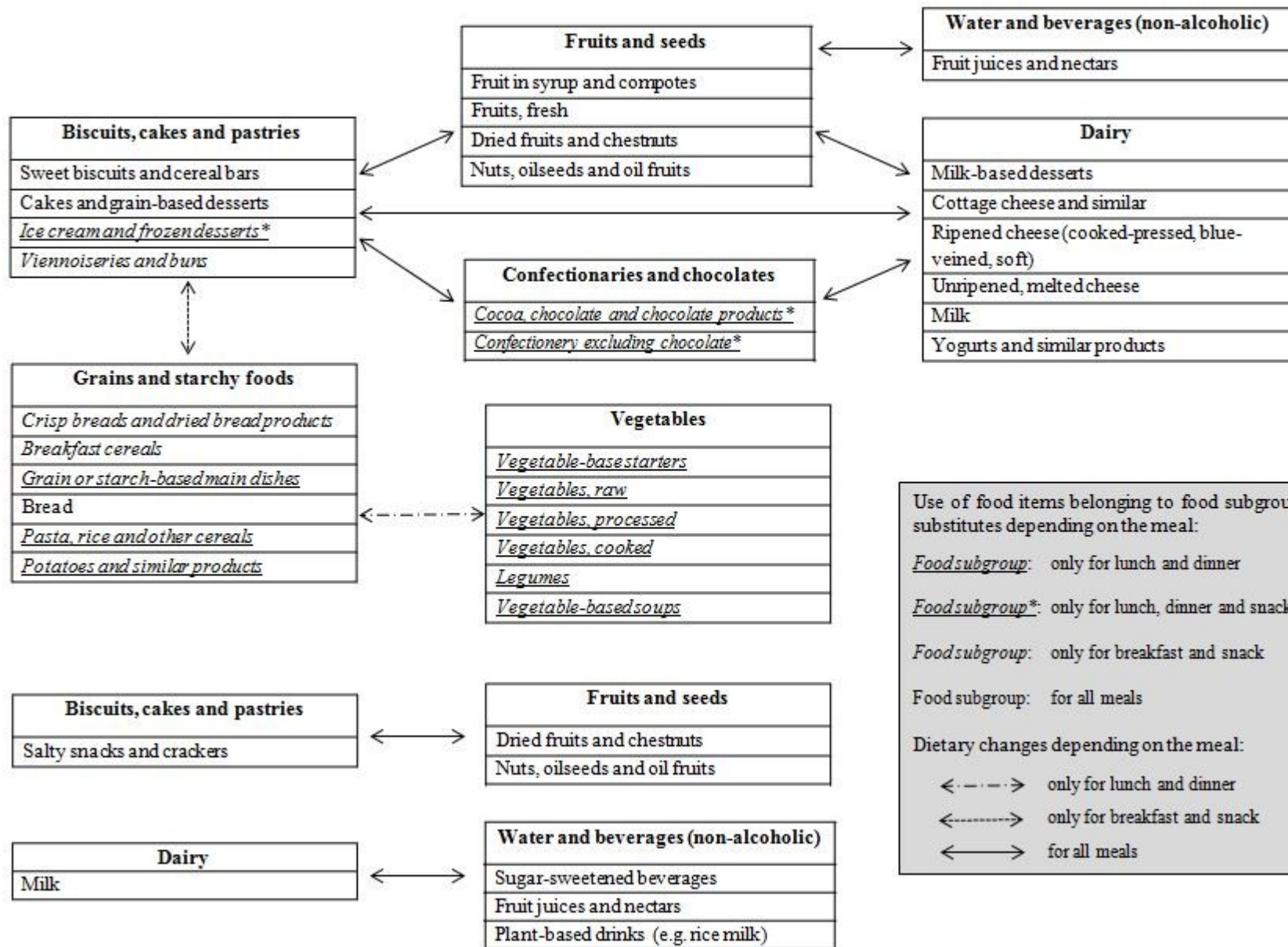
Type-2: substitution of a consumed food item with one from the same food subgroup

In this type, a food item consumed by an individual could be replaced by a food item from the same subgroup. In order to ensure more realistic dietary changes, a food item was selected as a potential substitute providing that it was sufficiently consumed in its subgroup, it was not too expensive by comparison with other items in its subgroup and it was available for sale at least 10 months a year according to different interprofessional federations (for the “Fruits, fresh” subgroup only). Following the selection process described above, and deletion of the “mixed salads” subgroup (because items in this subgroup were insufficiently consumed to identify potential substitutes), 1124 could be substituted in the context of type-2 dietary changes. From these, the 18 food items containing soy were excluded (39), 605 were removed because of their occasional consumption, 13 because of their high prices (based on Kantar World Panel data), and 10 (only fresh fruits) because of their short seasonal availability. As a result, only 478 food items were used for the dietary changes.

Type-3: substitution of a consumed food item with one from the same group or from a subgroup consumed at the same time

Under type-3 dietary changes, a consumed food item could be replaced by one from the same group (12 groups). Furthermore, some substitutions between food subgroups not belonging to the same group were authorized when they might be consumed at the same time, with reference to the French cultural meal scheme (e.g. for dessert, a food item from the “Dairy” group could be replaced by a food item from the “Fruits and Nuts” group, see **S5 Figure**). Two hundred “average foods” were considered as potential substitutes, based on the 1138 food items that could be replaced under type-3 dietary changes. Due to the heterogeneous substitutions that could be made in this type, the serving size of the food item was taken into account. The serving size of the replacement “average food” was calculated from a ratio based on the mean portion of food items composing the “average food” (replacement item) and the mean serving size of items composing the “average foods” being substituted.

S5 Figure. Diagram presenting possible substitutions depending on the meal between food subgroups belonging to different food groups under type-3 dietary changes. The name of the food group is presented in bold in the first row of each box. The names of the food subgroups belonging to the group are presented from the second row to the last row of the box. Food items belonging to food subgroups whose name is written in italics and underlined could be used as substitutes, but only for lunch and dinner. Food items belonging to food subgroups whose name is written in italics, underlined and followed by an asterisk (*) could be used as substitutes, but only for lunch, dinner and snack. Food items belonging to food subgroups whose name is written in italics could be used as substitutes, but only for breakfast and snack. Food items belonging to food subgroups whose name is written without specific typesetting could be used as substitutes, for all meals. Dietary changes between food subgroups belonging to boxes linked by dotted-dashed arrows could only be made for lunch and dinner. Dietary changes between food subgroups belonging to boxes linked by dashed arrows could only be made for breakfast and snack. Dietary changes between food subgroups belonging to boxes linked by continuous arrows could be made for all meals.



Use of food items belonging to food subgroups as substitutes depending on the meal:

Food subgroup: only for lunch and dinner

Food subgroup:* only for lunch, dinner and snack

Food subgroup: only for breakfast and snack

Food subgroup: for all meals

Dietary changes depending on the meal:

- ⇄ only for lunch and dinner
- ⋯⇄ only for breakfast and snack
- ↔ for all meals

S6 Table. Number of food items by subgroups in total, and number of food items whose the amount consumed could be modified with type-1 dietary changes, whose the substitution is possible with types -2 and -3 dietary changes, and that could be used as a substitute in types -2 and -3 dietary changes.

Group	Subgroup	Number of food items					
		Total ¹	Type 1 ²	Type 2 ²		Type 3 ²	
			Amount consumed modifiable	Substitution possible	Potential substitute	Substitution possible	Potential substitute ³
	Alcoholic beverages	36	0	0	0	0	0
Biscuits, cakes and pastries	Salty snacks and crackers	11	11	11	7	11	3
	Sweet biscuits and cereal bars	38	37	38	16	38	5
	Cakes and grain-based desserts	57 (1)	49	49	21	49	7
	Ice cream and frozen desserts	21 (1)	19	19	8	19	7
	Viennoiseries and buns	14	14	14	7	14	4
Grains and starchy foods	Crisp breads and dried bread products	19	16	17	7	17	1
	Breakfast cereals	18	18	18	10	18	2
	Flours	4	0	0	0	0	0
	Grain or starch-based main dishes	34	27	34	12	34	5
	Bread	13	12	13	6	13	4
	Pasta, rice and other cereals	18	17	17	8	17	6
	Potatoes and similar products	16	16	16	7	16	3
Confectionery and chocolates	Cocoa, chocolate and chocolate products	14	12	12	6	12	6
	Confectionery excluding chocolate	17	15	15	8	15	3
Jams, honey and other sugar products	Jam, honey and sweetened spreads	7	7	7	4	7	4
	Sweetened sauces	7	7	7	6	7	2
	Sugar	1	1	0	0	0	0
Water and beverages (non-alcoholic)	Sugar-sweetened beverages	20 (1)	15	15	7	15	2
	Coffee, tea and other hot beverages	20	0	0	0	0	0
	Water	32	0	0	0	0	0
	Fruit juices	25	25	25	11	25	5
	Plant-based drinks (e.g. rice milk)	5	5	5	3	5	1
Fruits and seeds	Fruit in syrup and compotes	15	15	15	6	15	3
	Fruits, fresh	45	45	45	10	45	6
	Dried fruits and chestnuts	11	11	11	9	11	1
	Nuts, oilseeds and oil fruits	16	10	10	7	10	1
Vegetables	Vegetable-based starters	12	12	12	7	12	2
	Vegetables, raw	31	30	31	14	31	9
	Vegetable-based main dishes	17	17	17	9	17	2
	Vegetables, cooked	40	39	39	18	39	9
	Legumes	12	10	12	4	12	1
	Vegetable-based soups	22	21	21	10	21	2
Fats	Butter, margarine and fresh cream	19	18	18	9	18	6
	Oil	11	11	11	5	11	1

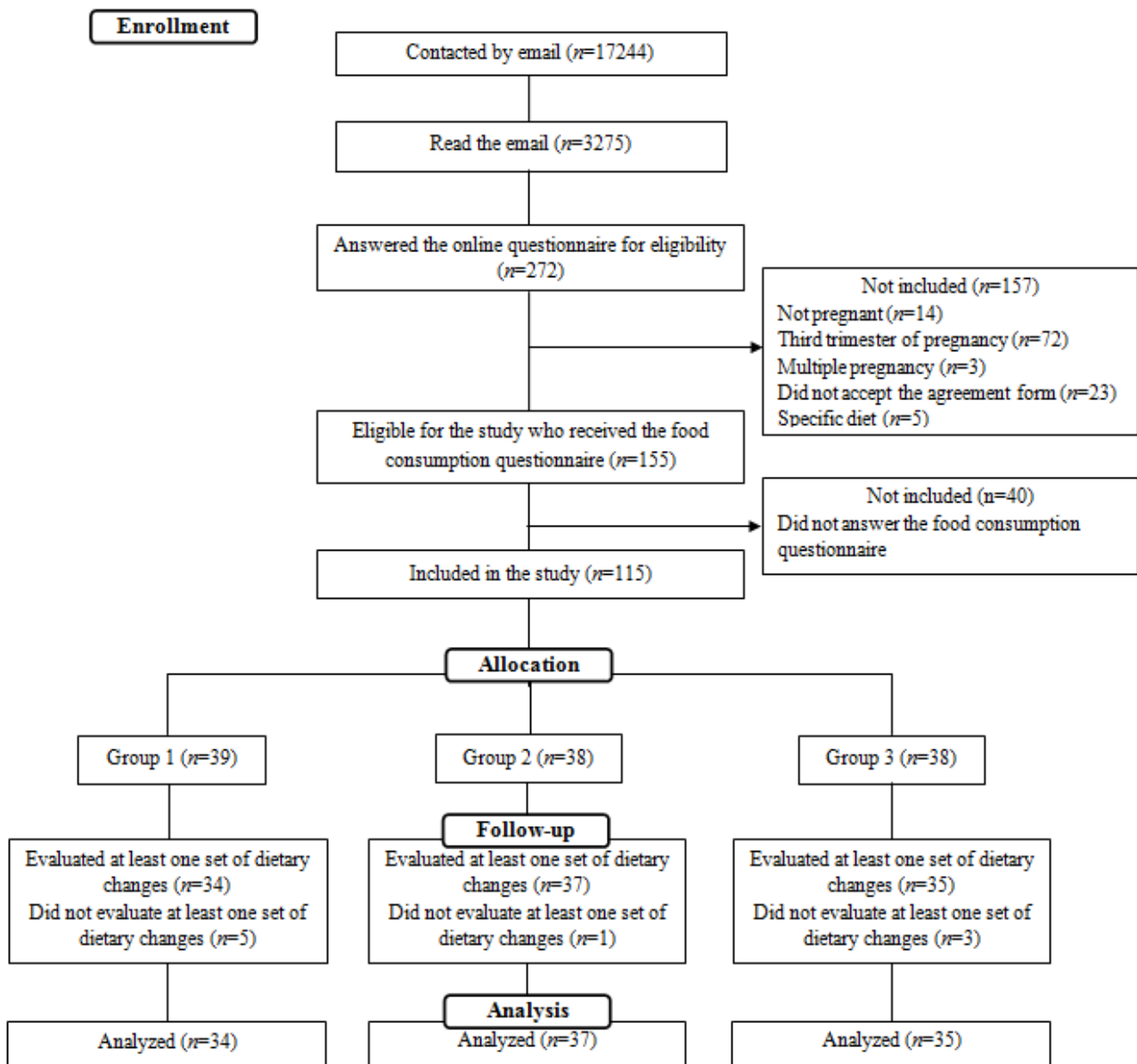
Mixed dishes	Cheese-based mixed dishes	2 (1)	0	0	0	1	0
	Pizzas, quiches and salty pastries	40	25	40	14	40	5
	Fish and seafood mixed dishes	10	0	10	3	10	1
	Meat-based mixed dishes	23 (1)	0	22	7	22	4
	Mixed salads	15 (1)	0	0	0	13	4
	Sandwiches	50 (1)	0	38	11	38	5
Dairy	Milk-based desserts	25	25	25	12	25	4
	Cottage cheese and similar	18	18	18	8	18	5
	Ripened cheese (cooked-pressed, blue-veined, soft)	57 (1)	22	23	11	23	2
	Unripened, melted cheese	21	21	21	8	21	1
	Milk	13	11	11	6	11	4
	Milk powder	3	0	0	0	0	0
	Yogurts and similar products	28	28	28	13	28	5
Salty sauces and condiments	Condiments	15	4	0	0	0	0
	Herbs and spices	12	0	0	0	0	0
	Cooked sauces (e.g. wine sauce, cheese sauce, butter sauce)	33 (1)	26	26	9	26	5
	Dipping sauces	12 (1)	11	11	5	11	2
	Salad dressing	6	5	5	4	5	2
Meat, fish and eggs	Offal	33 (1)	23	23	7	23	6
	Meat based main dishes	38 (1)	31	34	11	34	5
	Meat, unprocessed	85	81	81	36	81	9
	Meat, cold cuts	27 (1)	12	12	5	12	2
	Crustaceans and mollusks, unprocessed	24 (1)	21	21	7	21	3
	Eggs and egg products	13 (1)	8	9	4	9	2
	Pâté, terrines, rillettes and foie gras	15	0	0	0	0	0
	Fish, unprocessed	44	44	44	16	44	3
	Fish and seafood based products	29 (1)	12	12	4	12	2
	Fish and seafood based main dishes	21 (1)	18	20	7	20	4
	Sausages	16	16	16	8	16	2
Foods for special nutritional use	Infant foods	8	0	0	0	0	0
	Foods for special nutritional use (other than infant foods)	10	0	0	0	0	0
Total number of food items		1444	1024	1124	478	1138	200

¹ The number shown in parentheses corresponds to the number of food items in the corresponding subgroup which is an “average” food specifically created for the substitution of food items whose consumption is not recommended during pregnancy.

² Food items from the following subgroup were not considered for dietary changes: foods for particular nutritional use (n=18), alcoholic beverages (n=36), waters (n=32), hot beverages (tea, coffee, or cocoa) (n=20), flours (n=4), spices and herbs (n=12) and milk powders (n=3). Food items used as ingredients (e.g. “flaky pastry” in the “Cakes and pastries” subgroup) were also excluded. As the 134 food items not recommended during pregnancy had already been substituted in step 2, they could not be considered for any type of dietary change.

³ All food items that are potential substitutes under type-3 dietary changes are “average” foods. They are not included in the count of total food items.

S7 Figure. Diagram of subject flow and reasons for non-inclusions in the study of the acceptability of dietary changes during pregnancy.



S8 Table. Characteristics of pregnant women ($n=115$) included in the acceptability study of dietary changes during pregnancy

	Total ($n=115$)	Group 1 ($n=39$)	Group 2 ($n=38$)	Group 3 ($n=38$)
Age ^{1,4} (years)	31.1 ± 4.2	32.0 ± 4.2	31.2 ± 4.4	30.2 ± 4.1
Months of pregnancy ^{2,5}				
Less than 3	39.1% (45)	35.9% (14)	36.8% (14)	44.7% (17)
3 or 4	32.2% (37)	33.3% (13)	28.9% (11)	34.2% (13)
5 or 6	28.7% (33)	30.8% (12)	34.2% (13)	21.1% (8)
Primiparous ^{2,5}	47.8% (55)	41.0% (16)	55.3% (21)	47.4% (18)
Number of people composing the household ^{2,5}				
1	0.9% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)	0.0% (0)
2	52.2% (60)	51.3% (20)	52.6% (20)	52.6% (20)
3	36.5% (42)	38.5% (15)	34.2% (13)	36.8% (14)
4	7.0% (8)	2.6% (1)	10.5% (4)	7.9% (3)
5	1.7% (2)	5.1% (2)	0.0% (0)	0.0% (0)
6 or more	1.7% (2)	2.6% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)
Number of children ^{2,5}				
0	47.8% (55)	41.0% (16)	52.6% (20)	50.0% (19)
1	40.0% (47)	46.2% (18)	34.2% (13)	39.5% (15)
2	7.8% (9)	5.1% (2)	10.5% (4)	7.9% (3)
3	1.7% (2)	5.1% (2)	0.0% (0)	0.0% (0)
4 or more	1.7% (2)	2.6% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)
Absence of answer	0.9% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)	0.0% (0)
Occupation ²				
Farmer, Craftsperson, Storekeeper	0.9% (1)	0.0% (0)	0.0% (0)	2.6% (1)
Professional, executive	20.0% (23)	15.4% (6)	23.7% (9)	21.1% (8)
Intermediate profession	14.8% (17)	20.5% (8)	13.2% (5)	10.5% (4)
Employee	50.4% (58)	51.3% (20)	55.3% (21)	44.7% (17)
Manual worker	0.0% (0)	0.0% (0)	0.0% (0)	0.0% (0)
Student	0.9% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)	0.0% (0)
Inactive	13.1% (15)	12.8% (5)	5.3% (2)	21.1% (8)
Socio-professional category ^{2,3,5}				
High	35.7% (41)	35.9% (14)	36.8% (14)	34.2% (13)
Low	50.4% (58)	51.3% (20)	55.3% (21)	44.7% (17)
Unemployed	13.9% (16)	12.8% (5)	7.9% (3)	21.1% (8)
Urbanization of the place of residence ^{2,5}				
Paris	8.7% (10)	7.7% (3)	13.2% (5)	5.3% (2)
Major city (>100,000 inhab.)	26.1% (30)	33.3% (13)	23.7% (5)	21.1% (8)
Medium-sized town (20 – 100,000 inhab.)	24.3% (28)	23.1% (9)	18.2% (7)	31.6% (12)
Small-sized town (2 – 20,000 inhab.)	25.2% (29)	17.9% (7)	26.3% (10)	31.6% (12)
Rural area	13.0% (15)	15.4% (6)	18.4% (7)	5.3% (2)
Absence of answer	2.6% (3)	2.6% (1)	0.0% (0)	5.3% (2)
Nutrition awareness during pregnancy ^{2,5}				
Much more aware	25.2% (29)	23.1% (9)	23.7% (9)	28.9% (11)
A little more aware	59.1% (68)	56.4% (22)	60.5% (23)	60.5% (23)
Not really more aware	14.8% (17)	20.5% (8)	13.2% (5)	10.5% (4)
Not more aware at all	0.9% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)	0.0% (0)

¹ Values are mean ± SD

² Values correspond to the percentage of participants presenting the characteristic described in the first column followed by the associated number of participants in parentheses.

³ Socio-professional categories were derived from occupations. “Farmer, craftsperson, storekeeper”, “Professional, executive”, and “Intermediate profession” belong to the High socio-professional category, “Employee”, “Manual worker” and “Student” belong to the Low socio-professional category and “Unemployed” belong to the Inactive socio-professional category.

⁴ No significant difference between groups for age as tested with a simple linear model, $P>0.05$

⁵ No significant difference between groups for the repartition of participants as tested with exact Fisher tests, $P>0.05$

S9 Table. PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and total energy intake excluding alcohol for the initial observed diet (D0), the initial observed modified diet (D0'), their delta ($\Delta 0'$) and the percentage of individuals with an increase between D0' and D0 for women of childbearing age ($n=344$) participating in the ENNS¹ study.

	Initial diet (D0) ²	Initial modified diet (D0') ²	Delta ($\Delta 0'$) ³	P ⁴	Individuals with an increase (%)	P ⁵
Energy intake excluding alcohol (kcal/d)	1878.6 ± 402.0	1860.9 ± 394.9	-17.66 ± 2.39 (-1.08)	<0.0001	33.4%	<0.0001
PANDiet	56.5 ± 7.4	57.1 ± 7.4	+ 0.65 ± 0.08 (0.16)	<0.0001	59.6%	<0.0001
Adeq-S	55.8 ± 12.7	55.6 ± 12.7	- 0.20 ± 0.09 (0) ⁶	0.03	35.8%	0.008
Protein	0.97 ± 0.08	0.97 ± 0.08	+ 0.0013 ± 0.0003 (0) ⁶	<0.0001	47.1%	0.007
Total carbohydrate	0.38 ± 0.39	0.40 ± 0.39	+ 0.018 ± 0.004 (0) ⁶	<0.0001	48.8%	0.008
Total fat	0.92 ± 0.18	0.91 ± 0.19	- 0.010 ± 0.002 (0) ⁶	<0.0001	31.7%	0.004
LA	0.58 ± 0.34	0.56 ± 0.34	- 0.016 ± 0.003 (0) ⁶	<0.0001	27.9%	<0.0001
ALA	0.08 ± 0.19	0.08 ± 0.18	- 0.0061 ± 0.003 (0) ⁶	0.02	42.7%	0.95
DHA	0.17 ± 0.29	0.18 ± 0.29	+ 0.0065 ± 0.007 (0) ⁶	0.32	47.7%	0.04
EPA + DHA	0.15 ± 0.27	0.14 ± 0.26	- 0.012 ± 0.007 (0) ⁶	0.11	41.0%	0.60
Dietary fiber	0.12 ± 0.20	0.12 ± 0.20	- 0.00077 ± 0.0003 (0) ⁶	0.004	67.7%	<0.0001
Vitamin A	0.78 ± 0.27	0.75 ± 0.29	- 0.030 ± 0.007 (0) ⁶	<0.0001	50.6%	0.001
Thiamin	0.27 ± 0.30	0.29 ± 0.31	+ 0.024 ± 0.004 (0) ⁶	<0.0001	52.6%	<0.0001
Riboflavin	0.80 ± 0.26	0.77 ± 0.28	- 0.029 ± 0.004 (0) ⁶	<0.0001	19.5%	<0.0001
Niacin	0.73 ± 0.28	0.73 ± 0.28	- 0.00072 ± 0.004 (0) ⁶	0.85	32.3%	<0.0001
Pantothenic acid	0.64 ± 0.32	0.63 ± 0.32	- 0.0062 ± 0.002 (0) ⁶	0.005	39.8%	<0.0001
Vitamin B6	0.37 ± 0.35	0.36 ± 0.35	- 0.0050 ± 0.003 (0) ⁶	0.07	29.7%	<0.0001
Folate	0.52 ± 0.32	0.46 ± 0.32	- 0.051 ± 0.005 (-0.018)	<0.0001	18.0%	<0.0001
Vitamin B12	0.88 ± 0.20	0.87 ± 0.21	- 0.012 ± 0.004 (0) ⁶	0.002	38.4%	0.21
Vitamin C	0.43 ± 0.38	0.43 ± 0.38	+ 0.0027 ± 0.0008 (0) ⁶	0.0011	64.8%	<0.0001
Vitamin D	0.03 ± 0.12	0.03 ± 0.11	- 0.0027 ± 0.002 (0) ⁶	0.25	41.3%	0.68
Vitamin E	0.54 ± 0.34	0.54 ± 0.34	+ 0.0010 ± 0.002 (0) ⁶	0.66	40.4%	0.45
Calcium	0.75 ± 0.29	0.78 ± 0.28	+ 0.036 ± 0.004 (0) ⁶	<0.0001	64.5%	<0.0001
Iron	0.77 ± 0.18	0.76 ± 0.19	- 0.015 ± 0.003 (0) ⁶	<0.0001	2.3%	<0.0001

Iodine	0.22 ± 0.24	0.22 ± 0.24	+ 0.0010 ± 0.001 (0) ⁶	0.31	47.4%	0.05
Magnesium	0.38 ± 0.36	0.39 ± 0.36	+ 0.012 ± 0.001 (0) ⁶	<0.0001	72.7%	<0.0001
Phosphorus	0.98 ± 0.06	0.98 ± 0.05	+ 0.0019 ± 0.0004 (0) ⁶	<0.0001	57.3%	<0.0001
Potassium	0.64 ± 0.31	0.65 ± 0.31	+ 0.0013 ± 0.001 (0) ⁶	0.22	39.5%	0.27
Selenium	0.68 ± 0.31	0.70 ± 0.30	+ 0.022 ± 0.004 (0) ⁶	<0.0001	62.2%	<0.0001
Zinc	0.89 ± 0.18	0.90 ± 0.16	+ 0.013 ± 0.002 (0) ⁶	<0.0001	66.3%	<0.0001
Mod-S	57.2 ± 11.8	58.7 ± 11.6	+ 1.51 ± 0.17 (0.37)	<0.0001	64.8%	<0.0001
Protein	0.97 ± 0.11	0.97 ± 0.12	- 0.0052 ± 0.002 (0) ⁶	0.008	16.0%	<0.0001
Total carbohydrate	0.99 ± 0.07	0.99 ± 0.06	+ 0.00076 ± 0.002 (0) ⁶	0.62	26.7%	0.16
Free sugars	0.54 ± 0.38	0.54 ± 0.39	- 0.0064 ± 0.002 (0) ⁶	<0.0001	35.5%	0.007
Total fat	0.55 ± 0.39	0.59 ± 0.38	+ 0.039 ± 0.007 (0) ⁶	<0.0001	56.7%	<0.0001
SFA	0.14 ± 0.21	0.15 ± 0.22	+ 0.014 ± 0.002 (0) ⁶	<0.0001	59.6%	<0.0001
Cholesterol	0.45 ± 0.34	0.49 ± 0.34	+ 0.035 ± 0.005 (0) ⁶	<0.0001	58.7%	<0.0001
Sodium	0.36 ± 0.31	0.39 ± 0.31	+ 0.027 ± 0.004 (0) ⁶	<0.0001	62.8%	<0.0001
Penalty	-0.01 ± 0.11	-0.01 ± 0.09	+ 0.0029 ± 0.007 (0) ⁶	0.66	0.9%	1.00

¹ Etude Nationale Nutrition Santé, 2006-2007.

² Values are mean ± SD

³ Values are mean ± SEM

⁴ Student t-tests with a Bonferroni correction were performed to define whether the means of the delta for PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and energy intake excluding alcohol between the initial observed diet (D0) and the initial observed modified diet (D0'), named $\Delta 0'$, were different from 0.

⁵ Sign tests with a Bonferroni correction were performed to define whether the percentage of individuals with a positive or negative $\Delta 0'$ for PANDiet score, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and energy intake excluding alcohol were different.

⁶ Median is between -0.01 and 0.01.

Adeq-S, Adequacy sub-score of the PANDiet. ALA, alpha linolenic Acid. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. LA, linoleic acid. Mod-S, Moderation sub-score of the PANDiet. SFA, saturated fatty acids.

S10 Table. PANDiet score, Adeq-S, Mod-S, total energy intake without alcohol and probabilities of adequacy for nutrient intakes for D0' (initial observed modified diet) and their changes in final simulated diets under type-1 ($\Delta 1$), type-2 ($\Delta 2$) and type-3 ($\Delta 3$) changes for women of childbearing age ($n=344$) participating in the ENNS¹ study.

	Delta between the initial observed modified diet (D0') and...				<i>P</i> ⁴
	Initial observed modified diet (D0') ²	Final simulated diet under type-1 changes ($\Delta 1$) ³	Final simulated diet under type-2 changes ($\Delta 2$) ³	Final simulated diet under type-3 changes ($\Delta 3$) ³	
Energy intake without alcohol (kcal/d)	1860.9 ± 394.9	+ 94.0 ± 2.65 ^a	+ 32.3 ± 1.94 ^b	+ 49.5 ± 2.42 ^c	<0.001
PANDiet score	57.1 ± 7.4	+ 9.78 ± 0.18 ^a	+ 14.84 ± 0.20 ^b	+ 23.93 ± 0.26 ^c	<0.001
Adeq-S	55.6 ± 12.7	+ 9.29 ± 0.26 ^a	+ 14.10 ± 0.30 ^b	+ 23.24 ± 0.37 ^c	<0.001
Protein	0.97 ± 0.08	+ 0.014 ± 0.0029 ^{a,b}	+ 0.0088 ± 0.002 ^b	+ 0.018 ± 0.0034 ^a	0.027
Total carbohydrate	0.40 ± 0.39	+ 0.30 ± 0.018 ^a	+ 0.20 ± 0.015 ^b	+ 0.27 ± 0.021 ^a	<0.001
Total fat	0.91 ± 0.19	- 0.031 ± 0.0066 ^a	+ 0.014 ± 0.0092 ^b	+ 0.044 ± 0.010 ^b	<0.001
LA	0.56 ± 0.34	+ 0.060 ± 0.0090 ^a	+ 0.29 ± 0.016 ^b	+ 0.38 ± 0.018 ^c	<0.001
ALA	0.08 ± 0.18	+ 0.013 ± 0.0049 ^a	+ 0.23 ± 0.015 ^b	+ 0.41 ± 0.017 ^c	<0.001
DHA	0.18 ± 0.29	+ 0.055 ± 0.0082 ^a	+ 0.14 ± 0.014 ^b	+ 0.70 ± 0.018 ^c	<0.001
EPA + DHA	0.14 ± 0.26	+ 0.054 ± 0.0080 ^a	+ 0.15 ± 0.014 ^b	+ 0.71 ± 0.017 ^c	<0.001
Dietary fiber	0.12 ± 0.20	+ 0.13 ± 0.0080 ^a	+ 0.080 ± 0.0067 ^b	+ 0.24 ± 0.012 ^c	<0.001
Vitamin A	0.75 ± 0.29	+ 0.0082 ± 0.0081 ^a	+ 0.093 ± 0.012 ^b	- 0.086 ± 0.014 ^c	<0.001
Thiamin	0.29 ± 0.31	+ 0.13 ± 0.0077 ^a	+ 0.22 ± 0.014 ^b	+ 0.41 ± 0.015 ^c	<0.001
Riboflavin	0.77 ± 0.28	+ 0.077 ± 0.0064 ^a	+ 0.082 ± 0.0084 ^a	+ 0.16 ± 0.013 ^b	<0.001
Niacin	0.73 ± 0.28	+ 0.13 ± 0.0084 ^a	+ 0.16 ± 0.011 ^a	+ 0.25 ± 0.015 ^b	<0.001
Pantothenic acid	0.63 ± 0.32	+ 0.15 ± 0.0080 ^a	+ 0.10 ± 0.0093 ^b	+ 0.29 ± 0.014 ^c	<0.001
Vitamin B6	0.36 ± 0.35	+ 0.20 ± 0.011 ^a	+ 0.28 ± 0.013 ^b	+ 0.58 ± 0.018 ^c	<0.001
Folate	0.46 ± 0.32	+ 0.15 ± 0.0078 ^a	+ 0.26 ± 0.011 ^b	+ 0.26 ± 0.012 ^b	<0.001
Vitamin B12	0.87 ± 0.21	+ 0.023 ± 0.0058 ^a	+ 0.045 ± 0.0084 ^a	+ 0.10 ± 0.011 ^b	<0.001
Vitamin C	0.43 ± 0.38	+ 0.19 ± 0.012 ^a	+ 0.26 ± 0.017 ^b	+ 0.38 ± 0.017 ^c	<0.001
Vitamin D	0.03 ± 0.11	+ 0.0078 ± 0.0027 ^a	+ 0.025 ± 0.0057 ^a	+ 0.42 ± 0.017 ^b	<0.001
Vitamin E	0.54 ± 0.34	+ 0.15 ± 0.0099 ^a	+ 0.31 ± 0.015 ^b	+ 0.35 ± 0.015 ^c	<0.001
Calcium	0.78 ± 0.28	+ 0.051 ± 0.0074 ^a	+ 0.066 ± 0.0071 ^a	- 0.12 ± 0.011 ^b	<0.001
Iron	0.76 ± 0.19	+ 0.076 ± 0.0045 ^a	+ 0.13 ± 0.0072 ^b	+ 0.15 ± 0.0085 ^c	<0.001
Iodine	0.22 ± 0.24	+ 0.040 ± 0.0063 ^a	+ 0.039 ± 0.011 ^a	+ 0.074 ± 0.011 ^a	0.30
Magnesium	0.39 ± 0.36	+ 0.16 ± 0.0085 ^a	+ 0.25 ± 0.013 ^b	+ 0.30 ± 0.013 ^c	<0.001
Phosphorus	0.98 ± 0.05	+ 0.0093 ± 0.0021 ^{a,b}	+ 0.0068 ± 0.0014 ^a	+ 0.012 ± 0.0026 ^b	0.031
Potassium	0.65 ± 0.31	+ 0.18 ± 0.0089 ^a	+ 0.15 ± 0.0081 ^b	+ 0.22 ± 0.011 ^c	<0.001
Selenium	0.70 ± 0.30	+ 0.082 ± 0.0070 ^a	+ 0.20 ± 0.014 ^b	+ 0.23 ± 0.014 ^b	<0.001
Zinc	0.90 ± 0.16	+ 0.041 ± 0.0045 ^a	+ 0.039 ± 0.0058 ^a	- 0.013 ± 0.0074 ^b	<0.001

Mod-S	58.7 ± 11.6	+ 10.28 ± 0.33 ^a	+ 15.58 ± 0.42 ^b	+ 24.61 ± 0.47 ^c	<0.001
Protein	0.97 ± 0.12	+ 0.018 ± 0.0041 ^a	+ 0.012 ± 0.0037 ^a	+ 0.014 ± 0.0041 ^a	1.00
Total carbohydrate	0.99 ± 0.06	+ 0.0069 ± 0.0027 ^a	+ 0.0082 ± 0.0028 ^{a,b}	+ 0.0095 ± 0.0030 ^b	0.078
Free sugars	0.54 ± 0.39	+ 0.16 ± 0.012 ^a	+ 0.19 ± 0.014 ^a	+ 0.25 ± 0.016 ^b	<0.001
Total fat	0.59 ± 0.38	+ 0.27 ± 0.016 ^a	+ 0.24 ± 0.016 ^a	+ 0.32 ± 0.018 ^b	<0.001
SFA	0.15 ± 0.22	+ 0.18 ± 0.0094 ^a	+ 0.31 ± 0.013 ^b	+ 0.53 ± 0.014 ^c	<0.001
Cholesterol	0.49 ± 0.34	+ 0.14 ± 0.0090 ^a	+ 0.25 ± 0.013 ^b	+ 0.39 ± 0.016 ^c	<0.001
Sodium	0.39 ± 0.31	-0.052 ± 0.0066 ^a	+ 0.074 ± 0.0075 ^b	+ 0.21 ± 0.012 ^c	<0.001
Penalty	0.01 ± 0.09	-0.0058 ± 0.0041 ^a	+ 0.01 ± 0.009 ^a	+ 0.01 ± 0.009 ^a	1.00

¹ *Etude Nationale Nutrition Santé*, 2006-2007.

² Values are mean ± SD

³ Values are mean ± SEM

⁴ The effects of the type of dietary changes were assessed under a mixed model with a random effect on the individual where the dependent variable was the delta for the variables presented in the first column, and the independent variable was the type of dietary changes. ^{a,b,c} Comparisons of means between Δ1, Δ2 and Δ3 were performed under this model with a Bonferroni correction. $P < 0.05$

Adeq-S, Adequacy sub-score of the PANDiet. ALA, alpha linolenic acid. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. LA, linoleic acid. Mod-S, Moderation sub-score of the PANDiet. SFA, saturated fatty acids.

S11 Table. PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and total energy intake excluding alcohol for the initial observed modified diet (D0'), the final simulated diet under type-1 dietary changes (D1), their delta ($\Delta 1$) and the percentage of individuals with an increase between D1 and D0' for women of childbearing age ($n=344$) participating in the ENNS¹ study.

	Initial observed modified diet (D0') ²	Final simulated diet under type-1 changes (D1) ²	Delta 1 ($\Delta 1$) ³	P ⁴	Individual with an increase	P ⁵
Energy intake without alcohol (kcal/d)	1860.9 ± 394.9	1954.9 ± 384.5	+ 94.0 ± 2.65 (109.4)	<0.0001	100%	<0.0001
PANDiet	57.1 ± 7.4	66.9 ± 7.3	+ 9.78 ± 0.18 (9.59)	<0.0001	100%	<0.0001
Adeq-S	55.6 ± 12.7	64.9 ± 10.7	+ 9.29 ± 0.26 (8.76)	<0.0001	98.8%	<0.0001
Protein	0.97 ± 0.08	0.99 ± 0.04	+ 0.014 ± 0.0029 (0) ⁶	<0.0001	68.0%	<0.0001
Total carbohydrate	0.40 ± 0.39	0.70 ± 0.36	+ 0.30 ± 0.018 (0.20)	<0.0001	81.4%	<0.0001
Total fat	0.91 ± 0.19	0.88 ± 0.21	- 0.031 ± 0.0066 (0) ⁶	0.00011	32.0%	<0.0001
LA	0.56 ± 0.34	0.62 ± 0.32	+ 0.060 ± 0.0090 (0) ⁶	<0.0001	55.8%	1.00
ALA	0.08 ± 0.18	0.09 ± 0.20	+ 0.013 ± 0.0049 (0) ⁶	0.26	38.7%	0.0012
DHA	0.18 ± 0.29	0.24 ± 0.33	+ 0.055 ± 0.0082 (0) ⁶	<0.0001	45.3%	1.00
EPA + DHA	0.14 ± 0.26	0.19 ± 0.29	+ 0.054 ± 0.0080 (0) ⁶	<0.0001	43.0%	1.00
Dietary fiber	0.12 ± 0.20	0.25 ± 0.28	+ 0.13 ± 0.0080 (0.075)	<0.0001	97.7%	<0.0001
Vitamin A	0.75 ± 0.29	0.76 ± 0.28	+ 0.0082 ± 0.0081 (0) ⁶	1.00	45.3%	1.00
Thiamin	0.29 ± 0.31	0.42 ± 0.33	+ 0.13 ± 0.0077 (0.089)	<0.0001	91.9%	<0.0001
Riboflavin	0.77 ± 0.28	0.85 ± 0.23	+ 0.077 ± 0.0064 (0.026)	<0.0001	76.7%	<0.0001
Niacin	0.73 ± 0.28	0.86 ± 0.20	+ 0.13 ± 0.0084 (0.076)	<0.0001	91.6%	<0.0001
Pantothenic acid	0.63 ± 0.32	0.78 ± 0.25	+ 0.15 ± 0.0080 (0.11)	<0.0001	91.9%	<0.0001
Vitamin B6	0.36 ± 0.35	0.57 ± 0.34	+ 0.20 ± 0.011 (0.17)	<0.0001	93.6%	<0.0001
Folate	0.46 ± 0.32	0.62 ± 0.30	+ 0.15 ± 0.0078 (0.12)	<0.0001	91.3%	<0.0001
Vitamin B12	0.87 ± 0.21	0.89 ± 0.18	+ 0.023 ± 0.0058 (0) ⁶	0.0023	51.2%	1.00
Vitamin C	0.43 ± 0.38	0.62 ± 0.35	+ 0.19 ± 0.012 (0.097)	<0.0001	91.9%	<0.0001
Vitamin D	0.03 ± 0.11	0.04 ± 0.13	+ 0.0078 ± 0.0027 (0) ⁶	0.13	30.8%	<0.0001
Vitamin E	0.54 ± 0.34	0.70 ± 0.30	+ 0.15 ± 0.0099 (0.098)	<0.0001	86.6%	<0.0001
Calcium	0.78 ± 0.28	0.84 ± 0.23	+ 0.051 ± 0.0074 (0) ⁶	<0.0001	66.3%	<0.0001
Iron	0.76 ± 0.19	0.83 ± 0.15	+ 0.076 ± 0.0045 (0.08)	<0.0001	64.5%	<0.0001

Iodine	0.22 ± 0.24	0.26 ± 0.27	+ 0.040 ± 0.0063 (0.011)	<0.0001	68.6%	<0.0001
Magnesium	0.39 ± 0.36	0.55 ± 0.37	+ 0.16 ± 0.0085 (0.12)	<0.0001	95.6%	<0.0001
Phosphorus	0.98 ± 0.05	0.99 ± 0.02	+ 0.0093 ± 0.0021 (0) ⁶	0.00059	69.8%	<0.0001
Potassium	0.65 ± 0.31	0.83 ± 0.23	+ 0.18 ± 0.0089 (0.14)	<0.0001	95.3%	<0.0001
Selenium	0.70 ± 0.30	0.78 ± 0.26	+ 0.082 ± 0.0070 (0.038)	<0.0001	78.8%	<0.0001
Zinc	0.90 ± 0.16	0.94 ± 0.11	+ 0.041 ± 0.0045 (0) ⁶	<0.0001	75.0%	<0.0001
Mod-S	58.7 ± 11.6	69.0 ± 11.2	+ 10.28 ± 0.33 (10.06)	<0.0001	97.7%	<0.0001
Protein	0.97 ± 0.12	0.99 ± 0.07	+ 0.018 ± 0.0041 (0) ⁶	0.00045	38.7%	1.00
Total carbohydrate	0.99 ± 0.06	1.00 ± 0.01	+ 0.0069 ± 0.0027 (0) ⁶	0.48	40.4%	1.00
Free sugars	0.54 ± 0.39	0.70 ± 0.37	+ 0.16 ± 0.012 (0.047)	<0.0001	80.5%	<0.0001
Total Fat	0.59 ± 0.38	0.86 ± 0.28	+ 0.27 ± 0.016 (0.15)	<0.0001	86.0%	<0.0001
SFA	0.15 ± 0.22	0.33 ± 0.30	+ 0.18 ± 0.0094 (0.13)	<0.0001	95.3%	<0.0001
Cholesterol	0.49 ± 0.34	0.62 ± 0.34	+ 0.14 ± 0.0090 (0.084)	<0.0001	80.2%	<0.0001
Sodium	0.39 ± 0.31	0.34 ± 0.31	-0.052 ± 0.0066 (-0.037)	<0.0001	22.1%	<0.0001
Penalty	0.01 ± 0.09	0.002 ± 0.05	-0.0058 ± 0.0041 (0)	1.00	0.6%	1.00

¹ Etude Nationale Nutrition Santé, 2006-2007.

² Values are mean ± SD

³ Values are mean ± SEM

⁴ Student t-tests with a Bonferroni correction were performed to define whether the means of the delta for PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and energy intake excluding alcohol between the initial observed modified diet (D0') and the final simulated diet under type-1 dietary changes, named Δ1, were different from 0.

⁵ Sign tests with a Bonferroni correction were performed to define whether the percentage of individuals with a positive or negative Δ1 for PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and energy intake excluding alcohol were different.

⁶ Median is between -0.01 and 0.01.

Adeq-S, Adequacy sub-score of the PANDiet. ALA, alpha linolenic acid. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. LA, linoleic acid. Mod-S, Moderation sub-score of the PANDiet. SFA, saturated fatty acids.

S12 Table. PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and total energy intake excluding alcohol for the initial observed modified diet (D0'), the final simulated diet under type-2 dietary changes (D2), their delta ($\Delta 2$) and the percentage of individuals with an increase between D2 and D0' for women of childbearing age ($n=344$) participating in the ENNS¹ study.

	Initial modified observed diet (D0') ²	Final simulated diet under type-2 changes (D2) ²	Delta 2 ($\Delta 2$) ³	P ⁴	Individual with an increase	P ⁵
Energy intake without alcohol (kcal/d)	1860.9 ± 394.9	1893.2 ± 396.2	+ 32.3 ± 1.94 (18.2)	<0.0001	100%	<0.0001
PANDiet	57.1 ± 7.4	72.0 ± 7.6	+ 14.84 ± 0.20 (14.88)	<0.0001	100%	<0.0001
Adeq-S	55.6 ± 12.7	69.7 ± 10.7	+ 14.10 ± 0.30 (13.61)	<0.0001	99.7%	<0.0001
Protein	0.97 ± 0.08	0.98 ± 0.06	+ 0.0088 ± 0.002 (0) ⁶	<0.0001	64.5%	<0.0001
Total carbohydrate	0.40 ± 0.39	0.60 ± 0.38	+ 0.20 ± 0.015 (0.091)	<0.0001	74.7%	<0.0001
Total fat	0.91 ± 0.19	0.93 ± 0.15	+ 0.014 ± 0.0092 (0) ⁶	1.00	40.7%	0.36
LA	0.56 ± 0.34	0.84 ± 0.21	+ 0.29 ± 0.016 (0.21)	<0.0001	88.7%	<0.0001
ALA	0.08 ± 0.18	0.30 ± 0.32	+ 0.23 ± 0.015 (0.081)	<0.0001	82.3%	<0.0001
DHA	0.18 ± 0.29	0.32 ± 0.36	+ 0.14 ± 0.014 (0) ⁶	<0.0001	61.6%	0.00074
EPA + DHA	0.14 ± 0.26	0.29 ± 0.34	+ 0.15 ± 0.014 (0) ⁶	<0.0001	66.6%	<0.0001
Dietary fiber	0.12 ± 0.20	0.20 ± 0.26	+ 0.080 ± 0.0067 (0.023)	<0.0001	88.7%	<0.0001
Vitamin A	0.75 ± 0.29	0.84 ± 0.22	+ 0.093 ± 0.012 (0.015)	<0.0001	57.3%	0.32
Thiamin	0.29 ± 0.31	0.51 ± 0.33	+ 0.22 ± 0.014 (0.15)	<0.0001	87.8%	<0.0001
Riboflavin	0.77 ± 0.28	0.85 ± 0.22	+ 0.082 ± 0.0084 (0.019)	<0.0001	78.5%	<0.0001
Niacin	0.73 ± 0.28	0.89 ± 0.18	+ 0.16 ± 0.011 (0.085)	<0.0001	88.7%	<0.0001
Pantothenic acid	0.63 ± 0.32	0.73 ± 0.28	+ 0.10 ± 0.0093 (0.053)	<0.0001	72.1%	<0.0001
Vitamin B6	0.36 ± 0.35	0.64 ± 0.33	+ 0.28 ± 0.013 (0.24)	<0.0001	91.9%	<0.0001
Folate	0.46 ± 0.32	0.72 ± 0.27	+ 0.26 ± 0.011 (0.22)	<0.0001	96.8%	<0.0001
Vitamin B12	0.87 ± 0.21	0.91 ± 0.13	+ 0.045 ± 0.0084 (0) ⁶	<0.0001	50.0%	1.00
Vitamin C	0.43 ± 0.38	0.69 ± 0.33	+ 0.26 ± 0.017 (0.16)	<0.0001	80.5%	<0.0001
Vitamin D	0.03 ± 0.11	0.05 ± 0.15	+ 0.025 ± 0.0057 (0) ⁶	0.00065	46.8%	1.00
Vitamin E	0.54 ± 0.34	0.85 ± 0.21	+ 0.31 ± 0.015 (0.25)	<0.0001	93.9%	<0.0001
Calcium	0.78 ± 0.28	0.85 ± 0.23	+ 0.066 ± 0.0071 (0.012)	<0.0001	72.7%	<0.0001
Iron	0.76 ± 0.19	0.88 ± 0.11	+ 0.13 ± 0.0072 (0.10)	<0.0001	77.0%	<0.0001

Iodine	0.22 ± 0.24	0.26 ± 0.27	+ 0.039 ± 0.011 (0) ⁶	0.012	48.8%	1.00
Magnesium	0.39 ± 0.36	0.64 ± 0.35	+ 0.25 ± 0.013 (0.20)	<0.0001	93.0%	<0.0001
Phosphorus	0.98 ± 0.05	0.99 ± 0.04	+ 0.0068 ± 0.0014 (0) ⁶	<0.0001	64.8%	<0.0001
Potassium	0.65 ± 0.31	0.79 ± 0.25	+ 0.15 ± 0.0081 (0.11)	<0.0001	91.6%	<0.0001
Selenium	0.70 ± 0.30	0.91 ± 0.14	+ 0.20 ± 0.014 (0.11)	<0.0001	79.7%	<0.0001
Zinc	0.90 ± 0.16	0.94 ± 0.11	+ 0.039 ± 0.0058 (0) ⁶	<0.0001	65.7%	<0.0001
Mod-S	58.7 ± 11.6	74.3 ± 12.6	+ 15.58 ± 0.42 (15.18)	<0.0001	100.0%	<0.0001
Protein	0.97 ± 0.12	0.98 ± 0.09	+ 0.012 ± 0.0037 (0) ⁶	0.036	32.3%	1.00
Total carbohydrate	0.99 ± 0.06	1.00 ± 0.01	+ 0.0082 ± 0.0028 (0) ⁶	0.14	39.2%	1.00
Free sugars	0.54 ± 0.39	0.73 ± 0.36	+ 0.19 ± 0.014 (0.056)	<0.0001	74.1%	<0.0001
Total fat	0.59 ± 0.38	0.83 ± 0.31	+ 0.24 ± 0.016 (0.10)	<0.0001	82.3%	<0.0001
SFA	0.15 ± 0.22	0.46 ± 0.32	+ 0.31 ± 0.013 (0.30)	<0.0001	97.4%	<0.0001
Cholesterol	0.49 ± 0.34	0.74 ± 0.31	+ 0.25 ± 0.013 (0.21)	<0.0001	90.7%	<0.0001
Sodium	0.39 ± 0.31	0.46 ± 0.33	+ 0.074 ± 0.0075 (0.035)	<0.0001	70.6%	<0.0001
Penalty	-0.01 ± 0.09	0	+ 0.01 ± 0.009 (0)	1.00	0.9%	1.00

¹ Etude Nationale Nutrition Santé, 2006-2007.

² Values are mean ± SD

³ Values are mean ± SEM

⁴ Student t-tests with a Bonferroni correction were performed to define whether the means of the delta for PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and energy intake excluding alcohol between the initial observed modified diet (D0') and the final simulated diet under type-2 dietary changes (D2), named Δ2, were different from 0.

⁵ Sign tests with a Bonferroni correction were performed to define whether the percentage of individuals with a positive or negative Δ2 for PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and energy intake excluding alcohol were different.

⁶ Median is between -0.01 and 0.01.

Adeq-S, Adequacy sub-score of the PANDiet. ALA, alpha linolenic acid. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. LA, linoleic acid. Mod-S, Moderation sub-score of the PANDiet. SFA, saturated fatty acids.

S13 Table. PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and total energy intake excluding alcohol for the initial observed modified diet (D0'), the final simulated diet under type-3 dietary changes (D3), their delta ($\Delta 3$) and the percentage of individuals with an increase between D3 and D0' for women of childbearing age (n=344) participating in the ENNS¹ study.

	Initial observed modified diet (D0') ²	Final simulated diet under type-3 changes (D3) ²	Delta 3 ($\Delta 3$) ³	<i>P</i> ⁴	Individual with an increase	<i>P</i> ⁵
Energy intake without alcohol (kcal/d)	1860.9 ± 394.9	1910.4 ± 385.7	+ 49.5 ± 2.42 (33.7)	<0.0001	100%	<0.0001
PANDiet	57.1 ± 7.4	81.6 ± 6.2	+ 23.93 ± 0.26 (23.68)	<0.0001	100%	<0.0001
Adeq-S	55.6 ± 12.7	78.8 ± 9.3	+ 23.24 ± 0.37 (23.06)	<0.0001	100%	<0.0001
Protein	0.97 ± 0.08	0.99 ± 0.03	+ 0.018 ± 0.0034 (0) ⁶	<0.0001	66.0%	<0.0001
Total carbohydrate	0.40 ± 0.39	0.67 ± 0.37	+ 0.27 ± 0.021 (0.16)	<0.0001	75.3%	<0.0001
Total fat	0.91 ± 0.19	0.96 ± 0.10	+ 0.044 ± 0.010 (0) ⁶	0.00073	51.7%	1.00
LA	0.56 ± 0.34	0.93 ± 0.12	+ 0.38 ± 0.018 (0.30)	<0.0001	91.8%	<0.0001
ALA	0.08 ± 0.18	0.49 ± 0.32	+ 0.41 ± 0.017 (0.41)	<0.0001	98.0%	<0.0001
DHA	0.18 ± 0.29	0.88 ± 0.19	+ 0.70 ± 0.018 (0.82)	<0.0001	96.2%	<0.0001
EPA + DHA	0.14 ± 0.26	0.85 ± 0.21	+ 0.71 ± 0.017 (0.82)	<0.0001	96.8%	<0.0001
Dietary Fiber	0.12 ± 0.20	0.36 ± 0.31	+ 0.24 ± 0.012 (0.20)	<0.0001	97.1%	<0.0001
Vitamin A	0.75 ± 0.29	0.66 ± 0.31	- 0.086 ± 0.014 (-0.077)	<0.0001	23.8%	<0.0001
Thiamin	0.29 ± 0.31	0.70 ± 0.27	+ 0.41 ± 0.015 (0.40)	<0.0001	93.9%	<0.0001
Riboflavin	0.77 ± 0.28	0.93 ± 0.12	+ 0.16 ± 0.013 (0.043)	<0.0001	72.7%	<0.0001
Niacin	0.73 ± 0.28	0.98 ± 0.05	+ 0.25 ± 0.015 (0.14)	<0.0001	96.2%	<0.0001
Pantothenic acid	0.63 ± 0.32	0.92 ± 0.14	+ 0.29 ± 0.014 (0.22)	<0.0001	94.8%	<0.0001
Vitamin B6	0.36 ± 0.35	0.94 ± 0.11	+ 0.58 ± 0.018 (0.66)	<0.0001	99.4%	<0.0001
Folate	0.46 ± 0.32	0.73 ± 0.26	+ 0.26 ± 0.012 (0.24)	<0.0001	92.7%	<0.0001
Vitamin B12	0.87 ± 0.21	0.97 ± 0.05	+ 0.10 ± 0.011 (0.017)	<0.0001	75.6%	<0.0001
Vitamin C	0.43 ± 0.38	0.81 ± 0.25	+ 0.38 ± 0.017 (0.38)	<0.0001	90.4%	<0.0001
Vitamin D	0.03 ± 0.11	0.45 ± 0.32	+ 0.42 ± 0.017 (0.42)	<0.0001	95.1%	<0.0001
Vitamin E	0.54 ± 0.34	0.90 ± 0.15	+ 0.35 ± 0.015 (0.31)	<0.0001	97.7%	<0.0001
Calcium	0.78 ± 0.28	0.66 ± 0.30	- 0.12 ± 0.011 (-0.072)	<0.0001	20.6%	<0.0001
Iron	0.76 ± 0.19	0.91 ± 0.08	+ 0.15 ± 0.0085 (0.10)	<0.0001	82.3%	<0.0001

Iodine	0.22 ± 0.24	0.29 ± 0.27	+ 0.074 ± 0.011 (0.024)	<0.0001	67.4%	<0.0001
Magnesium	0.39 ± 0.36	0.69 ± 0.33	+ 0.30 ± 0.013 (0.27)	<0.0001	98.3%	<0.0001
Phosphorus	0.98 ± 0.05	1.00 ± 0.01	+ 0.012 ± 0.0026 (0) ⁶	0.00015	73.0%	<0.0001
Potassium	0.65 ± 0.31	0.87 ± 0.19	+ 0.22 ± 0.011 (0.18)	<0.0001	96.5%	<0.0001
Selenium	0.70 ± 0.30	0.93 ± 0.11	+ 0.23 ± 0.014 (0.12)	<0.0001	85.5%	<0.0001
Zinc	0.90 ± 0.16	0.89 ± 0.14	- 0.013 ± 0.0074 (0) ⁶	1.00	33.7%	<0.0001
Mod-S	58.7 ± 11.6	83.3 ± 10.1	+ 24.61 ± 0.47 (23.87)	<0.0001	100%	<0.0001
Protein	0.97 ± 0.12	0.98 ± 0.08	+ 0.014 ± 0.0041 (0) ⁶	0.022	35.8%	1.00
Total carbohydrate	0.99 ± 0.06	1.00 ± 0.01	+ 0.0095 ± 0.0030 (0) ⁶	0.061	46.8%	1.00
Free sugars	0.54 ± 0.39	0.79 ± 0.32	+ 0.25 ± 0.016 (0.13)	<0.0001	75.9%	<0.0001
Total Fat	0.59 ± 0.38	0.91 ± 0.23	+ 0.32 ± 0.018 (0.22)	<0.0001	84.3%	<0.0001
SFA	0.15 ± 0.22	0.68 ± 0.29	+ 0.53 ± 0.014 (0.58)	<0.0001	98.8%	<0.0001
Cholesterol	0.49 ± 0.34	0.88 ± 0.20	+ 0.39 ± 0.016 (0.35)	<0.0001	95.9%	<0.0001
Sodium	0.39 ± 0.31	0.60 ± 0.33	+ 0.21 ± 0.012 (0.18)	<0.0001	79.7%	<0.0001
Penalty	-0.01 ± 0.09	0	+ 0.01 ± 0.009 (0)	1.00	0.9%	1.00

¹ Etude Nationale Nutrition Santé, 2006-2007.

² Values are mean ± SD

³ Values are mean ± SEM

⁴ Student t-tests with a Bonferroni correction were performed to define whether the means of the delta for PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and energy intake excluding alcohol between the initial observed modified diet (D0') and the final simulated diet under type-3 dietary changes (D3), named Δ3, were different from 0.

⁵ Sign tests with a Bonferroni correction were performed to define whether the percentage of individuals with a positive or negative Δ3 for PANDiet scores, Adeq-S, Mod-S, probabilities of adequacy for nutrient intakes and energy intake excluding alcohol were different.

⁶ Median is between -0.01 and 0.01.

Adeq-S, Adequacy sub-score of the PANDiet. ALA, alpha linolenic acid. DHA, docosahexaenoic acid. EPA, eicosapentaenoic acid. LA, linoleic acid. Mod-S, Moderation sub-score of the PANDiet. SFA, saturated fatty acids.

S14 Table. Application of the STROBE-nut (An extension of the STROBE statement for nutritional epidemiology, developed by Lachat C *et al.* (2016)) to our studies.

Item	Item nr	STROBE recommendations	Extension for Nutritional Epidemiology studies (STROBE-nut)	Reported on page #
Title and abstract	1	(a) Indicate the study’s design with a commonly used term in the title or the abstract.	nut-1 State the dietary/nutritional assessment method(s) used in the title, abstract, or keywords.	p.2
		(b) Provide in the abstract an informative and balanced summary of what was done and what was found.		p.2
Introduction				
Background rationale	2	Explain the scientific background and rationale for the investigation being reported.		p.3,4
Objectives	3	State specific objectives, including any pre-specified hypotheses.		p.4
Methods				
Study design	4	Present key elements of study design early in the paper.		p.5, 6 (<i>simulation study</i>) p.8,9 (<i>acceptability study</i>)
Settings	5	Describe the setting, locations, and relevant dates, including periods of recruitment, exposure, follow-up, and data collection.	nut-5 Describe any characteristics of the study settings that might affect the dietary intake or nutritional status of the participants, if applicable.	p. 5, 6 (<i>simulation study</i>) p.8, 9 (<i>acceptability study</i>)
Participants	6	a) Cohort study—Give the eligibility criteria, and the sources and methods of selection of participants. Describe methods of follow-up.	nut-6 Report particular dietary, physiological or nutritional characteristics that were considered when selecting the target population.	p.8, 9, and S7 Figure and S8 Table (<i>acceptability study</i>)
		Case-control study—Give the eligibility criteria, and the sources and methods of case ascertainment and control selection. Give the rationale for the choice of cases and controls.		
		Cross-sectional study—Give the eligibility criteria, and the sources and methods of selection of participants.		

Item	Item nr	STROBE recommendations	Extension for Nutritional Epidemiology studies (STROBE-nut)	Reported on page #
		(b) Cohort study—For matched studies, give matching criteria and number of exposed and unexposed. Case-control study—For matched studies, give matching criteria and the number of controls per case.		NA
Variables	7	Clearly define all outcomes, exposures, predictors, potential confounders, and effect modifiers. Give diagnostic criteria, if applicable.	nut-7.1 Clearly define foods, food groups, nutrients, or other food components. nut-7.2 When using dietary patterns or indices, describe the methods to obtain them and their nutritional properties.	p.6, 7 and S2 Appendix, S3 Table, S4 Table, S5 Figure and S6 Table (simulation study) p.8, 9 (acceptability study) p.6, 7 and S2 Appendix and S3 Table (simulation study)
Data sources - measurements	8	For each variable of interest, give sources of data and details of methods of assessment (measurement). Describe comparability of assessment methods if there is more than one group.	nut-8.1 Describe the dietary assessment method(s), e.g., portion size estimation, number of days and items recorded, how it was developed and administered, and how quality was assured. Report if and how supplement intake was assessed. nut-8.2 Describe and justify food composition data used. Explain the procedure to match food composition with consumption data. Describe the use of conversion factors, if applicable. nut-8.3 Describe the nutrient requirements, recommendations, or dietary guidelines and the evaluation approach used to compare intake with the dietary reference values, if applicable.	p.5, 6 (simulation study) p.6 (simulation study) p.6, 7 and S3 Table (simulation study)

Item	Item nr	STROBE recommendations	Extension for Nutritional Epidemiology studies (STROBE-nut)	Reported on page #
			nut-8.4 When using nutritional biomarkers, additionally use the STROBE Extension for Molecular Epidemiology (STROBE-ME). Report the type of biomarkers used and their usefulness as dietary exposure markers.	NA
			nut-8.5 Describe the assessment of nondietary data (e.g., nutritional status and influencing factors) and timing of the assessment of these variables in relation to dietary assessment.	p.5, 6 (<i>simulation study</i>) p.8, 9 (<i>acceptability study</i>)
			nut-8.6 Report on the validity of the dietary or nutritional assessment methods and any internal or external validation used in the study, if applicable.	p.5, 6 (<i>simulation study</i>)
Bias	9	Describe any efforts to address potential sources of bias.	nut-9 Report how bias in dietary or nutritional assessment was addressed, e.g., misreporting, changes in habits as a result of being measured, or data imputation from other sources	p.6 (<i>simulation study</i>)
Study Size	10	Explain how the study size was arrived at.		p.5, 6 (<i>simulation study</i>) p.8, 9 and S7 Figure (<i>acceptability study</i>)
Quantitative variables	11	Explain how quantitative variables were handled in the analyses. If applicable, describe which groupings were chosen and why.	nut-11 Explain categorization of dietary/nutritional data (e.g., use of N-tiles and handling of nonconsumers) and the choice of reference category, if applicable.	p.9, 10
Statistical Methods	12	(a) Describe all statistical methods, including those used to control for confounding	nut-12.1 Describe any statistical method used to combine dietary or nutritional data, if applicable.	p.9, 10

Item	Item nr	STROBE recommendations	Extension for Nutritional Epidemiology studies (STROBE-nut)	Reported on page #
		(b) Describe any methods used to examine subgroups and interactions.	nut-12.2 Describe and justify the method for energy adjustments, intake modeling, and use of weighting factors, if applicable.	p.9, 10
		(c) Explain how missing data were addressed.		p.9, 10
		(d) Cohort study—If applicable, explain how loss to follow-up was addressed.	nut-12.3 Report any adjustments for measurement error, i.e., from a validity or calibration study.	p.9, 10
		Case-control study—If applicable, explain how matching of cases and controls was addressed.		p.9, 10
		Cross-sectional study—If applicable, describe analytical methods taking account of sampling strategy.		p.9, 10
		(e) Describe any sensitivity analyses.		p.9, 10
Results				
Participants	13	(a) Report the numbers of individuals at each stage of the study—e.g., numbers potentially eligible, examined for eligibility, confirmed eligible, included in the study, completing follow-up, and analyzed.	nut-13 Report the number of individuals excluded based on missing, incomplete or implausible dietary/nutritional data.	p.5, 6 and p.11 <i>(simulation study)</i>
		(b) Give reasons for non-participation at each stage.		p.8, 9 and p.12 <i>(acceptability study)</i>
		(c) Consider use of a flow diagram.		NA
				S7 Figure <i>(acceptability study)</i>
Descriptive data	14	(a) Give characteristics of study participants (e.g., demographic, clinical, social) and information on exposures and potential confounders	nut-14 Give the distribution of participant characteristics across the exposure variables if applicable. Specify if food consumption of total population or consumers only were used to obtain results.	p.5, 6 <i>(simulation study)</i>
		(b) Indicate the number of participants with missing data for each variable of interest		p.8, 9 <i>(acceptability study)</i>
		(c) Cohort study—Summarize follow-up time (e.g., average and total amount)		

Item	Item nr	STROBE recommendations	Extension for Nutritional Epidemiology studies (STROBE-nut)	Reported on page #
Outcome data	15	Cohort study—Report numbers of outcome events or summary measures over time.		p.8, 9 (<i>acceptability study</i>)
		Case-control study—Report numbers in each exposure category, or summary measures of exposure.		p.5, 6 (<i>simulation study</i>)
		Cross-sectional study—Report numbers of outcome events or summary measures.		
Main results	16	(a) Give unadjusted estimates and, if applicable, confounder-adjusted estimates and their precision (e.g., 95% confidence interval). Make clear which confounders were adjusted for and why they were included.	nut-16 Specify if nutrient intakes are reported with or without inclusion of dietary supplement intake, if applicable.	p.11, 12 and S9 to 13 Tables (<i>simulation study</i>) p.13 (<i>acceptability study</i>) p. 14 (<i>both studies</i>)
		(b) Report category boundaries when continuous variables were categorized.		NA
		(c) If relevant, consider translating estimates of relative risk into absolute risk for a meaningful time period.		NA
Other analyses	17	Report other analyses done—e.g., analyses of subgroups and interactions and sensitivity analyses.	nut-17 Report any sensitivity analysis (e.g., exclusion of misreporters or outliers) and data imputation, if applicable.	p.13 (<i>acceptability study</i>)
Discussion				
Key results	18	Summarize key results with reference to study objectives.		p.14-16 and p.18
Limitation	19	Discuss limitations of the study, taking into account sources of potential bias or imprecision. Discuss both direction and magnitude of any potential bias.	nut-19 Describe the main limitations of the data sources and assessment methods used and implications for the interpretation of the findings.	p.17, 18

Item	Item nr	STROBE recommendations	Extension for Nutritional Epidemiology studies (STROBE-nut)	Reported on page #
Interpretation	20	Give a cautious overall interpretation of results considering objectives, limitations, multiplicity of analyses, results from similar studies, and other relevant evidence.	nut-20 Report the nutritional relevance of the findings, given the complexity of diet or nutrition as an exposure.	p.15-17
Generalizability	21	Discuss the generalizability (external validity) of the study results.		p.17, 18
Other information				
Funding	22	Give the source of funding and the role of the funders for the present study and, if applicable, for the original study on which the present article is based.		Not required in the manuscript
<i>Ethics</i>			nut-22.1 Describe the procedure for consent and study approval from ethics committee(s).	p.5 (<i>simulation study</i>) p.8, 9 (<i>acceptability study</i>)
<i>Supplementary material</i>			nut-22.2 Provide data collection tools and data as online material or explain how they can be accessed.	See Supporting information

2.2.4. Résultats complémentaires : Contribution des sous-groupes d'aliments à chaque type de modifications alimentaires

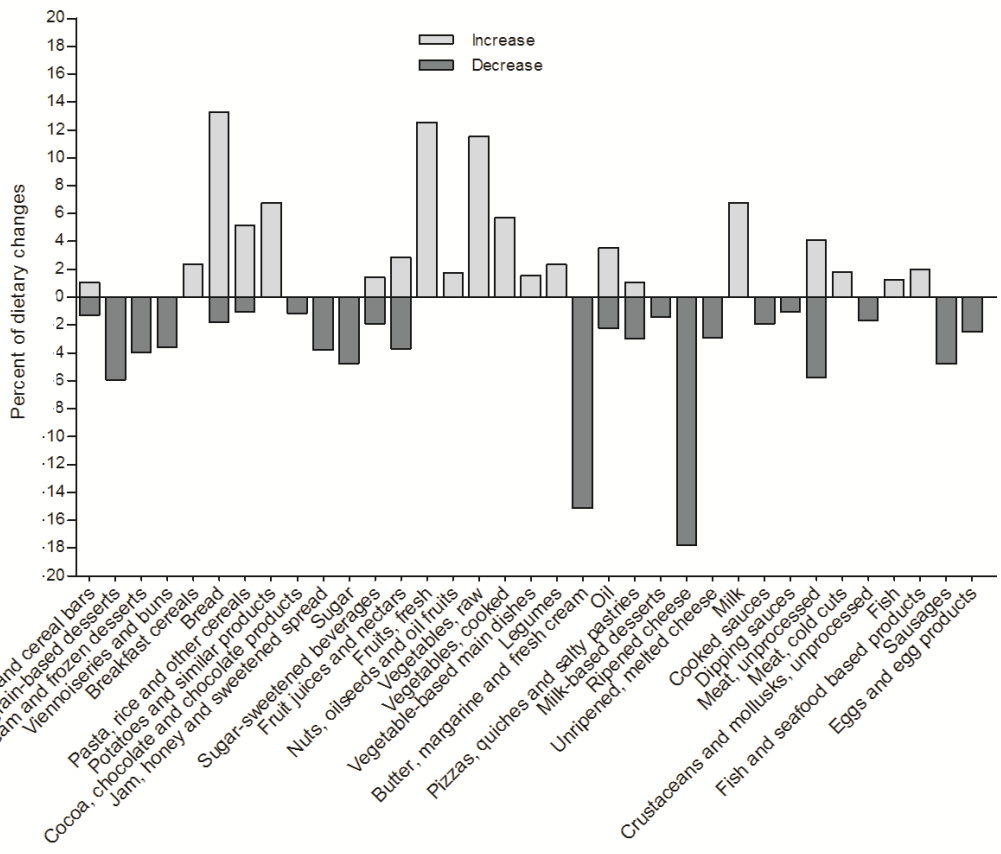
Cette partie présente des résultats qui n'ont finalement pas été intégrés dans l'article soumis pour publication afin de le maintenir plus compact. Cependant, l'inclusion des résultats relatifs à la contribution des sous-groupes d'aliments à chaque type de modifications alimentaires paraissait pertinent dans le cadre de cette thèse.

Under type-1 dietary changes, food items belonging to the “Bread”, “Fruits, fresh”, and “Vegetables, raw” subgroups were the main contributors (12-13% each) to dietary changes with increases in the amounts consumed, whereas food items belonging to the “Butter, margarine and fresh cream” and “Ripened cheese” subgroups were the main contributors (15-18% each) to dietary changes involving a reduction in the amount consumed (panel A, **Supplementary Figure**).

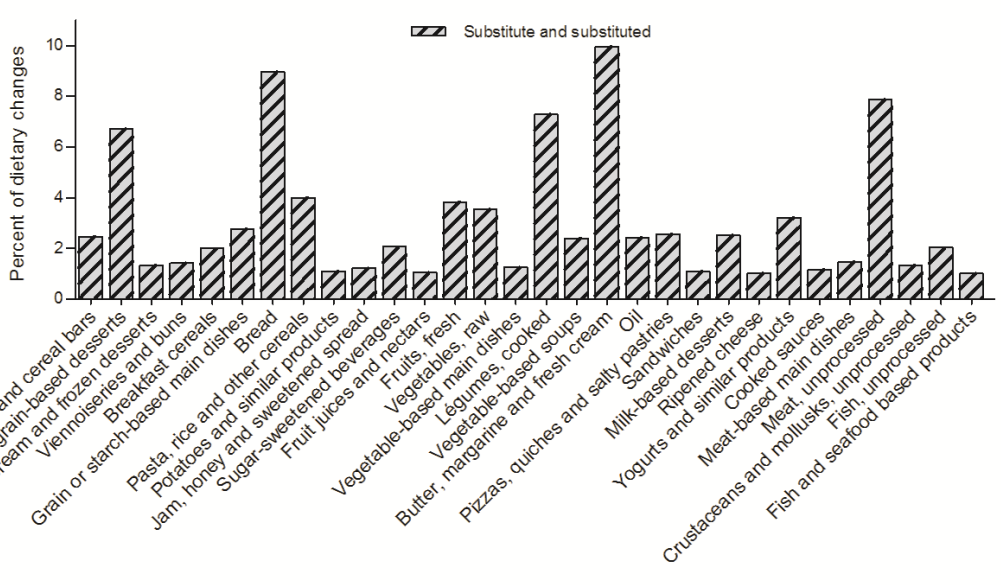
Under type-2 dietary changes, food items belonging to the “Butter, margarine and fresh cream”, “Bread”, “Meat, unprocessed” and “Vegetables, cooked” subgroups were the main contributors (7-10% of dietary changes) to dietary changes that consisted in substitutions (panel B, **Supplementary Figure**). Finally, a mean of 8.0 ± 1.3 foods (range: 4.0 – 10) which were not initially consumed by the women were added to their food repertoire.

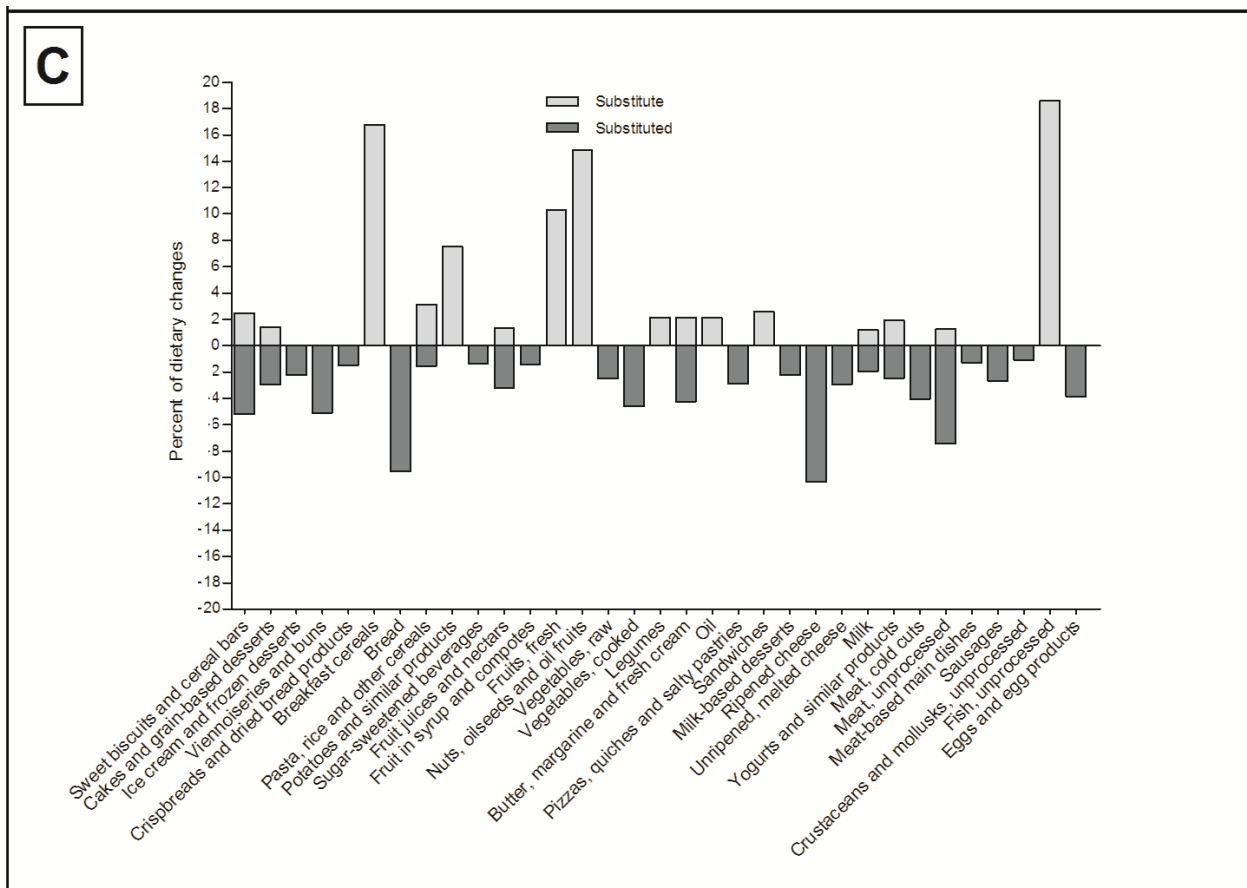
Under type-3 dietary changes, food items belonging to the “Fish, unprocessed”, “Breakfast cereals”, “Nuts, oilseeds and oil fruits”, and “Fruits, fresh” subgroups were the main contributors (range: 10-19%) to dietary changes that consisted in substitutions, whereas food items belonging to the “Ripened cheese”, “Bread” and “Meat, unprocessed” subgroups were the main contributors (7-10%) to dietary changes involving substituted items (panel C, **Supplementary Figure**). Finally, a mean of 3.6 ± 1.3 food subgroups (range: 1.0 – 7.0) were added to their food repertoire.

A



B





Supplementary Figure. Percentage of dietary changes when the food subgroup is involved in type-1 dietary changes (among dietary changes for which there was an increase (up, light gray) or a decrease (down, dark gray) in the amount consumed) (A), when the food subgroup was used for a substitution (substitute and substituted (light gray, hatched) with type-2 dietary changes (B) and as a substitute (up, light gray) or substituted (down, dark gray) with type-3 dietary changes (C). Food subgroups whose contribution to dietary changes was <1% were omitted.

2.3. Travail personnel n°3 : Une étude qualitative des préoccupations, des attitudes, des croyances et de la recherche d'informations concernant les problématiques en lien avec la nutrition chez les femmes enceintes en France

2.3.1. Résumé

Contexte : Dans le paradigme du « parcours de vie », la grossesse entraîne une prise de conscience des problématiques liées à la nutrition associée à une recherche accrue d'informations relatives à ce sujet. Cela est en faveur de l'adoption de comportements alimentaires plus sains. Cependant, en France, aucune étude qualitative n'a étudié de façon approfondie le rapport des femmes enceintes à l'alimentation et à leur recherche d'informations à ce sujet.

Objectif : L'objectif de cette étude qualitative était de mieux appréhender les déterminants du comportement alimentaire des femmes enceintes en France, en se concentrant sur leurs préoccupations, leurs attitudes, leurs croyances concernant la nutrition et l'alimentation et leurs pratiques en matière de recherche d'informations.

Méthodes : Pour ce faire, sept groupes de discussion, regroupant un total de 40 femmes enceintes, ont été conduits en France, à Paris (n = 27) et à Aix-en-Provence (n = 13). Une approche inductive thématique, adaptée de la théorie ancrée (« *grounded theory* »), a été utilisée pour l'analyse des données recueillies. Deux thèmes principaux ont ainsi été identifiés : le comportement alimentaire pendant la grossesse et le comportement quant à l'obtention d'informations relatives à la nutrition et l'alimentation.

Résultats : Le thème relatif au comportement alimentaire a été divisé en quatre sous-thèmes selon la théorie de l'attribution. En effet, trois sous-thèmes portaient sur des causes externes qui affectaient le comportement alimentaire des femmes enceintes : les restrictions alimentaires, les modifications physiologiques liées à la grossesse, et la prise de poids. Ces trois causes provoquaient une frustration et un sentiment de perte de contrôle chez les femmes enceintes. À l'inverse, l'adoption de pratiques alimentaires plus saines apparaissait comme une cause interne pour les femmes enceintes. Cela contribuait à leur épanouissement et aboutissait à une reprise de contrôle sur le bien-être et la santé de leur bébé et d'elle-même, mais aussi sur la gestion de leur prise de

poids. Globalement, les femmes enceintes portaient une attention plus importante aux informations concernant l'alimentation et la nutrition qu'elles obtenaient par les professionnels de santé, leur environnement social et les médias. Ces informations étaient absorbées de manière passive mais aussi recherchées de manière active. Cependant, la plupart de ces informations était perçue comme contradictoire, ce qui aboutissait à une cacophonie informationnelle.

Conclusion : La grossesse est accompagnée d'une prise de conscience sur les problématiques liées à la nutrition et à l'alimentation, se manifestant par des modifications du comportement alimentaire en raison de causes à la fois externes et interne. Cependant, les contradictions existant entre et au sein même des différentes sources d'informations créent une cacophonie qui complique l'adoption de pratiques alimentaires plus saines.

Valorisation : Ce travail a fait l'objet d'un article publié dans BMC Pregnancy and Childbirth (volume 16) le 12 octobre 2016.

Messages-clés

- En France, une prise de conscience sur les problématiques liées à la nutrition et à l'alimentation est observée pendant la grossesse.
- Le comportement alimentaire des femmes enceintes est affecté par des causes externes, perçues comme difficilement contrôlables.
- Les femmes enceintes reprennent le contrôle sur leur alimentation en adoptant des pratiques alimentaires plus saines avec pour principales motivations de contribuer au bien-être et à la santé de leur enfant mais aussi aux leurs.
- Les femmes enceintes recherchent activement des informations relatives à la nutrition et l'alimentation. Ces dernières étant contradictoires entre et au sein des différentes sources, il en résulte une cacophonie informationnelle.
- Une communication positive et harmonisée des informations relatives à la nutrition doit être faite pendant la grossesse pour accompagner les femmes enceintes dans leur volonté d'adopter des pratiques alimentaires plus saines.

2.3.2. Article (publié) : Concerns, attitudes, beliefs and information seeking practices with respect to nutrition-related issues: a qualitative study in French pregnant women

Cette partie présente l'article intitulé « *Concerns, attitudes, beliefs and information seeking practices with respect to nutrition-related issues: a qualitative study in French pregnant women* » sous sa forme publiée en date du 9 mars 2016, dans le volume 16 de BMC Pregnancy and ChildBirth.

Cet article a été co-écrit avec Jean-François Huneau, Gaëlle Le Goff, Eric O. Verger, François Mariotti et Patricia Gurviez.

RESEARCH ARTICLE

Open Access



Concerns, attitudes, beliefs and information seeking practices with respect to nutrition-related issues: a qualitative study in French pregnant women

Clélia M. Bianchi¹, Jean-François Huneau¹, Gaëlle Le Goff², Eric O. Verger³, François Mariotti^{1*} and Patricia Gurviez²

Abstract

Background: From a life course perspective, pregnancy leads to a rise in nutrition awareness and an increase in information flow in favour of adopting healthier eating behaviours. This qualitative study was designed to better understand the determinants of eating behaviours in French pregnant women by focusing on their concerns, attitudes and beliefs and their nutrition-related information seeking practices.

Methods: Seven focus groups were conducted, involving a total of 40 French pregnant women. An inductive thematic approach, adapted from the grounded theory, was adopted to analyse the data. Two major themes were identified: eating behaviour and nutrition-related information behaviour.

Results: The eating behaviour theme was divided into four sub-themes using the attribution theory. Three external causes affected the eating behaviour of pregnant women (food restrictions, physiological changes and weight gain), and led to frustration and a perceived loss of control. By contrast the adoption of a healthier diet was perceived as internal by pregnant women, and resulted in self-fulfilment and empowerment regarding the health and the well-being of their baby and themselves, and their weight gain management. Greater attention was paid to nutrition-related information obtained from healthcare providers, the social environment and the mass media. Information was passively absorbed or actively sought by pregnant women, but most was perceived as contradictory, which led to confusion.

Conclusion: Pregnancy is accompanied by a rise in nutrition awareness, substantiated by eating behaviour modifications due to external and internal causes. However, conflicts between and within information sources result in confusion that can limit the adoption of healthier eating behaviour.

Keywords: Pregnancy, Maternal nutrition, Qualitative methods, Eating behaviour, Dietary modifications, Information behaviour

Background

According to the life course perspective, there are critical periods in an individual's life, related to nutrition and health behaviours, that may cause specific and lasting changes to lifestyle trajectories [1, 2]. These trajectories, modelled across life by an aggregation of cultural,

contextual and social factors, remain quite stable and difficult to modify, except during some transitional periods [3]. Pregnancy represents a 'transition' or 'turning point' in a woman's life when biological, physiological, social and emotional changes are experienced [1, 2, 4]. Therefore, during the periconceptional period, women may become keener to engage in global and nutrition-related healthier behaviours which might be sustained over time and positively affect both their future health and that of their family. Within the framework of the life course perspective, previous studies described a rise in

* Correspondence: mariotti@agroparistech.fr

¹UMR Physiologie de la Nutrition et du Comportement Alimentaire, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 16, rue Claude Bernard, 75005 Paris, France

Full list of author information is available at the end of the article



nutrition awareness during the periconceptional period [5, 6]. The rise in nutrition awareness also exists in second-time pregnant women but is less intense, because the healthier dietary patterns they adopted during their first pregnancy have at least partially been integrated in their food habits [6]. The acquisition of information is a crucial step when adopting healthier behaviour [7]. Greater nutrition awareness is accompanied by an increase in nutrition-related information seeking behaviour [8, 9]. Information can be obtained from healthcare professionals, by benefiting from other people's experiences in their social environment or via the media [8]. Healthcare providers are most likely to offer a good response to pregnant women seeking nutrition-related information, but the quality of antenatal dietary information varies markedly, depending on the professional's experience and time [10], so pregnant women often seek for, and find, information by themselves [8, 11]. Understanding how behaviour towards nutrition-related information affects the eating behaviour of pregnant women remains critical. Because of growing evidence that adequate maternal nutrition is critical to the health of both the mother and her offspring [12–16] and may even impact that of the child's in the future [17–21], eating behaviours during pregnancy have recently been described in the nutrition research literature using qualitative methods. It nevertheless remains an under-investigated area. Until now, most qualitative studies focused on pregnant women's weight gain [4, 22–27], especially among overweight and obese women [22, 23, 26, 27]. Their results confirmed the rise in nutrition awareness that occurs during pregnancy to be a healthy mother with limited weight gain and a healthy baby. Pregnant women adopted a healthier diet by substituting healthier options, planning their meals ahead [22], eating more fruits and vegetables, complying with dietary guidelines [24], and eating fewer unhealthy foods [23, 24]. Yet this positive rise in nutrition awareness is limited by confused feelings regarding the precise issues that nutrition needs to tackle during pregnancy. Pregnant women perceive a fragmentation between their “self” and “their pregnancy” which influences the control and acceptability of gestational weight gain [25]. They feel stigmatised by healthcare providers regarding their weight gain [26] and constantly need to justify their behaviour [25]. In this context, issues related to weight gain may outweigh other nutrition-related concerns. A recent qualitative study on the dietary behaviours of Swedish pregnant women showed that nutrition-related issues could be associated with negative feelings such as fear, guilt and uncertainty [11]. Finally, there is still a paucity of data on how pregnant women perceive their control of eating behaviour and how the combination of all nutrition-

related issues might shape the trajectories followed by all pregnant women (not restricted to obese or overweight women) towards healthier eating behaviour during pregnancy.

The main objective of this exploratory study was to better understand the determinants of eating behaviours in French pregnant women by focusing on their concerns, attitudes and beliefs and their nutrition-related information seeking practices.

Methods

Study design

This paper reports on data collected during a qualitative study designed to investigate the nutrition concerns, beliefs and attitudes of French pregnant women, their nutrition-related information seeking behaviour and their need to benefit from tailored dietary advice during pregnancy. Focus groups were used to collect these data. The conduct and reporting of this study complied with the guidelines outlined in the consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ) [28]; all details are provided in Additional file 1.

Recruitment of participants

We conducted seven focus group sessions that involved a total of 40 French pregnant women: five sessions in Paris (Ile-de-France, France; $n=27$) and two in Aix-en-Provence (Provence Alpes Côte d'Azur, France; $n=13$). The criteria for eligibility required that women should be pregnant, French-speaking, had not developed gestational diabetes and were not experiencing a multiple pregnancy. Because the objective of this study was to elicit verbal interactions on the subject of diet and nutrition between pregnant women from various familial, social and dietary backgrounds, each session involved pregnant women whose pre-pregnancy body mass index (BMI), parity and socio-occupational status all differed. The characteristics of all the participants are shown in Table 1.

Data collection

Each 120-min session was video-recorded and conducted according to standard procedures for focus groups [29]. The first and last authors (CB and PG) designed an interview guide that included the key topics to be investigated after a literature review and consultation with the project team. The guide focused on three main topics: (1) concerns, beliefs and attitudes towards diet and nutrition during pregnancy, (2) nutrition-related information seeking behaviour and (3) need to benefit from tailored dietary advice. Only data regarding topics (1) and (2) are considered in this study. A summary of the key questions of the topics (1) and (2) in the interview guide is presented in Table 2. All the questions were open-ended. The first author (CB) was the moderator who led all the sessions.

Table 1 Characteristics of participants by region of recruitment

	Aix-en-Provence (n = 13)	Paris (n = 27)	Total (n = 40)
Age ^a (years)	31.9 ± 5.5	29.7 ± 3.4	30.5 ± 4.2
Pre-pregnancy BMI ^a (kg/m ²)	21.8 ± 3.0	22.5 ± 3.7	22.2 ± 3.4
Trimester of pregnancy ^b			
1 st	15.4 % (2)	11.1 % (3)	12.5 % (5)
2 nd	23.1 % (3)	63.0 % (17)	50.0 % (20)
3 rd	61.5 % (8)	25.9 % (7)	37.5 % (15)
Primiparas ^b	46.2 % (6)	51.9 % (14)	50.0 % (20)
Household income ^b (€ per month)			
<2000	23.1 % (3)	11.1 % (3)	15.0 % (6)
2000–4000	38.5 % (5)	55.6 % (15)	50.0 % (20)
>4000	30.8 % (4)	22.2 % (6)	25.0 % (10)
Don't wish to answer	7.7 % (1)	11.1 % (3)	10.0 % (4)
Had previously followed a diet ^b			
Never	30.8 % (4)	51.9 % (14)	45.0 % (18)
Once	30.8 % (4)	11.1 % (3)	17.5 % (7)
Several times	38.5 % (5)	37.0 % (10)	37.5 % (15)

^aAll values are mean ± SD

^bAll values are percentages followed by the corresponding number of participants between brackets

An assistant moderator attended each session to assist with note taking, time management and video-recording, as well as dealing with issues such as non-verbal interactions between the participants. Participants received an incentive payment of €40 after completion of the study. Data collection was ensured by the first author between March and June 2015.

Data analysis

All focus group discussions were transcribed in full by the moderator. As no previous study had been performed on the eating behaviours of French pregnant women, we did

Table 2 Key questions in the interview guide

Summary of key questions

Topic 1 : Concerns, beliefs and attitudes towards diet and nutrition during pregnancy

If you heard the phrase "eating while pregnant", what would be the first thing you would think of?

Have you in practice changed in your food habits since you became pregnant?

What do you think about the well-known saying "eating for two when you are pregnant"?

What do you think about food restrictions during pregnancy?

Topic 2 : Nutrition-related information seeking behaviour

Where did you obtain all your nutrition-related information?

Among the information sources you have quoted, which one appears to be most relevant?

Among all information sources you have quoted, which one appears to be the most reliable? Why do you think it is the most reliable?

On the other hand, which one appears to be the least reliable? Why do you think it is the least reliable?

Do you look for nutrition-related information yourself? What type of nutrition-related information are you looking for?

not declare any pre-determined theory before data collection. An inductive thematic approach, adapted from the grounded theory, was therefore implemented to analyse the data. This approach involves familiarisation with the data, an open-coding process and data interpretation in themes derived from identified codes [30, 31]. The transcripts were double-coded independently by the same two researchers (CB and GLG) using Nvivo 11 Pro for Windows (QSR International Pty Ltd, Victoria, Australia). Discrepancies between the two researchers regarding the coded categories were identified through the software and resolved through discussion; the final codebook was then defined. The coded data were then grouped in two major themes and their sub-themes (Table 3). The first theme related to the eating behaviour of pregnant women was analysed using the attribution theory. Identified sub-themes were defined whether their causes were attributed to an outside event or person (external) or to themselves (internal) by the pregnant women [32]. The second theme concerned nutrition-related information seeking behaviour and was divided into three sub-themes: the two aspects of information behaviour (the passive absorption of information and active information seeking) and the selection of information to integrate in their eating behaviour [33]. Each quotation illustrating the themes and sub-themes was identified with the participant's number followed by the quotation number, and these are presented in French in Additional file 2. Characteristics of each participant according to her number are presented in Additional file 3.

Results

Eating behaviour of pregnant women

1. External attribution: foods changing from being usual to dangerous

The "impressive and frustrating list of forbidden foods"

For food safety reasons, the consumption of some foods is strongly discouraged during pregnancy. Most participants reported that the healthcare provider monitoring their pregnancy provided them with "an impressive list of forbidden foods".

"My gynaecologist gave me a list, telling me all the different food I couldn't eat [...]. She told me: "You must adhere strictly to the instructions written on this list, stick it on your fridge and check everything that goes in and out!" (P31-1)

Both the lack of explanations, and the quantity and diversity of the food items

Table 3 Themes and subthemes identified

Themes	Sub-themes
<i>Eating behaviour of pregnant women</i>	External attribution: <ol style="list-style-type: none"> 1. Foods changing from being usual to dangerous <ul style="list-style-type: none"> - The "impressive and frustrating list of forbidden foods" - After frustration come anxiety, fear and then guilt - Norms versus personal practices 2. Physiological changes impacting food intakes <ul style="list-style-type: none"> - Pregnancy pains that restrict women's food choices - Pregnancy-related physiological changes that modify food choices 3. Weight gain <ul style="list-style-type: none"> - Losing control over body weight - External surveillance of weight gain - Reassuring themselves Internal attribution: <ol style="list-style-type: none"> 4. The empowerment endeavour: building a healthier diet for mothers and their babies <ul style="list-style-type: none"> - Strategies to achieve a healthier diet - Maintaining some food indulgences - Setting personal goals to internalise weight gain - Contributing to their own and their baby's health and well-being : the beginning of motherhood
<i>Nutrition-related information behaviour</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Passive absorption of information <ul style="list-style-type: none"> - From healthcare providers - From their social environment - From the mass media - Difficult cross-checking of information from all sources 2. Active information seeking behaviour <ul style="list-style-type: none"> - Benefiting from the experiences of people in their social environment - Ambiguous use of the Internet - The ultimate step: asking their healthcare provider for guidance 3. Translating information into eating behaviour

usually eaten in France that were included on this list, resulted in the development of considerable frustration among the participants who wanted to follow these guidelines, because they had a major effect on their daily dietary habits.

During social events, as well as being frustrated, some participants revealed that they felt excluded because they could not eat the same things as everyone else. In the French context, where eating is closely linked to sharing, this issue was problematic.

"During my last pregnancy, I was quite frustrated in Christmas because I couldn't eat smoked salmon like everyone else around me." (P62-2)

After frustration come anxiety, fear and then guilt

The discourse of our pregnant women also highlighted their anxieties and fears regarding food consumption. The list of inadvisable items could not be exhaustive and specific. They became worried about eating meat that might not have been cooked enough, a cheese they had not identified as being potentially "forbidden", or raw vegetables that had not been washed thoroughly enough.

"I have a question: I know goat's cheese is not allowed, but for example if it is cooked is it okay then?"

"For example, goat cheese logs that are pasteurised, no worries." (P53/P56-3)

We identified three sources for this anxiety. First and foremost, they were anxious that risky eating behaviour might affect their baby's health which would mean that they were not a "good" mother. Furthermore, the risks were unclear because they could not be well identified and evaluated. Lastly, participants felt they were sometimes being judged by their relatives regarding their food consumption. People in their social environment had heard about foods whose consumption is not recommended during pregnancy, so they questioned them, thus exacerbating their guilt.

"I think to myself that I would like to eat that, because the main aim is to have a healthy baby anyway, [...] When people say, "Ah! But why are you eating that?", I feel guilty. [...] But I am being careful; if I have any doubts, I don't eat it." (P22-4)

Norms versus personal practices

A great majority of our participants were aware of these norms. They might allow themselves

some deviance from these strong and confusing norms. However, each deviance needed to be justified, in order to cope with the guilt it induced of not being a “good” mother. Participants mostly justified any deviances by mentioning their healthcare providers (“My gynaecologist told me that eating sushi was all right.” (P75-5)), their usual and general compliance with these norms, or their past experiences (“In the end, there were no effects on many other pregnancies.” (P33-6)), particularly in multiparas.

2. External attribution: Physiological changes impacting food intakes

Our participants reported many physiological changes that impacted their food choices, resulting in modifications to their pre-pregnancy diet. These physiological changes led to a variety of constraints affecting their daily life, including their food choices. They were perceived as “external” because they were an inherent part of pregnancy, not due to their personal will.

Pregnancy pains that restrict women’s food choices

On the one hand, when nausea, gastroesophageal reflux, loss of appetite or food aversions due to an increased sensitivity to odours were experienced by participants, they were perceived as pathological situations that were difficult to manage in their daily life and restricted their food choices. They could be referred to as “pregnancy pains”. All participants had experienced at least one of these negative physiological changes.

“I always feel sick, due to foods, or smells, or other things like that, it’s horrible! [...] There are some things that disgust me, such as my daughter’s favourite cheese; when I give her some, I could cry, it’s so disgusting!” (P31-7)

Pregnancy-related physiological changes that modify food choices

On the other hand, enhanced sensations, changes to food preferences or food cravings were perceived as non-pathological situations that formed part of their daily experience of pregnancy and caused changes to their food choices. Food cravings were very common among participants. They mainly concerned sweet products or very specific foods that differed from the women’s

usual diets, and usually had to be satisfied as soon as possible.

“I had some weird desires, such as spring rolls and vanilla dessert [...] So for a while I ate a lot of spring rolls and vanilla desserts, even though I had not been a particular fan before.” (P24-8)

Finally, the participants considered these changes to be normal because they were pregnancy-related, so even if they did affect their food choices, they accepted them as a response of their body to pregnancy.

“But I think whatever we do, there are pains that we’ll always have.” (P26-9)

3. External attribution: Weight gain

Pregnant women in our study claimed that weight gain is a “normal” process that is inevitable during pregnancy, the only time in their lives when they could put on weight. It represented a non-pathological, pregnancy-related physiological change in the same way as nausea or food cravings, except for its visible and quantifiable aspect. As a physiological change, they perceived it as “external” because it was beyond their own will.

Losing control over body weight

Participants revealed that they felt they were losing control over their weight. They experienced weight variations more than usual. The expected ideal monthly weight gain was far from what the participants actually experienced. They attributed weight gain to a quantifiable but not easily predictable response of their body to pregnancy.

“It’s difficult when you are pregnant [to manage your weight gain]: the body is in command and I really feel like I lost control...” (P16-10)

If they did not put enough on weight, they worried about having an undernourished child with a low birth weight. Putting on weight during pregnancy was perceived as “normal”, so that a low weight gain could be seen as an absence of the most visible and well-known characteristic of pregnant women.

“[...] I’ve only put on one kilo since I have been pregnant! [...] People around me are worried, because a pregnant woman is supposed to put on weight. [...]”

But then the doctors reassured me. [...] However, it can be disturbing, because unconsciously..." (P53-11)

However, if they put on weight too much, they were worried about keeping it after the birth. Multiparas who had experienced excessive gestational weight gain during previous pregnancies tended to be more stressed by weight gain than primiparas, because of the problem of going on a postpartum diet. However, neither primiparas nor multiparas wanted to deprive themselves or their child for reasons of appearance.

"I'm also trying to be careful, because losing weight afterwards is not at all easy. During my previous pregnancies, I gained nineteen and seventeen kilos. But that's the way it goes, we can't starve either!" (P62-12)

External surveillance of weight gain

In France, pregnant women benefit from a monthly visit to a healthcare provider. At each monthly appointment, they are weighed by the gynaecologist or midwife, who will judge whether their weight gain is appropriate. If their weight gain is considered to be more than expected from the previous appointment, healthcare providers clearly advise them to eat less.

"Even if you don't want to check it yourself, the gynaecologist will weigh you every month!" (P64-13)

According to the participants, this monthly check could be stressful, because of the gap between the external controllability they perceived on their weight gain and the internal controllability the healthcare provider attributed to it. From a health perspective, they knew that adequate weight gain is critical to limit adverse pregnancy outcomes, such as gestational diabetes mellitus or birth complications, and to optimise foetal growth. Nevertheless, the reaction of healthcare providers to excessive weight gain could be very guilt-inducing and traumatic for the women.

"[For my first pregnancy] on the day of birth, I was scolded, and the doctor called me a big fat cow." (P25-14)

Reassuring themselves

Most of the pregnant women tried to reassure themselves and justify their weight gain by following the traditional belief that whatever their

weight, and contrary to what they had been told, there was no clear relationship between maternal weight gain and the baby's weight at birth.

According to the participants, the foetus drew on its mother's reserves to satisfy its needs.

"But the baby's weight isn't linked to your weight gain." "No, the weight we gain doesn't mean anything." (P41/P42-15)

4. Internal attribution: The empowerment endeavour: building a healthier diet for mothers and their babies

Strategies to achieve a healthier diet

All participants stated that they were more aware of nutrition during pregnancy, and identified pregnancy as a period during which they should "eat more healthily than before" (P15-16). Most participants said they had an increased appetite and they had been eating more since the start of their pregnancy. However, although they agreed they were eating more than usual, above all they wanted to eat better and not to excess. "Eating for two" was far from the participants' perceptions of their pregnancy, which they tended to attribute to old misconceptions, and this had turned into "Eating for two in quality but not in quantity". Three categories could be identified regarding the adoption of healthier eating behaviour: the nutrient adequacy of the diet, the dietary planning and the origins of their food (Table 4). The degree of application of these strategies varied among participants. Even those who said they were not very interested in diet and nutrition made some changes to their usual diets. While primiparas might report an unhealthy pre-pregnancy diet, most multiparas explained that the food habits of their first pregnancies had been partly maintained. Dietary supplements were not favoured in order to consume more vitamins and minerals; they gave priority to foods rich in vitamins and minerals.

Maintaining some food indulgences

Food indulgence was critical to participants' well-being as they felt sufficiently restricted already. They allowed themselves to eat some treats, such as sweet or chocolate products, because "chocolate is the only thing [they] can eat that [they] know is safe" (P12-27). They felt that being too frustrated would impact their well-being, which they associated with that of their baby.

Table 4 Classification of strategies to achieve a healthier diet during pregnancy

Strategies	Categories		
	Food origin	Nutrient adequacy of the diet	Dietary planning
Eating more fruits and vegetables: "I force myself to always include fruits and vegetables in my diet, at breakfast, lunch and dinner." (P31-17)		X	
Balancing the diet: "I really didn't care before! Now I am trying to eat more fish, more vegetables." (P55-18)		X	
Favouring foods known to be rich in specific vitamins and minerals: "I have added things to my diet that I did not eat much, such as lentils to obtain iron." (P33-19)		X	
Substituting unhealthy foods with healthier options: "Even if I continue to snack, I'll eat a dairy product, something more balanced, more sensible." (P42-20)		X	
Eating less sugar: "I have really backed off sugars because I was too addicted before." (P13-21)		X	
Eating three or four meals a day: "Before being pregnant, I was on one or even two meals a day and now I try to do three regular." (P24-22)			X
Favouring organic, local or farm foods: "As for meat, I always chose the best quality cuts from the butcher's anyway [...] and the same goes for vegetables. Now I'm more into buying directly from the producer [...] and finding more organic foods." (P11-23)	X		
Splitting food intakes: "I skip dessert at lunch-time, and then eat it at around three or four pm." (P33-24)		X	X
Avoiding processed products, above all ready-to-eat meals: "I buy fewer processed foods, or only the least processed items." (P67-25)	X	X	
Cooking more: "We also try to do more 'home-made' dishes, because then I know what has gone into them." (P41-26)	X	X	X

Setting personal goals to internalise weight gain

They felt powerless regarding weight gain, but they nevertheless set personal goals in order to limit it. So pregnancy meant not only "weight gain" but "weight gain management". Eating a healthier diet allowed them to attain these goals even if their appetite increased. This justified their weight gain and reduced their guilt.

"The cookies I dream about I never buy it not to break down, not to grow fat." (P31-28)

Contributing to their own and their baby's health and well-being: the beginning of motherhood

The ultimate aim of a pregnant woman is to give birth to a healthy baby. Adopting a healthier diet is one of the first actions they can take to achieve this. Our participants naturally wanted the best for their babies and they felt responsible for what they ate because they knew that "everything [they] eat the baby will eat with [them]" (P41-29). They sometimes allowed themselves to eat unhealthy foods, but then they felt guilty about feeding their baby in an unhealthy manner.

"For example, when I eat a fast food meal [...], I tell myself that it's not nice what I am doing to my baby

[...] It's crammed with additives, it's not even real food!" (P56-30)

Adopting healthier eating behaviour can positively impact the baby's health and well-being, and represents a first step into motherhood. Pregnant women start to act like a mother and take responsibility by controlling the baby's diet.

"But there are two of us now, you become less egocentric! [...] Because I can't control anything because she is growing alone, let's say that [diet] is the only thing I can manage. I can't interfere with the colour of her eyes or hair, but I share responsibility for her well-being." (P52-31)

Their own health was also an objective, because if an inadequate intake of nutrients could harm the baby, it could also lead to complications during delivery and afterwards. The self-fulfilment of our participants, and their well-being as women were crucial to their perception of being a "good mother".

"It's also important after the pregnancy, because you're a mum, you're a woman, you're a wife, you're professional and for me that's something that's super important. To be a fulfilled mum, I need to be a fulfilled woman; I think it starts from your diet, so I need to feel good in my body if I am to be fulfilled as a mum." (P74-32)

Nutrition-related information seeking behaviour

In the next section, we focus on the nutrition-related information that the women absorbed passively or sought actively, and specifically during pregnancy. Nutrition-related information sources can be divided into three categories: (1) healthcare providers, (2) the social environment and (3) the mass media.

1. Passive absorption of information

From healthcare providers

According to pregnant women involved in our study, their healthcare providers were mainly the gynaecologist and/or the midwife. The participants identified nutrition as a component of their babies' health and well-being, so they strongly trusted their healthcare providers who appeared to be the gold standard. However, professionals did not spend much time discussing nutrition-related issues. In most cases, they quickly referred to dietary restrictions during pregnancy, being focused mainly on the patient's weight gain. In the event of excessive weight gain, they might refer pregnant women to a dietician. Pregnant women benefited from very little information on the foods they should favour, and the advice was much more about negatives than positives.

"They don't all remember to tell us if we are suffering from a deficiency, or suggest that we should eat this or that!" (P52-33)

During their antenatal care, pregnant women often saw different healthcare providers, whose interest in and opinion on nutrition-related issues could vary. Conflicting information on nutrition-related issues led to incomprehension and irritation, and thus increased their anxiety.

"Among doctors, there are two sorts of stories: some say yes, others no. [...] my gynaecologist is against dietary supplements, but when I arrived at the maternity hospital, [the midwife] gave me a prescription [to take dietary supplements]. What am I expected to do?" (P53-34)

From their social environment

In their social environment, relatives very often advised participants about nutrition, based on their experience or on hearsay. Because "everyone has their own story" (P14-35) about

nutrition-related issues (without any scientific background), trying to cross-check this information also resulted in inconsistency.

"Friends and relatives talk about their own stories and they draw hasty conclusions. One person told me I should eat a yoghurt every day, otherwise [...] my child would not be able to deal with the sun!" (P32-36)

The social environment was not perceived as a reliable source of information, except for their mothers or those of others. Pregnant women were more receptive to the transmission of health or cooking habits from their mothers.

"I have learned from my mother what to do and how to cook." (P15-37)

From the mass media

Pregnant women are becoming more receptive to general information on food and nutrition gained from the mass media. More and more reports are broadcast on TV or published in the press on both the nutrition and safety aspects of the diet, and they often highlight the unhealthy aspects of products and processes used by food industries. Such information can create anxiety with respect to food. Although this information was not pregnancy-specific, participants felt more receptive towards it.

"I stopped watching TV shows because I began to feel that I couldn't eat anything at all! [...] Each time they come up with a new problem!" (P11-38)

Difficult cross-checking of information from all sources

Participants tried to deal with the information on nutrition-related issues they obtained from all these sources, to which they gave more or less credence. The inconsistencies they perceived within a source was heightened when they cross-checked information between different sources.

"Health professionals tell us specifically not to eat for two and to eat as usual. But our families and friends tell us to have second helpings because there are two of us. I experienced this again at the week-end." (P52-39)

In reaction to this confusion, most of them developed an information seeking behaviour so that they could achieve nutrition-related empowerment.

2. Active information seeking behaviour

We identified two types of nutrition-related information seeking behaviour: searching at any time to obtain general nutritional knowledge and searching specific information in response to a pregnancy-related problem or question. Multiparas tended to seek less general information, relying on their previous pregnancy experience. However, because “*every pregnancy is different*” (P42-40), they felt they had not benefited from or sought enough nutrition-related information during their previous pregnancy.

Benefiting from the experiences of people in their social environment

Nutrition-related information seeking behaviour was implemented during interpersonal exchanges with other mothers (especially their own mothers) or pregnant women in their social environment. However, their mother’s experiences were judged as being in the past, and the updating of information was questioned.

“I asked [my mother] lots of questions at the start. But each time, she told me that it had been a long ago for her [...] and at that time, it was much easier, pregnant women could eat whatever they wanted!” (P23-41)

Ambiguous use of the Internet

Nutrition-related seeking behaviour mostly concerned the mass media and particularly the Internet, but use of the latter tended to be ambiguous. On the one hand, it was the first idea in the participants’ minds because of its immediacy, continuous availability and the assurance of finding at least one answer to their question.

“On the web, you can find information straight away, when you want results they are immediate, you don’t need to wait for the next appointment with the midwife.” (P42-42)

However, they did not really trust this easily accessible information because of the lack of identification of its sources and the countless

and conflicting numbers of articles and forum discussions. Often, instead of answering to their questions, this heightened their confusion. However, they drew a distinction between generic and professional websites, which were considered to be trustworthy, because the authors could be identified.

“On the web, apart from really specialised websites, there are some sites when you don’t know what to believe.” (P42-43)

The ultimate step: asking their healthcare provider for guidance

When a specific health problem occurred, an internet search was considered as a first step, but the findings had to be confirmed by a healthcare provider.

“[...] it is necessary to check the information, either with a specialist or with someone else. The web cannot be the only source of information...” (P12-44)

Aside from health problems, they felt it was not appropriate to bother their midwives or gynaecologists with questions about nutrition.

3. Translating information into eating behaviour

This active search for information increased the confusion experienced by our participants. They were not satisfied with the information they received and sought, and needed to reaffirm their empowerment regarding their eating behaviour. Participants therefore used their common sense in order to filter information depending on the perceived reliability of both content and source, before applying it to their diet.

“You can talk about all the sources of information on diet during pregnancy [...] but in the end, it is up to you to make the right decisions!” (P53-45)

Furthermore, pregnant women in our study already had a basic knowledge of the components of a healthy diet. They were able to remobilise nutrition knowledge they had absorbed passively before pregnancy, and translate it into their eating behaviour.

“You already know it instinctively, you know that you should not eat too many fatty or sweet foods; you should be eating vegetables. We are aware of the basic ideas [of a healthy diet].” (P12-46)

Discussion

During this study, we were able to demonstrate a rise in nutrition awareness among French women during pregnancy, in line with what has been reported in other developed countries [4–6, 11, 24]. The novel finding of this study was the description of the entire process resulting in the adoption of a healthier diet by French pregnant women, highlighting the importance of their empowerment with respect to diet and nutrition (Fig. 1). These women saw adopting a healthier diet as a first step into motherhood, a means of starting to care for their baby before birth, and also as a way of regaining control over their diet and their body. Indeed, many elements that were out of their control restricted their food choices. This study also emphasised the fact that French pregnant women received heterogeneous and conflicting information on nutrition-related issues, which led them developing active information seeking behaviour. However, the perceived confusion between and within information sources jeopardised the adoption of a healthier diet for them and their baby.

In this population, nutrition awareness cannot be reduced to simply gaining knowledge about nutrition-related issues. It becomes “hot” or “active”, i.e. their latent cognition becomes more salient, they become more preoccupied by nutrition as a subject of “continuous

attention” and “deliberate supervision” [5]. Pregnant women translate their knowledge into behaviour and then make dietary modifications. These modifications may be more or less intense, depending on individual lifestyle trajectories. Indeed, there are women who will “continue the same way” [6], but in our study they represented a minority. As in other qualitative studies including normal-weight women, most of our participants could be characterised as “going all the way” or “taking the flexible way” [6] and experienced major shifts in their nutrition awareness. A quantitative study performed in a small group of French pregnant women had concluded to an increase in the consumption of fruits and vegetables and a reduction in sugar consumption when compared with the prenatal period [34], thus supporting our qualitative findings in French women. Moreover, even if all these modifications were not sustained during the postpartum period by multiparas, changes to eating behaviour during a first pregnancy were partly extended and transmitted to other members of the family. Pregnancy thus offers a window of opportunity to adopt healthier eating behaviours, which argues in favour of the life course perspective [1].

However, this increase in nutrition awareness does not simply relate to healthy eating. This period of life is

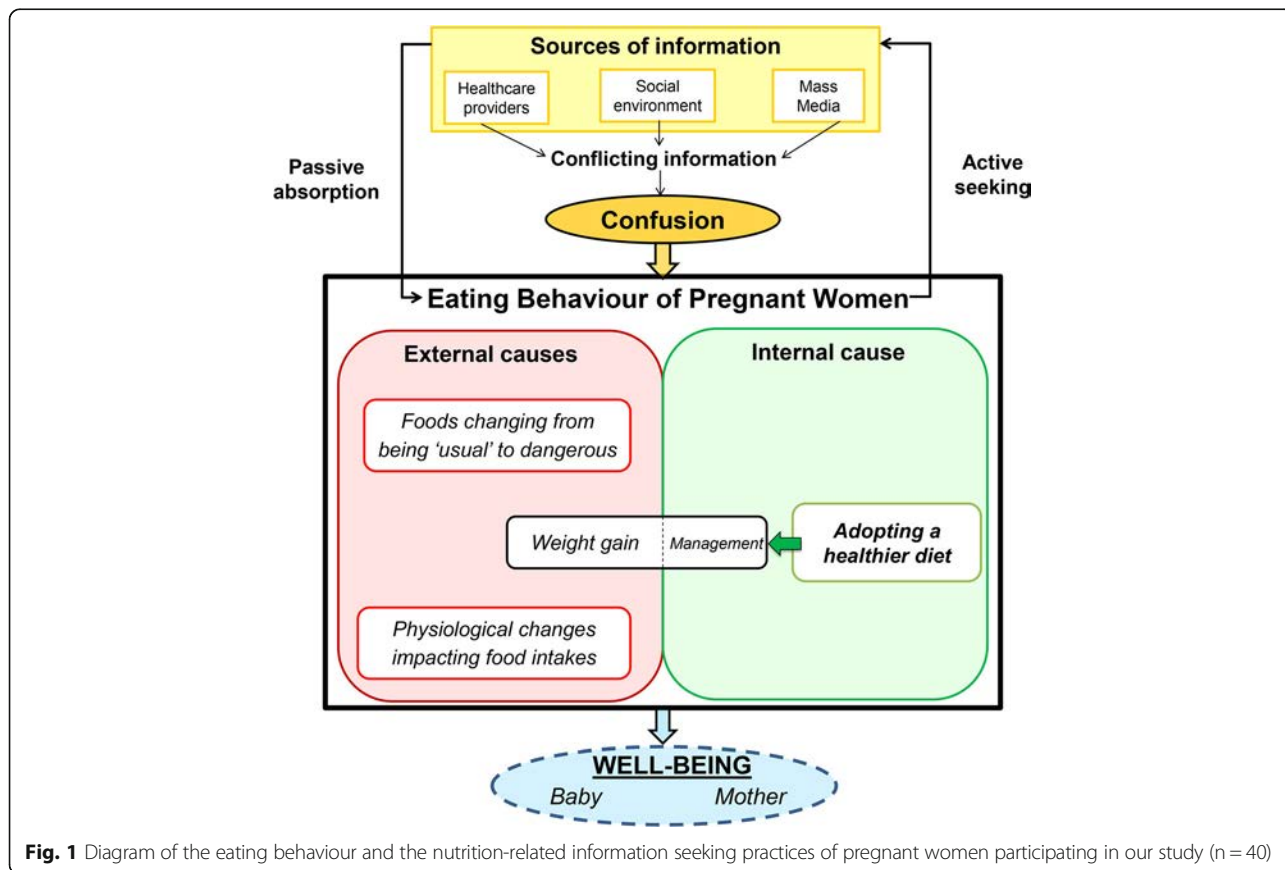


Fig. 1 Diagram of the eating behaviour and the nutrition-related information seeking practices of pregnant women participating in our study (n = 40)

marked by nutrition-related tensions, the causal attribution of which is external from pregnant women. Because of pregnancy-related physiological changes [35, 36] and food restrictions [37, 38] women need to reconsider their diet in early pregnancy. Although pregnancy-related physiological changes are out of a woman's control, they are well accepted because they are perceived as a typical feature of pregnancy [35]. By contrast, the norms concerning food restrictions are numerous [39] and perceived as intrusive and oppressive. In France, where food has a strong cultural meaning, these restrictions concern foods that are very frequently consumed, such as cold cuts and cheeses [40], which can result in social exclusion and a negation of food preferences. There is considerable confusion with respect to these restrictions, which necessarily generates fear, as also demonstrated in a recent qualitative study performed in Swedish first-time pregnant women [11]. They do not know precisely which specific foods they cannot eat [11, 39] but they know that eating something "wrong" might be harmful to their babies [11]. More than just dietary norms, "forbidden" foods are a component of the nutrition-related "mothering norms" that were identified by Copelton et al. [41]. The sacrifice of food preferences represents one of the starting points of motherhood, and pregnant women will prefer to deprive themselves for a while rather than risking any harm to their baby and acting as a "bad" mother [41]. Nevertheless, most pregnant women allow themselves some transgressions in exceptional cases, but it appears they need to justify such deviances from a norm they know to cope with the guilt they will cause. Justification is intense and necessary for pregnant women in order to legitimise their eating behaviours when their deviance has questioned the ideal gestational environment they have built for their baby [25, 41].

Weight gain, like other pregnancy-related physiological changes, is inevitable during pregnancy [26]. Indeed, pregnancy could be perceived as a time to relax the rules related to weight gain that existed prior to pregnancy [25], but the external surveillance of weight gain by healthcare providers places pregnant women under pressure. Pregnant women feel judged on an issue they are finding difficult to handle and that should be "normal" during pregnancy. This also results in a justification process that refers either to biology (i.e. putting on weight is an uncontrollable bodily response to pregnancy) or to the denial of injury (i.e. weight gain is not associated with their baby's health) [41]. Finally, the eating behaviour of pregnant women can be marked by tensions and gradually slips out of control.

Pregnant women regain control over their eating behaviour by adopting strategies to achieve a healthier diet. Many other studies have reported these dietary

modifications in pregnancy, such as increasing the consumption of fruits and vegetables [24, 41, 42], complying with dietary guidelines [24], reducing the consumption of unhealthy foods [23, 24, 41], introducing healthier options, or planning their meals ahead [22]. In all studies, the health of both the baby and mother were reported as being the main objectives when adopting a healthier diet. Our findings revealed that an additional dimension, quickly mentioned in other studies [4, 6] but not deeply investigated, was operating in the behaviour of these women: the well-being. Introduced by Block et al., the "food well-being" paradigm, defined as a "positive psychological, physical, emotional and social relationship with food at both the individual and societal levels", provides a new dimension when considering food. While "food as health" is "paternalistic and normative" and made up of "restraints and restrictions", "food as well-being" is "holistic and integrative", "consumer oriented" and based on a "positive approach" [43]. Acting positively as a "good" mother of their own will, constitutes a re-appropriation of eating behaviour apart from external norms or uncontrollable situations. In this empowerment process, their behaviour is mainly baby-focused but it is also self-focused, because this makes weight gain management possible and acts positively on their well-being. Pregnant women want to follow a diet "which is good for their child or them as a mother" and "which is good for them as a woman" [44]. Fragmentation of the self between "me" and "my pregnancy" [25] or between "me as a woman" and "me as a mother" [44] seems to be the foundation for constructing an identity during pregnancy. Our findings showed that a reunification could exist through the adoption of a healthier eating behaviour, not the healthiest behaviour. Gradually, the guiltless idea is emerging that self-fulfilment and well-being as a woman is crucial to being first a "good expectant mother" and then a "good" mother.

It should be noted that the pregnant women in our study already knew a lot about general nutritional principles. Before their pregnancy, these women had heard public health messages about nutrition [45] but these were only applied to their diet in a limited manner. If women passively absorb this information before their pregnancy, all nutrition-related concerns that this physiological, social and emotional transition may trigger will place them in a more "active" position [6, 8]. Developing knowledge about nutrition should result in empowerment, but from the three types of information source identified during pregnancy (healthcare providers, the social environment and the media) [8], they found little reliable and pregnancy-focused information on nutrition-related issues. The gold standard represented by healthcare providers was somewhat tarnished when it came to questions on nutrition-related issues.

Healthcare providers tend to focus on “hard” health issues, with easily measurable effects and observed within a short period. Thus, restriction and surveillance tend to be stronger than support [46]. They lack the time, resources and training to advise pregnant women about nutrition [10, 26]. Consequently, nutrition-related information is scarce and may vary from one healthcare provider to another. Finally, pregnant women feel they should not bother them by asking for guidance on issues not related to “hard” health problems or laboratory deviations [11]. Healthcare providers remain tied to “food as health”. Disappointed by the advice they did or did not receive from healthcare providers on nutrition-related issues, pregnant women might seek for information by asking for guidance from their mothers or other veteran mothers in their social environment [8, 11, 42, 47], but this raised questions as to whether this information was up to date and thus reliable. Finally, active nutrition-related seeking behaviour was mainly implemented via the Internet, because of its ease of access, continuous availability and immediacy. Most of pregnant women in our study had searched at least once for nutrition-related information on the Internet, which, paradoxically was the most widely used source but not the most reliable, as was also found by other studies [8, 9, 11, 42]. Indeed, the quantity of information available via the Internet is considerable, but also conflicting and coming from unidentified sources [26, 48]. The nutrition-related information received and sought by pregnant women was mainly restrictive, frustrating, and above all contradictory within and between sources. This could lead to confusion, thus complicating the adoption of a healthier diet. Pregnant women would expect support for mitigating nutrition-related tensions.

Strengths and limitations

Our use of a holistic diet perspective to investigate the eating behaviour of pregnant women was the major strength of this study. By focusing not only on weight gain it was possible for us to describe eating behaviour during pregnancy as a whole. The weight gain perspective had previously been chosen for many qualitative studies designed to investigate nutrition-related issues during pregnancy, especially in the UK and US, where they were mainly performed in overweight or obese women [22, 23, 27, 42, 49]. In our sample, 75 % of the women had a normal weight before their pregnancy, similar to that reported among French women aged between 18 and 44 years (63–82 %) [50], so that other components of diet during pregnancy appeared to be of great importance for these women. In our study, the attribution theory [32] was useful to understand how nutrition-related issues are perceived by pregnant women and to reveal the problems they encounter in internalising them.

Regarding the method, our qualitative approach enabled us to collect deeper information rather than produce a quantitative survey. This was particularly relevant in our groups, where the women shared a major, visible and also very personal feature: their pregnancy. Furthermore, groups were organised in two different regions of France: in the countryside in the South and in Paris, which allowed us to gain access to populations with different ways of life and eating habits.

The focus group method chosen for this study could have been problematic. Our focus groups involved women at different stages of their pregnancy and of different parity. This choice was deliberate because it favoured interactions and the transmission of information between participants. However, groups that were homogeneous with respect to stages of pregnancy and parity could have been useful to investigate differences in nutrition awareness and perceptions of nutrition-related issues across trimesters of pregnancy or between primiparas and multiparas. Another limitation of this study may have been that the women who were recruited were informed about the main topic of discussions. This initial knowledge may have induced a recruitment bias, because the women who volunteered to take part in the discussion might have been more interested in nutrition-related issues than other pregnant women. However, the incentive we offered may have enabled a reduction in this bias.

Conclusions

In the life course perspective, pregnancy is a transition period that offers a window of opportunity for women to change towards healthier diets which can result in improving the health and well-being of both the mother and baby. Although we observed a rise in nutrition awareness during pregnancy among French women, we found that diet during pregnancy is restricted by elements that are out of the control of pregnant women. Women had received a great deal of information on nutrition during pregnancy, but had also developed active nutrition-related information seeking behaviour as a way of regaining control over their diet and building a healthier diet for them and their baby. However, the confusion they perceived clearly limited the adoption of a healthier diet.

Implications for practice

Positive dietary information is critical to dietary self-negotiation and empowerment. In France, dietary guidelines relative to antenatal care, that could be used as a basis for antenatal counselling by the gynaecologist or the midwife responsible for the follow-up of the pregnancy, are mostly based on food restrictions and weight gain surveillance [51]. It is necessary to take account of

nutrition-related tensions during pregnancy and to help pregnant women to relieve these by developing positive communication on a healthy diet, focused on the well-being of both the baby and mother. This could lead to the adoption and maintenance of a healthier diet because it will be positively internalised. Our pregnant women identified their healthcare providers as the most reliable source of information on nutrition-related issues, so these professionals could be the best vehicle to disseminate positive information on nutrition, without neglecting surveillance and monitoring. As gynaecologists and midwives do not have a specific nutrition background, they could collaborate with dieticians and advised pregnant women to meet with a dietician during individual or group sessions to receive nutrition counselling adapted to their pregnancy.

Implications for future research

Dietary modifications during pregnancy are not well characterised. A longitudinal study would be useful to evaluate food intakes of women during the specific period of their lives between preconception and birth. As reported in our study, multiparas generally seemed to have a healthier preconceptional diet than primiparas, so a comparison at this specific time between multiparas and primiparas would also be necessary to provide elements in favour of the life course perspective.

Furthermore, a randomised controlled trial would be useful to determine whether the provision of positive information (i.e. tailored dietary counselling provided by a dietician or by an adapted mHealth or eHealth program) on diet during pregnancy would impact the eating behaviour of pregnant women and result in mitigating nutrition-related tensions and improving nutrient intakes of pregnant women.

Additional files

Additional file 1: Details of the study relative to the research team and reflexivity, study design and analysis and findings according to the consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ) [28]. (DOCX 16 kb)

Additional file 2: Quotations in French (native language of participants) identified with the participants number followed by the number of the quotation as presented in the article. (DOCX 20 kb)

Additional file 3: Identification number, session, recruitment place, trimester of pregnancy and parity of each participant. (DOCX 15 kb)

Abbreviations

BMI: Body mass index; UK: United Kingdom; US: United States of America

Acknowledgements

The authors gratefully thank the "L'Etoile" maternity unit in Aix-en-Provence for allowing them to conduct part of the study on their premises. The authors also thank all the participants for sharing their time.

Funding

This study was carried out within the framework of the ECAP project (<http://alimentation-sante.org/aap2013-projet2-2/>) supported by a grant from the Fonds Français pour l'Alimentation et la Santé (FFAS: <http://alimentation-sante.org>). The funder providers were not involved in the study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Availability of data and materials

The datasets (video records of the focus group sessions and written transcripts) generated and analysed during the current study are not publicly available because they are confidential in order to protect the participants' anonymity. However, anonymised quotations from participants were included in the manuscript to support our findings.

Authors' contributions

CB and PG conceived the research. CB collected the data. CB, GLG and PG were involved in the analysis and interpretation of the findings. CB produced the initial draft of the paper and FM, EO, JFH, GLG and PG provided feedback and contributions to various sections. All authors critically reviewed and approved the final content.

Authors' information

Not applicable.

Competing interests

All authors declare that they have no competing interests.

Consent for publication

All participants' claims were anonymised. All participants consented for publication of the findings of this study through the informed consent they signed.

Ethics approval and consent to participate

The study was approved by the *Comité de Protection des Personnes Ile-de-France X* (Study NI-2016-03-01), a French Ethics Committee. Informed consent was obtained from all participants at the time of the focus group sessions.

Author details

¹UMR Physiologie de la Nutrition et du Comportement Alimentaire, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 16, rue Claude Bernard, 75005 Paris, France. ²UMR Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 1, avenue des Olympiades, 91300 Massy, France. ³IRD (Institut de Recherche pour le Développement), UMR NUTRIPASS IRD-UM-SupAgro, 34000 Montpellier, France.

Received: 9 June 2016 Accepted: 13 September 2016

Published online: 12 October 2016

References

- Herman DR, Taylor Baer M, Adams E, Cunningham-Sabo L, Duran N, Johnson DB, et al. Life Course Perspective: evidence for the role of nutrition. *Matern Child Health J.* 2014;18:450–61.
- Wethington E. An overview of the life course perspective: implications for health and nutrition. *J Nutr Educ Behav.* 2005;37:115–20.
- Wells NM, Lekies KS. Nature and the Life Course: Pathways from Childhood Nature Experiences to Adult Environmentalism. *Child Youth Environ.* 2006;16:1–24.
- Devine CM, Bove CF, Olson CM. Continuity and change in women's weight orientations and lifestyle practices through pregnancy and the postpartum period: the influence of life course trajectories and transitional events. *Soc Sci Med.* 2000;50:567–82.
- Szwajcer EM, Hiddink GJ, Maas L, Koelen M, van Woerkum C. Nutrition awareness before and throughout different trimesters in pregnancy: a quantitative study among Dutch women. *Fam Pract.* 2012;29 Suppl 1:i82–8.
- Szwajcer EM, Hiddink GJ, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition awareness and pregnancy: implications for the life course perspective. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2007;135:58–64.
- Lambert SD, Loisel CG. Health Information—Seeking Behavior. *Qual Health Res.* 2007;17:1006–19.

8. Szwajcer EM, Hiddink GJ, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition-related information-seeking behaviours before and throughout the course of pregnancy: consequences for nutrition communication. *Eur J Clin Nutr.* 2005;59 Suppl 1:S57–65.
9. Szwajcer EM, Hiddink GJ, Maas L, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition-related information-seeking behaviours of women trying to conceive and pregnant women: evidence for the life course perspective. *Fam Pract.* 2008;25 Suppl 1:i99–i104.
10. Lucas C, Charlton KE, Yeatman H. Nutrition advice during pregnancy: do women receive it and can health professionals provide it? *Matern Child Health J.* 2014;18:2465–78.
11. Wennberg AL, Lundqvist A, Högberg U, Sandström H, Hamberg K. Women's experiences of dietary advice and dietary changes during pregnancy. *Midwifery.* 2013;29:1027–34.
12. Abu-Saad K, Fraser D. Maternal nutrition and birth outcomes. *Epidemiol Rev.* 2010;32:5–25.
13. Martin CL, Sotres-Alvarez D, Siega-Riz AM. Maternal Dietary Patterns during the Second Trimester Are Associated with Preterm Birth. *J Nutr.* 2015;145:1857–64.
14. Moore VM, Davies MJ, Willson KJ, Worsley A, Robinson JS. Dietary composition of pregnant women is related to size of the baby at birth. *J Nutr.* 2004;134:1820–6.
15. Morales E, Rodriguez A, Valvi D, Iñiguez C, Esplugues A, Vioque J, et al. Deficit of vitamin D in pregnancy and growth and overweight in the offspring. *Int J Obes (Lond).* 2015;39:61–8.
16. Schoenaker DAJM, Mishra GD, Callaway LK, Soedamah-Muthu SS. The Role of Energy, Nutrients, Foods, and Dietary Patterns in the Development of Gestational Diabetes Mellitus: A Systematic Review of Observational Studies. *Diabetes Care.* 2016;39:16–23.
17. Barker DJP. The developmental origins of adult disease. *Eur J Epidemiol.* 2003;18:733–6.
18. Christian P, Stewart CP. Maternal Micronutrient Deficiency, Fetal Development, and the Risk of Chronic Disease. *J Nutr.* 2010;140:437–45.
19. Muhlhauser S, Ong ZY. The Fetal Origins of Obesity: Early Origins of Altered Food Intake. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets.* 2011;11:189–97.
20. Skilton MR, Mikkilä V, Würtz P, Ala-Korpela M, Sim KA, Soininen P, et al. Fetal growth, omega-3 (n-3) fatty acids, and progression of subclinical atherosclerosis: preventing fetal origins of disease? The Cardiovascular Risk in Young Finns Study. *Am J Clin Nutr.* 2013;97:58–65.
21. Symonds ME, Mendez MA, Meltzer HM, Koletzko B, Godfrey K, Forsyth S, et al. Early life nutritional programming of obesity: mother-child cohort studies. *Ann Nutr Metab.* 2013;62:137–45.
22. Goodrich K, Cregger M, Wilcox S, Liu J. A qualitative study of factors affecting pregnancy weight gain in African American women. *Matern Child Health J.* 2013;17:432–40.
23. Kominiares MA, Gay F, Peacock N. Obesity in Pregnancy: A Qualitative Approach to Inform an Intervention for Patients and Providers. *Matern Child Health J.* 2015;19(8):1698–712.
24. Whitaker KM, Wilcox S, Liu J, Blair SN, Pate RR. African American and White women's perceptions of weight gain, physical activity, and nutrition during pregnancy. *Midwifery.* 2016;34:211–20.
25. Padmanabhan U, Summerbell CD, Heslehurst N. A qualitative study exploring pregnant women's weight-related attitudes and beliefs in UK: the BLOOM study. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2015;15:99.
26. Johnson M, Campbell F, Messina J, Preston L, Buckley Woods H, Goyder E. Weight management during pregnancy: a systematic review of qualitative evidence. *Midwifery.* 2013;29:1287–96.
27. Chang M-W, Nitzke S, Guilford E, Adair CH, Hazard DL. Motivators and barriers to healthful eating and physical activity among low-income overweight and obese mothers. *J Am Diet Assoc.* 2008;108:1023–8.
28. Tong A, Sainsbury P, Craig J. Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): a 32-item checklist for interviews and focus groups. *Int J Qual Health Care.* 2007;19:349–57.
29. Krueger RA, Casey MA. *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research.* 5th Revised edition. Thousand Oaks, California: SAGE Publications Inc; 2014.
30. Braun V, Clarke V. Using thematic analysis in psychology. *Qual Res Psychol.* 2006;3:77–101.
31. Fade SA, Swift JA. Qualitative research in nutrition and dietetics: data analysis issues. *J Hum Nutr Diet.* 2011;24:106–14.
32. Heider F. *The Psychology of Interpersonal Relations.* Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.; 1958. ISBN: 0-89859-282-8.
33. Wilson TD. Human information behavior. *Informing Sci J.* 2000;3:49–56.
34. Potier De Courcy G, Deheeger M, Chaveroux F, Cornet P, Fuchs F, Guillard J-C, et al. L'alimentation de femmes enceintes parisiennes et lilloises. *Cah Nutr Diététique.* 1998;33:29–40.
35. Quinlan JD, Hill DA. Nausea and Vomiting in Pregnancy. *Am Fam Physician.* 2003;68:121–8.
36. Richter JE. Gastroesophageal reflux disease during pregnancy. *Gastroenterol Clin North Am.* 2003;32:235–61.
37. Bessières M-H, Cassaing S, Fillaux J, Berrebi A. Toxoplasmose et grossesse. *Rev. Francoph. Lab.* 2008;2008:39–50.
38. Charlier-Woerther C, Lecuit M. Listériose et grossesse. *Presse Med.* 2014;43:676–82.
39. Ferrari RM, Siega-Riz AM, Evenson KR, Moos M-K, Carrier KS. A qualitative study of women's perceptions of provider advice about diet and physical activity during pregnancy. *Patient Educ Couns.* 2013;91:372–7.
40. Escalon H, Bossard C, Beck F dir. *Baromètre santé nutrition 2008.* Saint Denis: Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé; 2009. <http://www.inpes.sante.fr/CFESBases/catalogue/pdf/1270.pdf>. Accessed 28 Apr 2016.
41. Copelton DA. "You are What You Eat": Nutritional Norms, Maternal Deviance, and Neutralization of Women's Prenatal Diets. *Deviant Behav.* 2007;28:467–94.
42. Anderson CK, Walch TJ, Lindberg SM, Smith AM, Lindheim SR, Whigham LD. Excess Gestational Weight Gain in Low-Income Overweight and Obese Women: A Qualitative Study. *J Nutr Educ Behav.* 2015;47:404–11.
43. Block LG, Grier SA, Childers TL, Davis B, Ebert JE, Kumanyika S, et al. From Nutrients to Nurture: A Conceptual Introduction to Food Well-Being. *J Public Policy Mark.* 2011;30:5–13.
44. Chang S-R, Chao Y-MY, Kenney NJ. I am a woman and i'm pregnant: body image of women in Taiwan during the third trimester of pregnancy. *Birth Berkeley Calif.* 2006;33:147–53.
45. Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé. *Programme National Nutrition Santé 2011–2015.* 2011. http://www.mangerbouger.fr/content/download/3928/113964/version/1/file/PNNS_2011-2015.pdf. Accessed 31 Oct 2014.
46. Brown A, Avery A. Healthy weight management during pregnancy: what advice and information is being provided. *J Hum Nutr Diet Off J Br Diet Assoc.* 2012;25:378–87.
47. Whitaker KM, Wilcox S, Liu J, Blair SN, Pate RR. Patient and Provider Perceptions of Weight Gain, Physical Activity, and Nutrition Counseling during Pregnancy: A Qualitative Study. *Womens Health Issues.* 2016;26:116–22.
48. Weir Z, Bush J, Robson SC, Mcparlin C, Rankin J, Bell R. Physical activity in pregnancy: a qualitative study of the beliefs of overweight and obese pregnant women. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2010;10:18.
49. Sui Z, Turnbull DA, Dodd JM. Overweight and obese women's perceptions about making healthy change during pregnancy: a mixed method study. *Matern Child Health J.* 2013;17:1879–87.
50. INSERM, Kantar Health, Roche. *ObEpi. Enquête épidémiologique nationale sur le surpoids et l'obésité.* Roche; 2012 p. 60. http://www.roche.fr/content/dam/roche_france/fr_FR/doc/obepi_2012.pdf. Accessed 3 Apr 2016.
51. Haute Autorité de Santé. *Comment mieux informer les femmes enceintes ? - Recommandations pour les professionnels de santé.* Paris: Haute Autorité de Santé; 2005 p. 134. http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/infos_femmes_enceintes_rap.pdf. Accessed 8 Mar 2016.

2.3.3. Matériel supplémentaire soumis pour la publication en ligne

Additional file 1. Details of the study relative to the research team and reflexivity, study design and analysis and findings according to the consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ) [28].

Domain 1: Research team and reflexivity

Personal characteristics

The first author (CB), a PhD student whose research interest is nutrition during pregnancy, was the moderator. She was chosen as she was a young woman, but not a healthcare professional, to facilitate discussions by the participants and to limit any judgemental feelings. She had previously been trained in leading focus group interviews.

Relationship with participants

The moderator did not establish a relationship with the participants prior to the study. However, she had a brief telephone interview with each participant at the time of recruitment in order to describe the content of focus group sessions and briefly present herself (credentials, occupation, research interests and reasons for performing the research).

Domain 2: Study design

Theoretical framework

As no previous study had been performed on the eating behaviours of French pregnant women, we did not state a pre-determined theory before data collection. An inductive thematic approach, adapted from the grounded theory, was therefore implemented to analyse the data. This approach involves familiarisation with the data, an open-coding process, and data interpretation in the themes derived from identified codes [30, 31].

Participant selection

In Paris, pregnant women were recruited from consumers registered in the database of a generalist market research company. The company contacted women living in the Paris region by email, and if they were pregnant they were invited to take part in a focus group session on diet and nutrition. Those interested in participating registered with the company using an online form. In Aix-en-Provence, pregnant women were recruited using posters displayed in the gynaecologists' waiting room in a maternity clinic (L'Etoile Maternity Clinic, Aix-en-Provence, Provence Alpes Côte d'Azur, France). They could register either by email or by calling the first author. After registering, the women were contacted by telephone by the first author in order to verify their eligibility regarding the inclusion criteria and to arrange their attendance at one of the scheduled sessions. Before each session, the first author described the context, objectives and content of the focus group session, giving information on the time, date, duration and location of the session and answering any questions about the study. In order to anticipate the drop-outs that can affect attendance at focus groups, even after registration, at least eight participants were scheduled for each session. Finally, a total of 61 pregnant women were scheduled, 21 dropped out that resulted in a total of 40 pregnant women participated in the study.

Setting

Each focus group session was organised in a special meeting room at the maternity clinic in Aix-en-Provence or at AgroParisTech School of Life Sciences in Paris. Only the moderator, assistant moderator and participants were present during a session. Healthy snacks and drinks were offered to the participants.

Data collection

Details relative to the interview guide, number of interviews, visual recordings, field notes and durations are given in the 'Methods' section of the article.

Following each focus group session, the moderator and assistant moderator debriefed the session together, identified the main themes to be used for the coding process and wrote a report. Three focus groups were initially carried out and transcribed. A preliminary analysis was made by the first and last authors regarding the reports on the first three first sessions, so as to identify whether thematic saturation had been reached or if the interview guide needed to be adapted because of emerging themes. They agreed to perform four more focus group sessions without modifying the interview guide. A further analysis was performed by the first and last authors, which covered the reports on all seven sessions. The first and last authors agreed that the saturation had been reached, inasmuch as no new themes had been identified by this point. A short summary of the findings was sent by email to all the participants.

Domain 3: Analysis and findings

Data analysis

Details relative to the number of data coders, the description and derivation of themes and sub-themes and the software used are described in the ‘Methods’ section of the article. After completion of the analysis, a short summary of the findings was sent to the participants by email.

Reporting

The themes and sub-themes are presented in the ‘Results’ section of the article. Quotations from the participants were used to illustrate the themes. The characteristics of each participant using her identification number are shown in Additional file 3.

Additional file 2. Quotations in French (native language of participants) identified with the participants number followed by the number of the quotation as presented in the article.

« [...] ma gynécologue m'a balancé une liste en me disant voilà tout ce que vous n'avez pas le droit de manger [...]. Elle m'a dit : « Vous vous y tenez bien, vous la mettez sur votre réfrigérateur et vous contrôlez tout ce qui rentre et tout ce qui sort ! » » (P31-1)

« Moi j'étais frustrée à Noël, pour ma précédente grossesse, je ne pouvais pas manger de saumon fumé et je voyais tout le monde en manger. » (P62-2)

« J'ai une question, je sais que le fromage de chèvre on n'a pas le droit, mais par exemple s'il est cuit est-ce qu'on a le droit ? »

« Par exemple, les bûches de chèvre qui sont pasteurisées tout ça, il n'y a pas de souci. » (P53/P56-3)

« On se dit qu'on a envie de ça mais on ne peut pas car l'enjeu c'est un bébé en bonne santé quand même. [...] Quand l'entourage nous dit : « Ah ! Mais pourquoi tu manges ça ? ». Ca nous culpabilise. [...] Je suis prudente ! Je ne mange pas si j'ai un doute. » (P22-4)

« Mon gynécologue m'a dit que manger des sushis, ce n'est pas grave. » (P75-5)

« Au final, il n'y a pas eu de répercussions sur moult autres grossesses. » (P33-6)

« Moi j'ai toujours des nausées, par des aliments en fait, des odeurs, des choses comme ça, c'est horrible ! [...] Il y a des choses qui me dégoûtent comme le fromage préféré de ma fille, quand je lui en donne je pourrais en pleurer, tellement ça me dégoute ! » (P31-7)

« Moi j'avais des envies un peu particulières genre des nems et de la crème dessert à la vanille [...] donc pendant quelques temps j'ai mangé beaucoup de nems et de crèmes desserts à la vanille, pourtant ce ne sont pas des choses que je mangeais particulièrement avant. » (P24-8)

« Mais je pense que quoiqu'on fasse il y a des maux qu'on aura tout le temps. » (P26-9)

« Mais c'est difficile quand on est enceinte [de gérer sa prise de poids], c'est le corps qui contrôle j'ai vraiment l'impression d'avoir lâché le contrôle... » (P16-10)

« [...] depuis que je suis enceinte, je n'ai pris qu'un kilo ! [...] Les gens autour de moi, ça les inquiète, parce qu'une femme enceinte est censée grossir. [...]Après les médecins ils m'ont rassurée. [...] Mais ça peut perturber un peu parce que dans l'inconscient... » (P53-11)

« J'essaie aussi de faire attention, parce que les kilos après il faut les perdre et pour mes précédentes grossesses j'ai pris dix-neuf et dix-sept kilos. Après c'est comme ça, on ne va pas se priver de manger non plus ! » (P62-12)

« *Même si on ne veut pas le surveiller soi-même, tous les mois le gynécologue nous pèse !* » (P64-13)

« *[Pour ma première grossesse] le jour de l'accouchement, je me suis fait gronder je me suis faite traitée de grosse vache par un docteur.* » (P25-14)

« *Mais le poids du bébé n'a pas de rapport avec la prise de poids.* »

« *Non, le poids qu'on prend ça ne veut rien dire.* » (P41/P42-15)

« *manger plus sain qu'avant* » (P15-16)

« *Moi je me force à avoir toujours des fruits et des légumes dans mon alimentation, le matin, le midi, le soir.* » (P31-17)

« *Je ne faisais vraiment pas attention avant ! Là je fais quand même plus attention à prendre du poisson, plus de légumes.* » (P55-18)

« *Je rajoute dans mon alimentation des choses que je ne mangeais pas trop avant pour avoir du fer, donc des lentilles.* » (P33-19)

« *Même si je vais grignoter, je vais prendre un produit laitier, quelque chose de plus équilibré, de plus raisonné.* » (P42-20)

« *J'ai vraiment levé le pied sur les sucres rapides parce que j'étais vraiment trop dedans.* » (P13-21)

« *Avant d'être enceinte, je faisais un voire deux repas par jour et maintenant j'essaie d'en faire trois réguliers.* » (P24-22)

« *Au niveau de la viande je choisissais quand même des bons morceaux chez le boucher, [...] pour les légumes pareil, c'était plus l'achat au producteur directement, [...] j'achetais plus de bio.* » (P11-23)

« *Je supprime le dessert à midi, et je le mange vers trois ou quatre heures.* » (P33-24)

« *Moi j'achète des aliments moins transformés, ou le moins transformés possible.* » (P67-25)

« *On essaie aussi de faire plus de « fait-maison », parce que je sais déjà ce que j'ai mis dans les aliments.* » (P41-26)

« *Le chocolat, c'est la seule chose qu'on peut manger qui ne craint pas!* » (P12-27)

« *Le cookie dont je rêve, je ne me l'achète jamais pour ne pas craquer, pour ne pas grossir.* » (P31-28)

« *Tout ce qu'on mange, le bébé le mange avec nous.* » (P41-29)

« Par exemple quand je mange dans une chaîne de restauration rapide, [...], je me dis que c'est pas sympa ce que je lui fais à mon bébé [...] c'est bourré d'additifs, c'est même pas un aliment ! » (P56-30)

« Mais on est vraiment deux, on est moins égocentrique ! [...] comme je ne contrôle rien parce qu'elle se développe toute seule, disons que [l'alimentation] est la seule chose que je peux gérer. Je ne peux pas intervenir sur la couleur de ses yeux, de ses cheveux, mais sur son bien-être j'ai une part de responsabilité. » (P52-31)

« C'est important pour l'après-grossesse, parce que t'es une maman, t'es une femme, t'es une épouse, t'es professionnelle et pour moi c'est quelque chose qui est hyper important. Pour être une maman épanouie, il faut que je sois une femme épanouie et donc je pense que ça part de l'alimentation et donc j'ai besoin de me sentir bien dans mon corps pour être épanouie en tant que maman. » (P74-32)

« Ils ne pensent pas tous à nous signaler quand on est carencé, ils ne pensent pas à nous dire s'il faut favoriser ça ou ça ! » (P52-33)

« Parmi les médecins, il y a deux sons de cloches : il y en a qui disent oui, d'autres non. [...] mon gynécologue il est contre les compléments alimentaires et quand je suis arrivée à la maternité [la sage-femme] m'a fait une ordonnance [pour prendre des compléments alimentaires]. Je fais quoi alors ? » (P53-34)

« Chacun dit la sienne » (P14-35)

« Les amis et la famille se basent sur leur propre histoire et ils tirent des conclusions hâtives. On m'a dit qu'il fallait que je mange un yaourt tous les jours, sinon [...] mon enfant il n'allait pas résister au soleil ! » (P32-36)

« Avec ma mère il y a une transmission dans la manière de faire et de cuisiner. » (P15-37)

« Moi j'ai arrêté de regarder toutes ces émissions parce que j'ai l'impression qu'à la fin on ne peut plus rien manger ! [...] A chaque fois, on nous sort un nouveau truc ! » (P11-38)

« Les professionnels de santé nous disent de ne surtout pas manger pour deux et de manger comme d'habitude. Et la famille, les amis nous disent de nous resservir parce qu'on est deux. J'ai encore expérimenté ça ce week-end. » (P52-39)

« chaque grossesse est différente » (P42-40)

« Je posais beaucoup de questions [à ma mère] au début. Mais à chaque fois elle me disait que pour elle ça faisait longtemps. [...] et qu'à l'époque c'était tellement plus facile, elles mangeaient tout ce qu'elles voulaient ! » (P23-41)

« Sur internet l'information elle est immédiate, quand on en a besoin on a le résultat tout de suite on n'a pas à attendre le prochain rendez-vous chez la sage-femme. » (P42-42)

« Après sur internet, on a des sites où on ne sait pas trop quoi croire, mis à part des sites vraiment spécialisés. » (P42-43)

« [...] il faut vérifier les infos soit par un spécialiste soit autre. Mais ça ne peut pas être la seule source d'informations... » (P12-44)

« On peut parler de toutes les sources d'information sur l'alimentation pendant la grossesse [...] mais au final la décision c'est nous qui la prenons ! »(P53-45)

« On le sait déjà instinctivement, on sait qu'il ne faut pas manger trop gras, trop sucré, qu'il faut manger des légumes, les grandes lignes en fait on les connaît. » (P12-46)

Additional file 3. Identification number, session, recruitment place, trimester of pregnancy and parity of each participant

Identification number	Session	Recruitment place	Age	Trimester of pregnancy	Parity
P11	1	Aix-en-Provence	36	3rd	Multiparous
P12	1	Aix-en-Provence	34	3rd	Multiparous
P13	1	Aix-en-Provence	40	3rd	Multiparous
P14	1	Aix-en-Provence	31	2nd	Primiparous
P15	1	Aix-en-Provence	39	3rd	Multiparous
P16	1	Aix-en-Provence	31	3rd	Primiparous
P17	1	Aix-en-Provence	36	2nd	Multiparous
P21	2	Aix-en-Provence	24	3rd	Primiparous
P22	2	Aix-en-Provence	30	1st	Multiparous
P23	2	Aix-en-Provence	32	3rd	Primiparous
P24	2	Aix-en-Provence	28	3rd	Primiparous
P25	2	Aix-en-Provence	33	1st	Multiparous
P26	2	Aix-en-Provence	21	2nd	Primiparous
P31	3	Paris	32	2nd	Multiparous
P32	3	Paris	30	2nd	Multiparous
P33	3	Paris	36	2nd	Primiparous
P34	3	Paris	28	2nd	Multiparous
P35	3	Paris	36	3rd	Primiparous
P41	4	Paris	28	2nd	Multiparous
P42	4	Paris	24	2nd	Multiparous
P51	5	Paris	26	2nd	Multiparous
P52	5	Paris	27	2nd	Primiparous
P53	5	Paris	31	2nd	Primiparous
P54	5	Paris	27	2nd	Multiparous
P55	5	Paris	23	2nd	Primiparous
P56	5	Paris	32	2nd	Primiparous
P57	5	Paris	28	1st	Multiparous
P61	6	Paris	28	2nd	Primiparous
P62	6	Paris	29	1st	Multiparous
P63	6	Paris	28	2nd	Primiparous
P64	6	Paris	32	2nd	Primiparous
P65	6	Paris	33	3rd	Primiparous
P66	6	Paris	26	3rd	Primiparous
P67	6	Paris	33	1st	Multiparous
P71	7	Paris	30	2nd	Primiparous
P72	7	Paris	31	3rd	Multiparous
P73	7	Paris	27	3rd	Multiparous
P74	7	Paris	35	3rd	Multiparous
P75	7	Paris	31	3rd	Primiparous
P76	7	Paris	32	2nd	Primiparous

2.4. Travail personnel n°4 : Emploi de méthodes mixtes pour évaluer la perception de conseils alimentaires personnalisés dans le but d'améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse

2.4.1. Résumé

Contexte : La personnalisation des conseils alimentaires lors d'interventions en nutrition les rend plus acceptables et s'avère ainsi être efficace pour améliorer la qualité de l'alimentation des individus. Durant la grossesse, où les femmes sont particulièrement sensibles aux problématiques liées à la nutrition et seraient plus enclines à l'adoption de pratiques alimentaires saines, il paraît pertinent de proposer une approche personnalisée. Cependant, peu d'informations concernant les attentes des femmes en matière de conseils alimentaires personnalisés pendant leur grossesse sont disponibles.

Objectif : L'objectif de cette étude employant des méthodes mixtes était de caractériser les attentes de femmes enceintes en France en matière de conseils alimentaires, notamment personnalisés, et d'identifier leurs motivations mais aussi les freins et leviers à l'application de conseils alimentaires dans leur régime.

Méthodes : Nous avons évalué la perception de conseils alimentaires personnalisés issus des trois types, par des femmes enceintes en France. Les trois types de conseils consistaient en : (1) des modifications des quantités consommées d'aliments présents dans le régime et des substitutions d'aliments déjà présents dans le régime par d'autres (2) au sein des sous-groupes d'aliments et (3) entre les sous-groupes d'aliments. Une approche employant une succession des méthodes qualitatives et quantitatives (méthodes mixtes) a été utilisée. Les données qualitatives issues de groupes de discussion incluant 40 femmes enceintes permettaient d'explorer, en détails, les attentes des femmes en matière de conseils alimentaires et leur potentielle adhésion à une approche personnalisée. Ces données ont été combinées avec des données quantitatives et qualitatives recueillies par des questionnaires évaluant les déterminants des modifications alimentaires pendant la grossesse et la perception des différents types de conseils durant une étude longitudinale en ligne d'une durée de six semaines, incluant 115 femmes enceintes.

Résultats : Les deux études confirmaient que la plupart des femmes avaient l'intention d'adopter des pratiques alimentaires plus saines pendant leur grossesse. La principale motivation à ces changements était de contribuer à la santé et au bien-être de leur futur enfant mais aussi à leurs propres santé et bien-être. Proposer des conseils alimentaires qui seraient personnalisés au régime alimentaire de chaque femme et aux besoins nutritionnels de la grossesse, mais qui seraient également positifs et provenant de sources crédibles, était perçu comme un levier à l'adoption de pratiques alimentaires plus saines. Les leviers et les freins identifiés quant à l'application des conseils alimentaires proposés dans notre approche différaient selon le type de conseils : modifications des quantités consommées ou substitutions (entraînant des ouvertures du répertoire plus ou moins larges). Dans les deux études, les femmes manifestaient un intérêt pour les différents types de conseils alimentaires proposés, ce qui justifiait d'associer plusieurs types de conseils alimentaires pour accompagner les femmes enceintes vers des pratiques alimentaires saines.

Conclusion : Le recours à des conseils alimentaires personnalisés pendant la grossesse a été identifié comme un levier pour l'adoption d'une alimentation plus saine par les femmes enceintes de nos deux études. Cependant, certains freins peuvent limiter l'application des conseils, tout particulièrement lorsque les changements proposés sont considérablement éloignés de leur régime habituel.

Valorisation : Ce travail a fait l'objet d'un manuscrit actuellement soumis pour publication.

Messages-clés

- Les femmes de nos études manifestent l'intention de modifier leurs habitudes alimentaires pendant la grossesse pour adopter des pratiques plus saines.
- La personnalisation des conseils alimentaires apparaît comme un levier majeur à leur application dans les régimes des femmes enceintes.
- Les leviers et freins à l'application des conseils alimentaires personnalisés identifiés par les femmes enceintes varient selon le type de conseils proposés et l'ampleur des modifications des habitudes alimentaires qu'ils induisent.
- Les femmes enceintes montrant un intérêt pour les différents types de conseils alimentaires personnalisés, il paraît justifier de combiner plusieurs types de conseils pour les proposer aux femmes durant la grossesse.

2.4.2. Manuscrit (soumis) : Perceptions of tailored dietary advice to improve the nutrient adequacy of the diet in French pregnant women : a mixed methods study

Cette partie présente le manuscrit intitulé « *Perceptions of tailored dietary advice to improve the nutrient adequacy of the diet in French pregnant women: a mixed methods study* » soumis pour publication.

Ce manuscrit a été co-écrit avec François Mariotti, Elodie Reulet, Gaëlle Le Goff, Anne Lluch, Eric O. Verger, Jean-François Huneau et Patricia Gurviez.

Perceptions of tailored dietary advice to improve the nutrient adequacy of the diet in French pregnant women: a mixed methods study

Names of authors: Clélia M. Bianchi^{1,5}, François Mariotti^{1,6}, Elodie Reulet^{1,7}, Gaëlle Le Goff^{2,8}, Anne Lluch^{3,9}, Eric O. Verger^{4,10}, Jean-François Huneau^{1,11}, Patricia Gurvieu^{2,12}

¹ UMR Physiologie de la Nutrition et du Comportement Alimentaire, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France.

² UMR Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 1, avenue des Olympiades, 91300 Massy, France

³ Global Nutrition Department, Danone Nutricia Research, Centre Daniel Carasso, RD 128, 91737 Palaiseau Cedex, France.

⁴ NUTRIPASS, IRD, Université Montpellier, SupAgro, Montpellier, France.

⁵ clelia.bianchi@agroparistech.fr

⁶ mariotti@agroparistech.fr : This author is the corresponding author.

⁷ elodie.reulet@agroparistech.fr

⁸ gaelle.legoff@agroparistech.fr

⁹ anne.lluch@danone.com

¹⁰ eric.verger@ird.fr

¹¹ huneau@agroparistech.fr

¹² gurvieu@agroparistech.fr

Abstract

BACKGROUND: Tailored dietary counseling could be specifically efficient during pregnancy, a period accompanied by a rise in nutrition awareness, but little is known about the expectations of pregnant women in this regard. We studied these expectations regarding tailored dietary advice in French women during their pregnancy, as well as their motivations and perceived barriers and enablers.

METHODS: In French pregnant women, we evaluated the perceptions of tailored dietary advice provided by stepwise dietary counseling and based on three types of dietary changes consisting in: 1) a modification of the amounts consumed, 2) substitutions within the food subgroups and 3) substitutions between food subgroups. A sequential explanatory mixed-methods approach was designed. Qualitative data from a focus group study (n=40) intended to explore in depth the expectations regarding dietary advice and adherence to a tailored approach. They were combined with quantitative and qualitative data from a 6-week online longitudinal study (n=115) using questionnaires designed to assess modifications of dietary habits during pregnancy and to evaluate each type of dietary changes.

RESULTS: Both studies confirmed that most women in our samples indeed intended to operate changes towards healthier dietary practices during pregnancy. The principal motivation behind changes to their habits was to ensure the health and well-being of both their babies and themselves. The proposal of dietary advice that is tailored to both the current diet and the specific needs of pregnant women, but is also positive and credible, was perceived as an enabler to implementing healthier dietary practices during pregnancy. Regarding implementation of the dietary changes proposed, the enablers and barriers identified differed between modifications the amounts consumed and substitutions. The women displayed interest in all types of dietary changes. This gave relevance to combining different types of changes in order to propose dietary counseling during pregnancy.

CONCLUSION: Tailored dietary counseling was identified by French pregnant women in our samples as an enabler to adopt a healthier diet. However, perceived barriers might limit the implementation of dietary changes, especially when they involved marked modifications to their usual diet.

Keywords: Pregnancy, tailored dietary counseling, mixed methods, dietary modifications, motivations, barriers and enablers.

Background

Within the framework of the life course perspective, pregnancy is a specific transitional period for women when biological, physiological, social and emotional changes are experienced [1–3]. Pregnant women may therefore be keener to adopt healthier behaviors that could be pursued over time. For instance, many women stop consuming alcohol while pregnant [4, 5] or quit smoking during the periconceptional period and may not return to it postpartum [4–6]. However, the adoption of healthier dietary behaviors is not a straightforward issue. Since women experience a rise in nutrition awareness during pregnancy [7–9], they seek more nutrition-related information than before [9–11]. They try to implement basic actions to improve their diet, such as preferring healthier options, planning their meals ahead [12], eating more fruits and vegetables, complying with dietary guidelines [13], or eating fewer unhealthy foods [13–15], as has been reported by many qualitative studies from different developed countries [9,12–15]. However, much confusing information about nutrition-related issues is offered from various sources (social environment, healthcare providers or mass media) and women are looking to receive credible and trustworthy dietary advice [14, 16]. On the other hand, because nutrient requirements are not always satisfied among pregnant women in developed countries [17, 18] and adequate maternal nutrient intakes are associated with the fetus and child development and health [19, 20], it is very important to understand how appropriate dietary counseling should be provided during pregnancy.

Over the previous decade, personalization of nutrition interventions has been the subject of increasing interest [21, 22]. Although the findings of studies may have differed, depending on their design, tailored dietary interventions have been identified as being promising [22–24]. The adaptation of advice to individuals' habits is known to improve the acceptability and perception of such interventions [25], so the proposal of tailored dietary advice should be more efficient than that of a generic nature [24, 25]. Moreover, computer-tailored interventions, developed using algorithms, can be dynamic and repeated in a particular individual [26] while reducing costs [27]. Our group recently developed an algorithm designed to improve the nutrient adequacy of the observed diet of French women during the periconceptional period, as measured by the PANDiet diet quality index, using a stepwise dietary counseling model [28]. On a theoretic basis, tailored dietary advice generated by this model proved to be more efficient in improving the nutrient adequacy of the diet of French women than generic dietary advice [28, 29]. However, feedback

from pregnant women is necessary to characterize the key determinants of its practical and efficient implementation, including the acceptability of the approach [30, 31].

Mixed methods have become very common in public health. By combining qualitative and quantitative studies, they enable both the exploration of a new phenomenon and evaluation of its extent [32]. In the case of pregnant women, such methods have notably been used to explore factors related to excessive weight gain [33] or perceptions regarding the implementation of healthy changes during this specific period [34].

By means of mixed methods, focus group sessions and a 6-week online longitudinal study, the objectives of this study were therefore to explore the expectations of French pregnant women regarding tailored dietary advice during pregnancy and to understand what might be the motivations, barriers and enablers regarding the implementation of tailored dietary advice at this time.

Methods

Study design and Ethics

A sequential explanatory mixed method design was used to investigate the expectations of French pregnant women regarding tailored dietary advice during pregnancy as well as their motivations and the perceived barriers and enablers regarding the implementation of such advice in their diet. Qualitative research based on focus groups was followed by a quantitative research involving a 6-week online longitudinal study with questionnaires containing a majority of closed questions and a few open-ended questions. The findings of the focus groups were used to inform the online longitudinal study, the results of which were mobilized to confirm focus group findings. In addition, the open-ended questions in the online longitudinal study provided qualitative findings that were used to confirm the quantitative results. Although the two studies involved participants from the same target populations, none of the focus group participants was involved in the online longitudinal study. Both studies were approved by the *Comité de Protection des Personnes Ile-de-France X*, a French Ethics Committee (with the identifiers “NI-2016-03-01” for the focus group study and “NI-2016-03-02” for the online longitudinal study). For the focus group study, informed consent was obtained from all participants at the time of their sessions. For the online longitudinal study, online informed consent was obtained from all participants before they answered the first questionnaire.

Background information: stepwise dietary counseling based on three types of dietary changes to improve the nutrient adequacy of the diet

Our approach was designed to improve the nutrient adequacy of the diet in each individual by providing stepwise tailored dietary changes. It was based on three types of changes and had already been described in depth elsewhere [28]. Briefly, our method required prior assessment of the diet of an individual in order to calculate a score to evaluate its nutrient adequacy: the PANDiet score. Each of the three types of dietary changes was then intended to optimize this score. Type-1 dietary changes consisted in increasing or decreasing the amount of a food item present in the observed diet, and thus not modifying the usual food repertoire. On the other hand, the two other types of dietary changes could modify the usual food repertoire by replacing a food item present in the observed diet with either a food item from the same food subgroup (type 2), or a food item from the same food group or another food group but consumed at the same time according to the French cultural meal scheme (type 3). In principle, these dietary changes were supposed to be graded in difficulty of implementation from type 1 to type 3.

Data collection in the focus group study

The conduct and reporting of this study complied with the guidelines outlined in the consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ) [35]; all details are supplied in **Additional file 1**. We conducted seven focus group sessions that involved a total of 40 French pregnant women: five sessions in Paris (Ile-de-France, France; n=27) and two in Aix-en-Provence (Provence Alpes Côte d'Azur, France; n=13). The criteria for eligibility required that women should be pregnant, French-speaking, had not developed gestational diabetes and were not experiencing a multiple pregnancy. Because the objective of this study was to elicit verbal interactions on diet and nutrition between pregnant women from various familial, social and dietary backgrounds, each session involved pregnant women whose pre-pregnancy body mass index (BMI), parity and socio-occupational status all differed. The characteristics of these participants are presented by region of recruitment in **Table 1**.

Table 1. Characteristics of participants by region of recruitment

	Aix-en-Provence (n=13)	Paris (n=27)	Total (n=40)
Age¹ (years)	31.9 ± 5.5	29.7 ± 3.4	30.5 ± 4.2
Pre-pregnancy BMI¹ (kg/m ²)	21.8 ± 3.0	22.5 ± 3.7	22.2 ± 3.4
Trimester of pregnancy²			
1 st	15.4% (2)	11.1% (3)	12.5% (5)
2 nd	23.1% (3)	63.0% (17)	50.0% (20)
3 rd	61.5% (8)	25.9% (7)	37.5% (15)
Primiparas²	46.2% (6)	51.9% (14)	50.0% (20)
Household income² (€ per month)			
<2000	23.1% (3)	11.1% (3)	15.0% (6)
2000-4000	38.5% (5)	55.6% (15)	50.0% (20)
>4000	30.8% (4)	22.2% (6)	25.0% (10)
Did not wish to answer	7.7% (1)	11.1% (3)	10.0% (4)
Had previously followed a diet²			
Never	30.8% (4)	51.9% (14)	45.0% (18)
Once	30.8% (4)	11.1% (3)	17.5% (7)
Several times	38.5% (5)	37.0% (10)	37.5% (15)

¹ All values are mean ± SD

² All values are percentages followed by the corresponding number of participants in brackets.

Each 120-minute session was video-recorded and conducted according to standard procedures for focus groups. The first and last authors (CB and PG) designed an interview guide that included the key topics to be investigated after a review of the literature and consultation with the project team. The guide focused on three main topics: (1) concerns, beliefs and attitudes regarding diet and nutrition during pregnancy, (2) nutrition-related information seeking behavior, and (3) expectations with respect to tailored dietary advice during pregnancy. The data relative to topics (1) and (2) have already been presented elsewhere [9], so only the data regarding topic (3) are considered in the present study. A summary of the key questions relative to this topic in the interview guide is presented in **Table 2**. All the questions were open-ended. The first author (CB) moderated all the sessions. An assistant moderator attended each session to assist with note taking, time management and video-recording, and to deal with issues such as non-verbal interactions between the participants. The participants received an incentive payment of €40 after completion of the study. Data collection was ensured by the first author between March and June 2015.

Table 2. Key questions in the interview guide

Summary of key questions

Have you heard about any materials (app, internet, guide book) which provide tailored dietary advice during pregnancy? If yes, do you use one of them and why?

If you had to design the perfect dietary advice tool for pregnancy, how would it be?

I have explained the tailored dietary counseling approach that we have designed for pregnancy; what would the pregnant women using it be like? And those not using it?

Might you adopt this tailored dietary counseling approach during your pregnancy?

Among the dietary changes I have presented, which type would be your favorite?

Data collection in the 6-week online longitudinal study

We designed a 6-week online longitudinal study to evaluate the acceptability of the dietary changes (and their associated types) identified during a simulation study as being the most efficient [28] (**Figure 1**). Seventeen thousand, two hundred and forty-four women aged between 18 and 44 years, living in mainland France and members of an online panel operated by a generalist market research company (QualiQuanti) were contacted by email to ask if they were pregnant and were willing to participate in the study. To register, the women had to sign the consent form electronically and answer a questionnaire on their sociodemographic profile to assess their eligibility. The non-inclusion criteria were as follows: not pregnant, more than six months pregnant (i.e. birth could occur during the study), multiple pregnancy, specific diet linked to the dietary management of metabolic disorders or major food exclusions (e.g. vegan or gluten-free diet), no signature of the consent form (**Additional file 2**).

Eligible participants were asked to answer a questionnaire on their usual (annual) food consumption using a simplified Food Frequency Questionnaire (FFQ) containing 56 food subgroups. If the questionnaire was not filled, the eligible participant was not included in the study. This questionnaire was mainly used to determine the food subgroups consumed by our participants and thus prevent us from proposing the evaluation of a dietary change that might be irrelevant to their diet. In total, 36 dietary changes (12 by type of dietary changes) were selected to build three sets of dietary changes (respectively named A, B and C).

In order to propose changes that targeted different food subgroups, the 36 dietary changes had previously been selected from the 60 most frequently identified (20 by type of dietary changes) during a simulation study [28]. If the change concerned a food item not usually consumed by the participant, a replacement dietary change was planned. Dietary changes were assigned to one or another set so that a participant would not evaluate two dietary changes involving food items from the same subgroup at the same time.

One hundred and fifteen eligible women were finally included in the study and randomly allocated to three groups, in which we verified that there were no significant differences in terms of age, socio-professional category, parity and self-reported nutrition awareness during pregnancy (**Additional file 2**). The characteristics of the participants are presented by group in **Table 3**.

From week 2 to week 5, each group evaluated the sets of dietary changes in a different order, and each participant evaluated independently the six dietary changes comprising the set (two for each type of dietary changes). These evaluations were performed twice: firstly, when the set was shown to the participant for the first time, and secondly after one week of reflection about whether she might use each dietary change of the set in her diet. The results related to this part of the study have already been published elsewhere [28]. Each evaluation was followed by an open-ended question where participants were asked to explain their answers.

In week 6, the participants were asked to fill two final questionnaires.

The first was an 11-item questionnaire designed to assess salient beliefs that might impact modifications to dietary habits during pregnancy. The items were derived using concepts from the Theory of Planned Behavior [36] and the results from the focus group study, and were adapted so that they could be rapidly filled online. Three scores corresponding to the three parts of the Theory of Planned Behavior: Attitude (sum of three items related to behavioral beliefs), Subjective norm (sum of two items related to normative beliefs) and Perceived behavior control (sum of five items related to control beliefs) were derived from the questionnaire.

The second questionnaire contained 11 items designed to evaluate the adherence of participants to the dietary counseling approach we suggested: “the potential use” (Yes – Maybe – Not), “the expected frequency of dietary advice” (seven levels from once during pregnancy to once a day), “number of dietary advice given at one time” (from one to five or more) and to each type of dietary changes.

Before answering this questionnaire, it was explained to the participants that each dietary change they evaluated belonged to a specific type and a short explanation of each type was provided. Participants who completed the study received a €20 voucher. The 6-week online longitudinal study took place in June and July 2015.

Group	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6
1	Baseline questionnaires + Simplified FFQ	Set A (pre)	Set A (post) Set B (pre)	Set B (post) Set C (pre)	Set C (post)	Final questionnaires
2		Set B (pre)	Set B (post) Set C (pre)	Set C (post) Set A (pre)	Set A (post)	
3		Set C (pre)	Set C (post) Set A (pre)	Set A (post) Set B (pre)	Set B (post)	

Evaluation of dietary changes

Figure 1. Summary of questionnaires and evaluations completed by week and by group of participants during the 6-week online longitudinal quantitative study. Each set of dietary changes was composed of six dietary changes (two by type). Evaluations were performed when the set was shown to the participant for the first time (pre) and then after one week of reflection about whether she might use each of the dietary changes of the set in her diet (post).

Table 3. Characteristics of pregnant women ($n=115$) included in the study of acceptability of dietary changes during pregnancy

	Total ($n=115$)	Group 1 ($n=39$)	Group 2 ($n=38$)	Group 3 ($n=38$)
Age ^{1,4} (years)	31.1 ± 4.2	32.0 ± 4.2	31.2 ± 4.4	30.2 ± 4.1
Months of pregnancy ^{2,5}				
Less than 3	39.1% (45)	35.9% (14)	36.8% (14)	44.7% (17)
3 or 4	32.2% (37)	33.3% (13)	28.9% (11)	34.2% (13)
5 or 6	28.7% (33)	30.8% (12)	34.2% (13)	21.1% (8)
Primiparous ^{2,5}	47.8% (55)	41.0% (16)	55.3% (21)	47.4% (18)
Number of people composing the household ^{2,5}				
1	0.9% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)	0.0% (0)
2	52.2% (60)	51.3% (20)	52.6% (20)	52.6% (20)
3	36.5% (42)	38.5% (15)	34.2% (13)	36.8% (14)
4	7.0% (8)	2.6% (1)	10.5% (4)	7.9% (3)
5	1.7% (2)	5.1% (2)	0.0% (0)	0.0% (0)
6 or more	1.7% (2)	2.6% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)
Number of children ^{2,5}				
0	47.8% (55)	41.0% (16)	52.6% (20)	50.0% (19)
1	40.0% (47)	46.2% (18)	34.2% (13)	39.5% (15)
2	7.8% (9)	5.1% (2)	10.5% (4)	7.9% (3)
3	1.7% (2)	5.1% (2)	0.0% (0)	0.0% (0)
4 or more	0.9% (1)	2.6% (1)	0.0% (0)	0.0% (0)
No answer	0.9% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)	0.0% (0)
Occupation ²				
Farmer, Craftsperson, Storekeeper	0.9% (1)	0.0% (0)	0.0% (0)	2.6% (1)
Professional, executive	20.0% (23)	15.4% (6)	23.7% (9)	21.1% (8)
Intermediate profession	14.8% (17)	20.5% (8)	13.2% (5)	10.5% (4)
Employee	50.4% (58)	51.3% (20)	55.3% (21)	44.7% (17)
Manual worker	0.0% (0)	0.0% (0)	0.0% (0)	0.0% (0)
Student	0.9% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)	0.0% (0)
Inactive	13.1% (15)	12.8% (5)	5.3% (2)	21.1% (8)
Socio-professional category ^{2,3,5}				
High	35.7% (41)	35.9% (14)	36.8% (14)	34.2% (13)
Low	50.4% (58)	51.3% (20)	55.3% (21)	44.7% (17)
Unemployed	13.9% (16)	12.8% (5)	7.9% (3)	21.1% (8)
Urbanization of the place of residence ^{2,5}				
Paris	8.7% (10)	7.7% (3)	13.2% (5)	5.3% (2)
Major city (>100,000 inhab.)	26.1% (30)	33.3% (13)	23.7% (9)	21.1% (8)
Medium-sized town (20 – 100,000 inhab.)	24.3% (28)	23.1% (9)	18.2% (7)	31.6% (12)
Small-sized town (2 – 20,000 inhab.)	25.2% (29)	17.9% (7)	26.3% (10)	31.6% (12)
Rural area	13.0% (15)	15.4% (6)	18.4% (7)	5.3% (2)
No answer	2.6% (3)	2.6% (1)	0.0% (0)	5.3% (2)
Nutrition awareness during pregnancy ^{2,5}				
Much more aware	25.2% (29)	23.1% (9)	23.7% (9)	28.9% (11)
A little more aware	59.1% (68)	56.4% (22)	60.5% (23)	60.5% (23)
Not really more aware	14.8% (17)	20.5% (8)	13.2% (5)	10.5% (4)
Not more aware at all	0.9% (1)	0.0% (0)	2.6% (1)	0.0% (0)

¹ Values are mean ± SD

² Values correspond to the percentage of participants presenting the characteristic described in the first column followed by the associated number of participants in parentheses.

³ Socio-professional categories were derived from occupations. “Farmer, craftsperson, storekeeper”, “Professional, executive”, and “Intermediate profession” belong to the High socio-professional category, “Employee”, “Manual worker” and “Student” belong to the Low socio-professional category and “Unemployed” belong to the Inactive socio-professional category.

⁴ No significant difference between groups for age as tested with ANOVA, $P>0.05$

⁵ No significant difference between groups regarding the distribution of participants as tested with Fisher’s exact tests, $P>0.05$

Analysis of qualitative data

All focus group discussions were transcribed in full by the moderator (CB). As no previous study had been performed on the expectations of French pregnant women relative to tailored dietary advice, we did not declare any pre-determined theory before data collection. An inductive thematic approach, adapted from the grounded theory, was therefore implemented to analyze the data. This approach involves familiarization with the data, an open-coding process and data interpretation in themes derived from identified codes [36, 37]. The transcripts were double-coded independently by the same two researchers (CB and GLG) using Nvivo 11 Pro for Windows (QSR International Pty Ltd, Victoria, Australia). Discrepancies between the two researchers regarding the coded categories were identified through the software and resolved through discussion; the final codebook was then defined. The coded data were then grouped in two major themes and their sub-themes (**Additional file 3**).

One hundred and six participants who evaluated at least once one set of dietary changes were considered for the analysis (**Additional file 2**). Regarding 3,426 dietary change evaluations, there were 2,272 answers to open-ended questions collected during the online longitudinal study. Among those answers, 2,219 contained information about the implementation of dietary changes. They were double-coded independently by two researchers (CB and ER) using a dedicated template with the predetermined aim of identifying the motivations, barriers and enablers relative to the implementation of the proposed dietary changes and then identifying barriers and enablers for the implementation of each type of dietary changes.

Statistical analysis of quantitative data

Percentages were used to illustrate the answers from the 80 respondents to the two final questionnaires. Four participants were excluded from the subsequent analysis on the basis of their answer to the “intention” item which corresponded to “Rarely” or “Never” (only 2.5% respectively of answers).

According to the general framework of the Theory of Planned Behavior, the ten elements that would impact the modification of dietary habits during pregnancy were aggregated into three scores: “Attitude” (sum of three elements), “Subjective norm” (sum of two elements) and “Perceived behavioral control” (sum of five elements). The following scoring system was applied for each element: one point for “Strongly Disagree” until five points for “Strongly agree”. Thus,

values could range from three to 15 for the attitude score, from two to ten for the subjective norm score and from five to 25 for the perceived behavioral control score. The “Subjective norm” and the “Perceived Behavioral Control” scores were calculated only for 75 participants, because of missing data regarding one element in the score of one participant. Descriptive statistics (mean, standard deviation and range) were derived for each score. Logistic regression models were performed to determine whether the scores and elements that would impact the modification of dietary habits during pregnancy were associated with an intention to modify dietary habits during pregnancy (“intention”). Among potential confounders, only parity was previously found to impact the acceptability of dietary advice [28], so each model was adjusted for parity. All analyses were performed using SAS 9.1.3 (version 9.1.3, SAS Institute Inc., Cary, NC).

Results

Modification of dietary habits during pregnancy

Qualitative data from the focus group study

In the focus group study, we were able to identify a rise in nutrition awareness among French pregnant women. They suffered from many constraints related to their pregnancy diet. They were therefore keener on adopting a healthier diet in order to regain power over their diet and to start taking care of their future baby. In order to build an environment associating the well-being and health of their baby and themselves, pregnant women asked for positive and credible information about diet [9].

Quantitative data from the online longitudinal study

The characteristics of the rise in nutrition awareness that we perceived during focus group sessions were confirmed and quantified in the online longitudinal study. Almost a quarter of respondents (23.8%) to the final questionnaire had always intended to modify their dietary habits since the start of their pregnancy and only 5.0% had never or rarely intended to do so. The mean score for attitude was high (13.5 ± 1.4 points, i.e. 90% of the maximum), whereas the mean score for subjective norm was more mitigated (7.2 ± 1.2 points, i.e. 72% of the maximum) and the mean score for perceived behavioral control was quite low (14.5 ± 4.5 points, i.e. 58% of the maximum). Details of the items and answers are presented in **Additional file 4**. In the logistic model between intention and the three scores, adjusted for parity, only the “attitude score” was associated with “intention” ($\beta=-0.48$; $P<0.05$).

Qualitative data from the focus group study

Participants in the focus groups identified features of the ideal dietary advice tool they would hope to use during their pregnancy. Personalization was the key feature they expected from such a tool. They wanted something that was “*adapted to their dietary habits and lifestyle*” (Participant 1, Group 7) and to their food preferences and cravings. Several solutions were discussed by the participants who requested various user profiles (i.e. “*craves for sweet things but wants to limit her weight gain*”, “*immunized against toxoplasmosis*”, “*suffering from acid reflux*”). Some participants wanted to benefit from feedback on their daily food consumption so as to be guided towards healthier options or to “*control their mistakes*” (Participant 3, Group 1).

In terms of content, the participants expressed the need for information on not only food restrictions but also the foods and nutrients that should be preferred during pregnancy and ideas for appropriate recipes.

They insisted on the credibility of the dietary advice tool that needs to be designed by healthcare providers with respect to both nutrition and pregnancy and “*if possible recognized by a public health agency*” (Participant 2, Group 3).

The best device identified by participants for that tool was an app they could refer to whenever necessary.

The dietary counseling approach we proposed was quite well perceived by the participants, firstly, because it was designed by nutrition professionals and secondly, because the dietary changes were tailored to their dietary habits and would “*help them to identify their mistakes if [their diet] is not balanced and then to re-balance it*” (Participant 2, Group 1). They suggested increasing the degree of personalization by taking account of individual characteristics. A large majority of participants explained that knowledge of the rise in their own nutrient adequacy score as a result of advice would facilitate its implementation. They were concerned about the frequency of advice because they did not wish to be swamped with dietary advice. A small number of advices on a weekly basis was the preference of most participants. Some emphasized that future implementation might be hampered because the advice was based on meals in the past.

Quantitative data from the online longitudinal study

During this study, participants were not asked to describe the ideal dietary advice tool they would need during their pregnancy. However, after being exposed to dietary advice from our method for four weeks, 52.5% of respondents said they would use the dietary advice tool we proposed, 37.5% might use it and 10.0% would not use it. Among the respondents that would or might use the tool (potential users), 44.2% said they would like to benefit from dietary advice on a weekly basis. When crossing the frequency with the number of dietary advice preferred, 21.3% of potential users favored a combination of “Three dietary advice once a week” (among the 35 possible combinations).

Barriers and enablers to the implementation of each type of dietary advice

Qualitative data from the focus group and from the online longitudinal studies

In the focus group study, the basic principles governing the three types of dietary changes were presented to the participants. In the online longitudinal study, the participants were exposed to examples of the three types of dietary changes. The same barriers and enablers to implement each type of dietary change were identified in both studies. The major barriers and enablers relative to each type perceived in both studies are presented in **Table 4**. As types 2 and 3 were substitutions, the barriers and enablers they shared were combined.

Despite the explanations given regarding the objective of these dietary changes to globally increase the nutrient adequacy of the diet, participants in the focus group study asked for details on the nutritional benefits of each advice, while participants in the online longitudinal study were more receptive to a change when they perceived its nutritional benefit.

Table 4. Barriers and enablers to implementing each type of dietary changes identified by participants in both the focus group study (n=40) and online longitudinal study (n=106)

	Enablers	Barriers
Type 1	<p>No modifications to the shopping list <i>"It's just a matter of simplicity[...] my shopping list isn't modified"</i> (Participant 2, FG4)</p> <p>Adequacy with food preferences and cravings <i>"It's all psychological what we want to eat, if I plan a drumstick, I will eat a drumstick!"</i> (Participant 6, FG6)</p> <p>No deep change <i>"The decrease being negligible, it seems very feasible to me"</i> (Participant 1, OLS)</p> <p>Identification of mistakes to control weight gain (when decreasing amounts) <i>"I feel more in control of my weight gain when I'm required to reduce my food intake [...] it highlights our mistakes and we're just required to adjust the amounts"</i> (Participant 5, FG1)</p>	<p>No idea about the amount consumed (no weighing scales at home) <i>"My problem is that I do not weigh what I eat"</i> (Participant 3, FG2)</p> <p>Reducing amounts means being on a diet <i>"This type is super restrictive because it is about weight so it is frustrating"</i> (Participant 5, FG2)</p> <p>Not hungry enough to increase amounts <i>"I eat until satiety and I don't want to force myself to eat more than I need"</i> (Participant 3, OLS)</p> <p>Increasing amounts means putting on weight <i>"I don't want to increase my consumption so as not to put on weight"</i> (Participant 4, OLS)</p>
Type 2	<p>Easy to implement small changes <i>"They are both fruits, so you just have to substitute one for another"</i> (Participant 8, OLS)</p> <p>New ideas without markedly changing dietary habits <i>"It gives us news ideas and small alternatives"</i> (Participant 4, FG1)</p> <p>No reduction in pleasure foods <i>"It means we eat something nutritionally better without being too frustrated"</i> (Participant 1, FG7)</p>	<p>Seasonality <i>"What's the point of replacing a seasonal product [tomatoes] [...] with a processed one (lamb's lettuce)"</i> (Participant 6, OLS)</p>
Type 3	<p>New ideas which represent a means of shifting from deep-rooted habits <i>"It gives us ideas and breaks the routine of our usual diet"</i> (Participant 7, FG6)</p>	<p>Changes too far removed from their instantaneous cravings <i>"I am sorry but I don't want to eat fish when I crave for meat"</i> (Participant 1, FG3)</p> <p>Foods not used on the same occasion <i>"I used mainly cheese to cook sauces or gratins so it's difficult to replace it with nuts"</i> (Participant 9, OLS)</p> <p>Price <i>"I really like fish but it is more expensive than cold cuts"</i> (Participant 10, OLS)</p>
Types 2 & 3	<p>Preference for the food items proposed <i>"It's easy because we love spinach in my family"</i> (Participant 1, OLS)</p>	<p>Less variety in the diet when the proposed food item is already consumed <i>"Eating a huge variety of foods makes me feel real good [...], to give up on one food for another is nonsensical..."</i> (Participant 6, OLS)</p> <p>Strong preference for the food to be replaced <i>"I like pasta too much to replace it"</i> (Participant 2, OLS)</p> <p>Do not like the proposed food <i>"I don't like rapeseed oil, it tastes too strong"</i> (Participant 5, OLS)</p> <p>Do not know how to cook the proposed food <i>"I don't cook fish very often"</i> (Participant 7, OLS)</p>

¹ OLS: Online Longitudinal Study, ² FG: Focus Group

Favorite types of dietary changes

Qualitative data from the focus group study

In this study, we were able to determine that women who did not wish to make major changes to their diet might favor dietary changes from type 1 (i.e. they would not modify the food they usually eat), whereas women who would not be upset by certain modifications to their diet might favor the substitutions proposed under dietary changes from types 2 and 3. However, in several groups the idea emerged that they “*would prefer to have options from the three types [...] [they] will feel trapped if they have to choose one type definitely*” (Participant 7, Group 5).

Quantitative data from the online longitudinal study

Finally, more participants agreed or strongly agreed that dietary changes from types 1 and 2 would be easy to implement in their diet, which was partially in line with what we had previously shown for the longitudinal evaluation. Indeed, in that study, we found that the declared intention to use dietary changes from type 1 or type 2 were higher than from type 3, but the declared intention to use dietary changes from type 1 was also higher than from type 2 [28].

When we offered them the possibility to select their favorite from the three types, a higher proportion of the participants favored dietary changes from type 2 and a smaller proportion identified those changes as those they do not prefer (**Table 5**).

Among the 76 respondents who intended to modify their dietary habits all the time or from time to time during pregnancy, no association was observed between the favorite type of dietary changes and an intention to modify their dietary habits during pregnancy (data not shown).

Table 5. Final evaluation of the three types of dietary changes by pregnant women (n=80): ease of implementation and ranking

<i>Dietary changes from type 1 are easy to implement in the diet.</i>	
Strongly agree	32.5% (26) ¹
Agree	48.8% (39)
Disagree	17.5% (14)
Strongly disagree	1.3% (1)
<i>Dietary changes from type 2 are easy to implement in the diet.</i>	
Strongly agree	33.8% (27)
Agree	58.8% (47)
Disagree	5.0% (4)
Strongly disagree	1.3% (1)
No answer	1.3% (1)
<i>Dietary changes from type 3 are easy to implement in the diet.</i>	
Strongly agree	23.8% (19)
Agree	51.3% (41)
Disagree	23.8% (19)
Strongly disagree	1.3% (1)
<i>If I had to choose, I would favor dietary changes from type...</i>	
1	32.5% (26)
2	45.0% (36)
3	22.5% (18)
<i>If I had to choose, I would not favor dietary changes from type...</i>	
1	35.0% (28)
2	15.0% (12)
3	48.8% (39)
No answer	1.3% (1)

¹ Percentage of respondents (number of respondents), all such values

Discussion

By combining a focus group study and a 6-week online longitudinal study that both included pregnant women, we showed that during this specific period of the life course, French women truly intend to modify their dietary habits. Ensuring the health and well-being of their baby and themselves by adopting a healthier diet appeared to be the strongest motivation. However, as previously demonstrated, they suffered from lack of positive, non-guilt-inducing and trustworthy nutrition-related information [9]; therefore, as presented in this study, they wished to benefit from dietary advice. The personalization of advice appeared to be critical to achieving successful implementation in the diet. Regarding the different types of dietary advice evaluated, modifications to the amounts consumed and minor substitutions (within the same subgroup) were identified as being the easiest to implement with few major barriers, whereas major substitutions (between subgroups) were perceived as being more difficult to implement on a daily basis.

In both studies, we were however able to identify women adhering to varied and/or all types of dietary changes, highlighting the point that the types of dietary changes used during the dietary counseling process might also be parameters that could be personalized by the woman herself.

The intention to adopt a healthier diet during pregnancy has been reported consistently in other quantitative [39–41] and qualitative [9, 12–15] studies. In the quantitative study by Gardner *et al.*, 67%, 57% and 45% of pregnant women intended to increase their fruit and vegetable consumption and reduce that of high-sugar and high-fat foods [39]. As regards fruit and vegetable consumption, pregnant women in Australia, reported having moderately strong intentions to consume the recommended servings of fruits and vegetables [39]. Quantitative studies mainly focused on specific behaviors (consuming the recommended servings of fruits and vegetables, reducing fat or sugar consumption) as a proxy for a healthier diet. By contrast, in a recently published study, the intention to comply with overall nutrition recommendations was assessed in a sample of American pregnant women using the Theory of Planned Behavior [41]. Their mean intention to comply with nutrition recommendations was also moderate. These findings are consistent with our finding that most women (71% in the online longitudinal study) reported that they intended to modify their dietary habits from time to time. Their intention to modify their dietary habits appeared to be closely linked to the strong motivation among pregnant women to ensure the good health and well-being of both their babies and themselves [9]. In our study, the women were convinced of the benefits of modifying their dietary habits to their own health and that of their babies and also to increase their vitamin and mineral intakes. Furthermore, the intention to modify dietary habits results in increased planning and then a higher probability of actually modifying these habits [37]. The adoption of healthier dietary habits by pregnant women should be therefore facilitated. However, the relationship between intention and behavior is not straightforward and many social and psychological factors may affect the translation of intention into behavior [43], particularly in the specific time of pregnancy, which is accompanied by important social, psychological, behavioral and biological changes [3].

Our findings showed that tailoring dietary advice is a key element in pregnant women if they are actually going to follow it. During the qualitative study, these women clearly asked for dietary advice that could be tailored as far as possible (regarding diet, food preferences, weight gain, and also information on immunization against toxoplasmosis for example). In the longitudinal study, pregnant women were more receptive when the food item to be replaced was very frequently

consumed. Our approach using tailored dietary advice should therefore be more acceptable to pregnant women than generic dietary advice [21]. The definition of “personalization” of dietary advice is very broad. This could be based on the current diet or on one of its components (level 1) but it could also include phenotypic (level 2) or genotypic (level 3) information [21]. In the context of pregnancy, most studies have focused on levels 1 or 2 by building interventions tailored to each woman’s diet in order to comply with generic (level 1) [44] or pregnancy-specific (level 2) [45–47] dietary guidelines. In some cases, these approaches were enriched by behavior change techniques and/or theories [43–45]. In a randomized controlled trial including 120 Italian pregnant women, Di Carlo *et al.* used dietary data of pregnant women to evaluate their dietary habits and generate a personalized diet plan which complied with both personal preferences and the specific gestational needs. This resulted in a reduction in gestational weight gain and the relative risk of presenting an excessive gestational weight gain in the intervention when compared to the control group [46]. A randomized controlled trial used two behavior change theories (the Transtheoretical Model and Social Cognitive Theory) to tailor strategies in order to promote dietary changes (reduction in saturated fat intake and increase in dietary fiber intake) in 68 overweight or obese pregnant women in the United States. Unlike the study by Di Carlo *et al.*, no personalized dietary plan was given to women, personalization only related to the State of Change of the women in terms of modifying the two dietary behaviors targeted [44]. Women in the intervention group increased their dietary fiber intake but the outcome did not differ significantly from the women receiving standard care [44]. Thus the varied efficiency of these tailored dietary interventions during pregnancy depended on the intensity of counseling, the objective of the study and the type of personalization (current diet, motivation to modify targeted dietary behavior, etc.). Evaluation of the acceptability and feasibility of these interventions is critical to improving their efficiency [31], which is why most studies employing personalization in pregnant women have been identified as pilot studies designed to identify the type of interventions that might be developed at a larger scale in order to improve both maternal and infant outcomes.

Our findings regarding the perceived barriers and enablers to implementing each type of dietary changes were consistent with those identified in the literature [40, 47–49]. Indeed, we found that food preferences and habits, availability, prices, and pregnancy-specific features such as cravings, digestive disorders, and lack of energy appeared to be the important barriers to be overcome. More precisely, we showed that dietary changes from type 3 which involved the most marked changes

from the initial diet would be preferred by only a few women. Even though the barriers to implementing dietary changes from type 1 and type 2 were also identified by women in both the focus group and the online longitudinal study, they were less difficult to overcome because the changes implied by those types, especially of type 1, were less in opposition with the food preferences and habits of pregnant women.

The findings of this mixed method study should be useful to the development of strategies regarding the presentation of advice and selection of the most appropriate behavior change techniques [51] that will enable women to implement and sustain changes to their diet. For instance, modifications of the amounts consumed involved in the context of dietary changes from type 1 could be presented alongside household measures in order to overcome the feeling that every item must be weighed. Information concerning impacts on the nutrient adequacy of each change could be given to women to increase their trust in the relevance of this dietary advice and then their compliance with it. Finally, as mentioned by many women during the focus group study, the availability of several options between types of dietary changes or between dietary changes within a type, will facilitate the implementation of dietary advice.

Strengths and limitations

The major strength of this study lies in its use of the mixed method approach. For the qualitative part, the focus group generated a dynamic exchange which favored interactions and the transmission of information between participants sharing one important visible and very personal feature: their pregnancy. This enabled us to collect detailed information regarding the implementation of dietary changes and our tailored approach during pregnancy. Furthermore, in the online longitudinal study, the pregnant women were exposed for four weeks to most frequent and efficient dietary changes identified by our algorithm. Thus, by combining the findings of focus group and open-ended questions, we were able to identify both the strengths and weaknesses of our tailored approach and define opportunities for improvement. For the quantitative part, because the pregnant women were exposed to dietary changes for several weeks before completing the final questionnaires, they were able to assimilate the general approach and the three types of dietary changes before they were asked to state whether they might potentially use this advice during pregnancy and what they would expect from such a tailored approach (frequency of advice, favorite type of dietary changes, etc.).

One limitation of our study was that in both the focus group and online longitudinal study, the participants were informed about the subject before they agreed to take part. We were therefore working with specific populations who were already aware of nutrition issues and prepared to discuss or to become more informed about them. This may have result in a greater adherence to our tailored dietary advice approach when compared to pregnant women in the general population. Nevertheless, in the knowledge that this specific period is generally accompanied by a rise in nutrition awareness [7], this may have been less important than during another period of life.

Conclusion

Proposing dietary advice that is tailored to both the current diet and the specific needs of pregnant women was perceived as enabling the implementation of healthier dietary practices during pregnancy. Dietary changes involving modifications to the amounts consumed and the substitutions of food items within the same food subgroup appeared to be the most acceptable by French pregnant women we studied, so these could be grouped together and proposed as part of a computer-based tool to record dietary practices [52]. Furthermore, the findings of this mixed method study were key to identifying practical barriers and enablers which should be useful when selecting the most appropriate behavior change techniques [51] and developing strategies for the presentation of tailored advice that will ensure a better implementation and the maintenance of dietary changes.

Declarations

Abbreviations

FG: focus group study. OLS: online longitudinal study.

Ethics approval and consent to participate

Both studies were approved by the *Comité de Protection des Personnes Ile-de-France X*, a French Ethics Committee (with the identifiers “NI-2016-03-01” for the focus group study and “NI-2016-03-02” for the online longitudinal study). For the focus group study, informed consent was obtained from all participants at the time of the sessions. For the online longitudinal study, online informed consent was obtained from all participants before they completed the first questionnaire.

Consent for publication

All comments by participants have been anonymized. All participants consented to publication of the findings of this study through the informed consent form.

Availability of data and materials

The datasets (video records and written transcripts of the focus group sessions and answers to all questionnaires in the online longitudinal study) generated and analyzed during the current study are not publicly available because they are confidential in order to protect the anonymity of the participants. However, anonymized quotations from participants were included in the manuscript to support our findings.

Competing interests

Anne Lluch is employed by Danone Nutricia Research. Clélia M. Bianchi, François Mariotti, Elodie Reulet, Gaëlle Le Goff, Eric O. Verger, Jean-François Huneau, and Patricia Gurviez declare that they have no competing interests.

Funding

This study was carried out within the framework of the ECAP project supported by grants from the Fonds Français pour l’Alimentation et la Santé and from Danone Nutricia Research. The Fonds Français pour l’Alimentation et la Santé was not involved in the study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript. Anne Lluch from Danone Nutricia Research was only involved in the preparation of the manuscript.

Authors' contributions

CB, FM, JFH and PG conceived the research. CB collected the data. CB, RE, GLG and PG were involved in the analysis and interpretation of the findings. CB wrote the initial draft of the paper and FM, RE, AL, EO, JFH, GLG and PG provided feedback and contributions to various sections. All authors critically reviewed and approved the final content.

Acknowledgements

The authors express their grateful thanks to the 'L'Etoile' maternity unit in Aix-en-Provence for allowing them to conduct part of the study on their premises.

The authors would like to thank 'QualiQuanti' for its collaboration during the online longitudinal study.

The authors also thank the participants in both studies for offering their time and views.

Authors' information

Not applicable.

References

1. Herman DR, Taylor Baer M, Adams E, Cunningham-Sabo L, Duran N, Johnson DB, et al. Life Course Perspective: evidence for the role of nutrition. *Matern. Child Health J.* 2014;18:450–61.
2. Wethington E. An overview of the life course perspective: implications for health and nutrition. *J. Nutr. Educ. Behav.* 2005;37:115–20.
3. Devine CM, Bove CF, Olson CM. Continuity and change in women's weight orientations and lifestyle practices through pregnancy and the postpartum period: the influence of life course trajectories and transitional events. *Soc. Sci. Med.* 2000;50:567–82.
4. Blondel B, Kermarrec M. Enquête Nationale Périnatale 2010 - Les naissances en 2010 et leur évolution depuis 2003 [Internet]. Paris: Ministère du Travail, de l'Emploi et de la Santé; 2011 p. 132. Available from: <http://www.epopé-inserm.fr/wp-content/uploads/2015/01/Rapport-Naisances-ENP2010.pdf>
5. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Alcohol consumption among women who are pregnant or who might become pregnant--United States, 2002. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 2004;53:1178–81.
6. Lelong N, Kaminski M, Saurel-Cubizolles M-J, Bouvier-Colle M-H. Postpartum return to smoking among usual smokers who quit during pregnancy. *Eur. J. Public Health.* 2001;11:334–9.
7. Szwajcer EM, Hiddink GJ, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition awareness and pregnancy: implications for the life course perspective. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.* 2007;135:58–64.
8. Szwajcer E, Hiddink GJ, Maas L, Koelen M, van Woerkum C. Nutrition awareness before and throughout different trimesters in pregnancy: a quantitative study among Dutch women. *Fam. Pract.* 2012;29 Suppl 1:i82–8.
9. Bianchi CM, Huneau J-F, Le Goff G, Verger EO, Mariotti F, Gurviez P. Concerns, attitudes, beliefs and information seeking practices with respect to nutrition-related issues: a qualitative study in French pregnant women. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2016;16:306.
10. Szwajcer EM, Hiddink GJ, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition-related information-seeking behaviours before and throughout the course of pregnancy: consequences for nutrition communication. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2005;59 Suppl 1:S57-65.
11. Szwajcer EM, Hiddink GJ, Maas L, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition-related information-seeking behaviours of women trying to conceive and pregnant women: evidence for the life course perspective. *Fam. Pract.* 2008;25 Suppl 1:i99-104.
12. Goodrich K, Cregger M, Wilcox S, Liu J. A qualitative study of factors affecting pregnancy weight gain in African American women. *Matern. Child Health J.* 2013;17:432–40.
13. Whitaker KM, Wilcox S, Liu J, Blair SN, Pate RR. African American and White women's perceptions of weight gain, physical activity, and nutrition during pregnancy. *Midwifery.* 2016;34:211–20.
14. Kominiarek MA, Gay F, Peacock N. Obesity in Pregnancy: A Qualitative Approach to Inform an Intervention for Patients and Providers. *Matern. Child Health J.* 2015;
15. Graham JE, Mayan M, McCargar LJ, Bell RC, Sweet Moms Team. Making compromises: a qualitative study of sugar consumption behaviors during pregnancy. *J. Nutr. Educ. Behav.* 2013;45:578–85.
16. Whitaker KM, Wilcox S, Liu J, Blair SN, Pate RR. Patient and Provider Perceptions of Weight Gain, Physical Activity, and Nutrition Counseling during Pregnancy: A Qualitative Study. *Womens Health Issues.* 2016;26:116–22.
17. Blumfield ML, Hure AJ, Macdonald-Wicks L, Smith R, Collins CE. Systematic review and meta-analysis of energy and macronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutr. Rev.* 2012;70:322–36.
18. Blumfield ML, Hure AJ, Macdonald-Wicks L, Smith R, Collins CE. A systematic review and meta-analysis of micronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutr. Rev.* 2013;71:118–32.

19. Christian P, Stewart CP. Maternal Micronutrient Deficiency, Fetal Development, and the Risk of Chronic Disease. *J. Nutr.* 2010;140:437–45.
20. Barker DJP. The developmental origins of adult disease. *Eur. J. Epidemiol.* 2003;18:733–6.
21. Celis-Morales C, Lara J, Mathers JC. Personalising nutritional guidance for more effective behaviour change. *Proc. Nutr. Soc.* 2015;74:130–138.
22. Eyles H, Ni Mhurchu C. Tailored nutrition education: is it really effective? *Public Health Nutr.* 2012;15:561–6.
23. Eyles HC, Mhurchu CN. Does tailoring make a difference? A systematic review of the long-term effectiveness of tailored nutrition education for adults. *Nutr. Rev.* 2009;67:464–80.
24. Broekhuizen K, Kroeze W, van Poppel MNM, Oenema A, Brug J. A systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of computer-tailored physical activity and dietary behavior promotion programs: an update. *Ann. Behav. Med. Publ. Soc. Behav. Med.* 2012;44:259–86.
25. de Vries H, Brug J. Computer-tailored interventions motivating people to adopt health promoting behaviours: introduction to a new approach. *Patient Educ Couns.* 1999;36:99–105.
26. Krebs P, Prochaska JO, Rossi JS. Defining what works in tailoring: a meta-analysis of computer-tailored interventions for health behavior change. *Prev. Med.* 2010;51:214–21.
27. Lairson DR, Newmark GR, Rakowski W, Tiro JA, Vernon SW. Development costs of a computer-generated tailored intervention. *Eval. Program Plann.* 2004;27:161–9.
28. Bianchi CM, Huneau J-F, Barbillon P, Lluch A, Egnell M, Fouillet H, et al. A clear trade-off exists between the theoretical efficiency and acceptability of dietary changes that improve nutrient adequacy during pregnancy in French women. *En Cours Publ.* 2017;
29. Bianchi CM, Mariotti F, Verger EO, Huneau J-F. Pregnancy Requires Major Changes in the Quality of the Diet for Nutritional Adequacy: Simulations in the French and the United States Populations. Cardoso MA, editor. *PLOS ONE.* 2016;11:e0149858.
30. Vandelanotte C, Bourdeaudhuij ID, Brug J. Acceptability and feasibility of an interactive computer-tailored fat intake intervention in Belgium. *Health Promot. Int.* 2004;19:463–70.
31. Weinrich NK. *Hands-On Social Marketing A Step-by-Step Guide to Designing Change for Good.* 2nd Ed. Los Angeles: SAGE Publishing; 2011.
32. Pluye P, Hong QN. Combining the power of stories and the power of numbers: mixed methods research and mixed studies reviews. *Annu. Rev. Public Health.* 2014;35:29–45.
33. Hackley B, Kennedy HP, Berry DC, Melkus GD. A mixed-methods study on factors influencing prenatal weight gain in ethnic-minority women. *J. Midwifery Womens Health.* 2014;59:388–98.
34. Sui Z, Turnbull DA, Dodd JM. Overweight and obese women’s perceptions about making healthy change during pregnancy: a mixed method study. *Matern. Child Health J.* 2013;17:1879–87.
35. Tong A, Sainsbury P, Craig J. Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): a 32-item checklist for interviews and focus groups. *Int. J. Qual. Health Care.* 2007;19:349–57.
36. Ajzen I. The theory of planned behavior. *Organ. Behav. Hum. Decis. Process.* 1991;50:179–211.
37. Braun V, Clarke V. Using thematic analysis in psychology. *Qual. Res. Psychol.* [Internet]. 2006 [cited 2016 Mar 1]; Available from: <http://sci-hub.io/10.1191/1478088706qp063oa>
38. Fade SA, Swift JA. Qualitative research in nutrition and dietetics: data analysis issues. *J. Hum. Nutr. Diet.* 2011;24:106–14.
39. Gardner B, Croker H, Barr S, Briley A, Poston L, Wardle J, et al. Psychological predictors of dietary intentions in pregnancy. *J. Hum. Nutr. Diet. Off. J. Br. Diet. Assoc.* 2012;25:345–53.

40. Mullan B, Henderson J, Kothe E, Allom V, Orbell S, Hamilton K. The Role of Habit and Perceived Control on Health Behavior among Pregnant Women. *Am. J. Health Behav.* 2016;40:291–301.
41. Whitaker KM, Wilcox S, Liu J, Blair SN, Pate RR. Pregnant women’s perceptions of weight gain, physical activity, and nutrition using Theory of Planned Behavior constructs. *J. Behav. Med.* 2016;39:41–54.
42. Lange D, Corbett J, Lippke S, Knoll N, Schwarzer R. The interplay of intention, autonomy, and sex with dietary planning: A conditional process model to predict fruit and vegetable intake. *Br. J. Health Psychol.* 2015;20:859–76.
43. Sheeran P. Intention—Behavior Relations: A Conceptual and Empirical Review. *Eur. Rev. Soc. Psychol.* 2002;12:1–36.
44. Hawkins M, Hosker M, Marcus BH, Rosal MC, Braun B, Stanek EJ, et al. A pregnancy lifestyle intervention to prevent gestational diabetes risk factors in overweight Hispanic women: a feasibility randomized controlled trial. *Diabet. Med.* 2015;32:108–15.
45. Chasan-Taber L, Marcus BH, Rosal MC, Tucker KL, Hartman SJ, Pekow P, et al. Proyecto Mamá: a lifestyle intervention in overweight and obese Hispanic women: a randomised controlled trial – study protocol. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2015;15:157.
46. Willcox JC, Campbell KJ, McCarthy EA, Wilkinson SA, Lappas M, Ball K, et al. Testing the feasibility of a mobile technology intervention promoting healthy gestational weight gain in pregnant women (txt4two) - study protocol for a randomised controlled trial. *Trials.* 2015;16:209.
47. Di Carlo C, Iannotti G, Sparice S, Chiacchio MP, Greco E, Tommaselli GA, et al. The role of a personalized dietary intervention in managing gestational weight gain: a prospective, controlled study in a low-risk antenatal population. *Arch. Gynecol. Obstet.* 2014;289:765–70.
48. Chang M-W, Nitzke S, Guilford E, Adair CH, Hazard DL. Motivators and barriers to healthful eating and physical activity among low-income overweight and obese mothers. *J. Am. Diet. Assoc.* 2008;108:1023–8.
49. Hromi-Fiedler A, Chapman D, Segura-Pérez S, Damio G, Clark P, Martinez J, et al. Barriers and Facilitators to Improve Fruit and Vegetable Intake Among WIC-Eligible Pregnant Latinas: An Application of the Health Action Process Approach Framework. *J. Nutr. Educ. Behav.* 2016;48:468–477.e1.
50. Reyes NR, Klotz AA, Herring SJ. A qualitative study of motivators and barriers to healthy eating in pregnancy for low-income, overweight, African-American mothers. *J. Acad. Nutr. Diet.* 2013;113:1175–81.
51. Michie S, Ashford S, Sniehotta FF, Dombrowski SU, Bishop A, French DP. A refined taxonomy of behaviour change techniques to help people change their physical activity and healthy eating behaviours: the CALO-RE taxonomy. *Psychol. Health.* 2011;26:1479–98.
52. Ashman AM, Collins CE, Brown LJ, Rae KM, Rollo ME. A Brief Tool to Assess Image-Based Dietary Records and Guide Nutrition Counselling Among Pregnant Women: An Evaluation. *JMIR MHealth UHealth [Internet].* 2016 [cited 2017 May 3];4. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5116101/>

2.4.3. Matériel supplémentaire soumis pour la publication en ligne

Additional file 1. Details of the study relative to the research team and reflexivity, study design and analysis and findings according to the consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ) [35].

Domain 1: Research team and reflexivity

Personal characteristics

The first author (CB), a PhD student whose research interest is nutrition during pregnancy, was the moderator. She was chosen as she was a young woman, but not a healthcare professional, to facilitate discussions by the participants and to limit any judgemental feelings. She had previously been trained in leading focus group interviews.

Relationship with participants

The moderator did not establish a relationship with the participants prior to the study. However, she had a brief telephone interview with each participant at the time of recruitment in order to describe the content of focus group sessions and briefly present herself (credentials, occupation, research interests and reasons for performing the research).

Domain 2: Study design

Theoretical framework

As no previous study had been performed on the eating behaviours of French pregnant women, we did not state a pre-determined theory before data collection. An inductive thematic approach, adapted from the grounded theory, was therefore implemented to analyse the data. This approach involves familiarisation with the data, an open-coding process, and data interpretation in the themes derived from identified codes [36, 37].

Participant selection

In Paris, pregnant women were recruited from consumers registered in the database of a generalist market research company. The company contacted women living in the Paris region by email, and if they were pregnant they were invited to take part in a focus group session on diet and nutrition.

Those interested in participating registered with the company using an online form. In Aix-en-Provence, pregnant women were recruited using posters displayed in the gynaecologists' waiting room in a maternity clinic (L'Etoile Maternity Clinic, Aix-en-Provence, Provence Alpes Côte d'Azur, France). They could register either by email or by calling the first author. After registering, the women were contacted by telephone by the first author in order to verify their eligibility regarding the inclusion criteria and to arrange their attendance at one of the scheduled sessions. Before each session, the first author described the context, objectives and content of the focus group session, giving information on the time, date, duration and location of the session and answering any questions about the study. In order to anticipate the drop-outs that can affect attendance at focus groups, even after registration, at least eight participants were scheduled for each session. Finally, a total of 61 pregnant women were scheduled, 21 dropped out that resulted in a total of 40 pregnant women participated in the study.

Setting

Each focus group session was organised in a special meeting room at the maternity clinic in Aix-en-Provence or at AgroParisTech School of Life Sciences in Paris. Only the moderator, assistant moderator and participants were present during a session. Healthy snacks and drinks were offered to the participants.

Data collection

Details relative to the interview guide, number of interviews, visual recordings, field notes and durations are given in the 'Methods' section of the article.

Following each focus group session, the moderator and assistant moderator debriefed the session together, identified the main themes to be used for the coding process and wrote a report. Three focus groups were initially carried out and transcribed. A preliminary analysis was made by the first and last authors regarding the reports on the first three first sessions, so as to identify whether thematic saturation had been reached or if the interview guide needed to be adapted because of

emerging themes. They agreed to perform four more focus group sessions without modifying the interview guide. A further analysis was performed by the first and last authors, which covered the reports on all seven sessions. The first and last authors agreed that the saturation had been reached, inasmuch as no new themes had been identified by this point. A short summary of the findings was sent by email to all the participants.

Domain 3: Analysis and findings

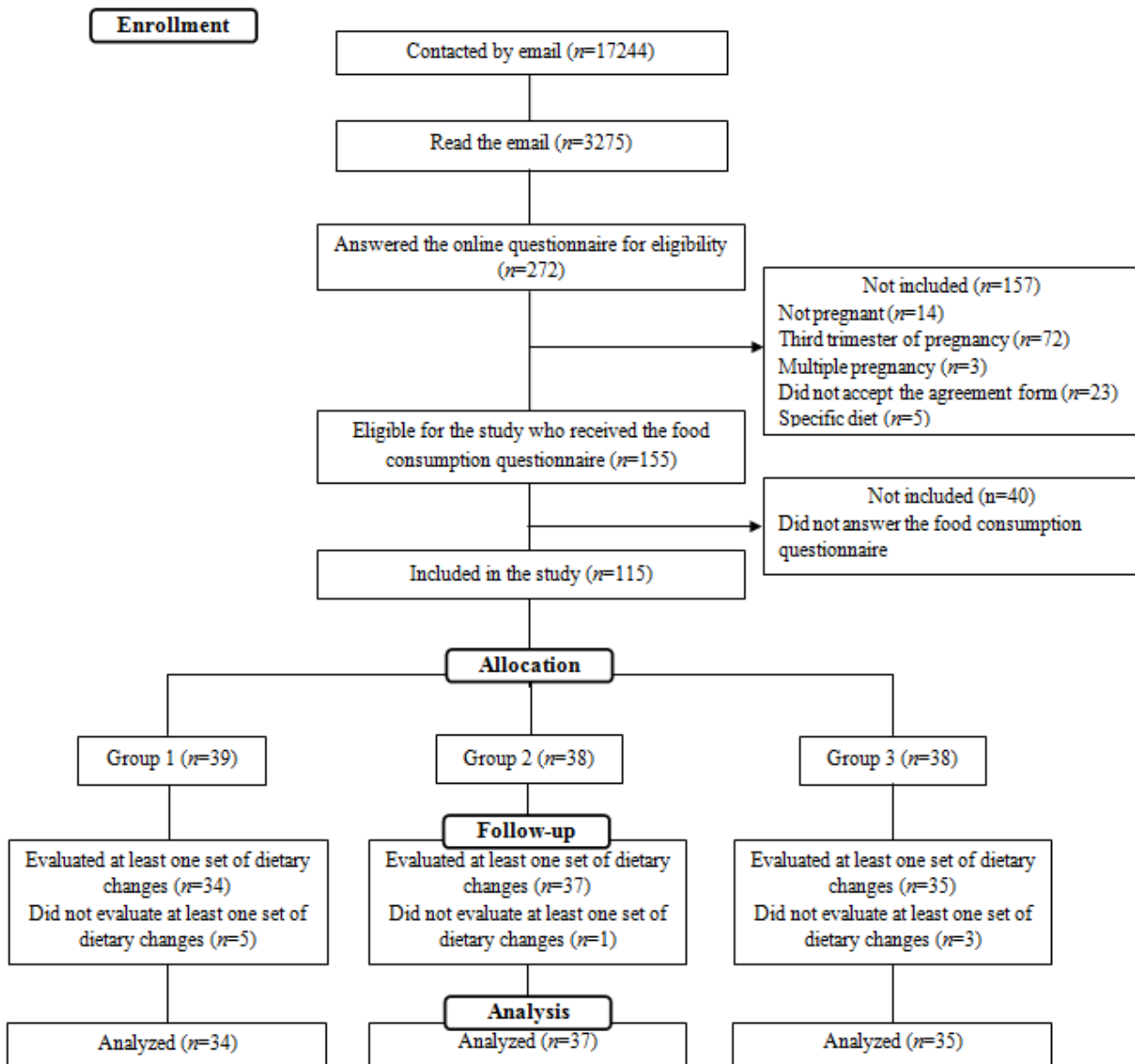
Data analysis

Details relative to the number of data coders and the software used are described in the ‘Methods’ section of the article. Details relative to the description and derivation of themes and sub-themes are provided in the Additional file 3. After completion of the analysis, a short summary of the findings was sent to the participants by email.

Reporting

The themes and sub-themes are presented in the ‘Results’ section of the article. Quotations from the participants were used to illustrate the themes.

Additional file 2. Diagram of subject flow and reasons for non-inclusions in the study of the acceptability of dietary changes during pregnancy.



Additional file 3. Themes and subthemes identified in the focus group study

Themes	Sub-themes
<p>The ideal dietary advice tool for pregnant women</p>	<p>1. General features:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A tailored, easy-to-use and not guilt-inducing tool - A nine-month support <p>2. Content</p> <p>3. User profile</p>
<p>The tailored dietary advice tool we suggested with our model</p>	<p>1. General feelings about this tool</p> <ul style="list-style-type: none"> - Strengths - Weaknesses <p>2. Specific feelings about each type of dietary changes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tailored dietary changes of type 1 - Tailored dietary changes of type 2 - Tailored dietary changes of type 3 <p>3. Ideas for improvement</p>

Additional file 4. Answers to the final questionnaire (n=80) designed through an adaptation of the Theory of Planned Behavior.

Intention	Since I am pregnant, I have intended to modify my dietary habits	
	All the time	23.8% (19) ¹
	From time to time	71.3% (57)
	Rarely	2.5% (2)
	Never	2.5% (2)
Attitudes	To modify my dietary habits is good for my health	
	Strongly agree	53.8% (43)
	Agree	43.8% (35)
	Neither/Nor agree	2.5% (2)
	Disagree	0.0% (0)
	Strongly disagree	0.0% (0)
	To modify my dietary habits is good for my baby's health	
	Strongly agree	72.5% (58)
	Agree	23.8% (19)
	Neither/Nor agree	3.8% (3)
	Disagree	0.0% (0)
	Strongly disagree	0.0% (0)
	To modify my dietary habits is good for increasing my vitamins and minerals intakes	
	Strongly agree	42.5% (34)
	Agree	48.8% (39)
Neither/Nor agree	8.8% (7)	
Disagree	0.0% (0)	
Strongly disagree	0.0% (0)	
Subjective norm	People close to me advise me to modify my dietary habits	
	Strongly agree	20.0% (16)
	Agree	23.8% (19)
	Neither/Nor agree	38.8% (31)
	Disagree	11.3% (9)
	Strongly disagree	5.0% (4)
	No answer	1.3% (1)
	My healthcare providers during pregnancy advise me to modify my dietary habits	
	Strongly agree	33.8% (27)
	Agree	37.5% (30)
Neither/Nor agree	13.8% (11)	
Disagree	8.8% (7)	
Strongly disagree	6.3% (5)	
Perceived Behavioral Control	To modify my dietary habits is difficult because it would take too much time to me	
	Strongly agree	7.5% (6)
	Agree	16.3% (13)
	Neither/Nor agree	18.8% (15)
	Disagree	36.3% (29)
	Strongly disagree	21.3% (17)
	To modify my dietary habits is difficult because it would cost too much to me	
	Strongly agree	10.0% (8)
	Agree	28.8% (23)
	Neither/Nor agree	20.0% (16)
	Disagree	23.8% (19)
	Strongly disagree	16.3% (13)
	No answer	1.3% (1)
	To modify my dietary habits is difficult because all foods I want to buy are not necessarily available	
	Strongly agree	10.0% (8)
Agree	28.8% (23)	
Neither/Nor agree	20.0% (16)	
Disagree	23.8% (19)	
Strongly disagree	17.5% (14)	

	To modify my dietary habits is difficult because I don't like eating some foods	
	Strongly agree	23.8% (19)
	Agree	43.8% (35)
	Neither/Nor agree	11.3% (9)
	Disagree	10.0% (8)
	Strongly disagree	11.3% (9)
	To modify my dietary habits is difficult because of digestive disorders related to pregnancy	
	Strongly agree	12.3% (10)
	Agree	19.8% (16)
	Neither/Nor agree	12.3% (10)
	Disagree	18.5% (15)
	Strongly disagree	35.8% (29)

¹ Percentage of respondents (number of respondents), all such values

2.5. Travail personnel n°5 : Évaluation de l'efficacité de conseils alimentaires personnalisés générés par un algorithme informatique pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation chez les femmes enceintes en France

2.5.1. Résumé

Contexte : En France, les femmes manquent de conseils alimentaires positifs pour les accompagner dans l'adoption de pratiques alimentaires plus saines pendant leur grossesse. La personnalisation des conseils donnés aux femmes enceintes a été identifiée comme un levier à leur application dans le régime. Globalement, les interventions diététiques personnalisées s'avèrent efficaces pour améliorer la qualité de l'alimentation des individus. Cependant, nous ne connaissons pas d'intervention ayant proposé des conseils alimentaires personnalisés pour permettre aux femmes de satisfaire les besoins nutritionnels accrus durant la grossesse.

Objectif : L'objectif de cette étude était d'évaluer si une approche proposant, en accompagnement de recommandations alimentaires génériques, des conseils alimentaires personnalisés et générés pas-à-pas par un algorithme d'optimisation développé sur un programme informatique pourrait améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de femmes enceintes, et cela de manière plus importante qu'une approche proposant seulement des recommandations génériques.

Méthodes : Quarante-deux femmes enceintes (entre 13 et 23 semaines d'aménorrhée) inscrites à la Maternité Notre-Dame de Bon Secours (75014, Paris) ont été incluses dans un essai contrôlé à simple insu avec répartition au hasard d'une durée de douze semaines. Trois jours d'enregistrement de consommations alimentaires ont été renseignés en ligne en début (semaines 2 et 3) et en fin d'étude (semaines 11 et 12). La qualité nutritionnelle de l'alimentation de chaque femme a été calculée en utilisant l'indice PANDiet, un score de 100 points, prenant en compte les besoins nutritionnels spécifiques de la grossesse. Les femmes ont été réparties de manière aléatoire entre un groupe témoin, recevant uniquement des recommandations alimentaires génériques par l'intermédiaire d'un guide, et un groupe intervention, recevant le même guide et neuf conseils alimentaires personnalisés générés par un algorithme informatique pour optimiser leur score de PANDiet.

Résultats : Soixante-dix-huit femmes ont participé de manière complète au suivi diététique de douze semaines. Les scores de PANDiet initial étaient similaires pour le groupe contrôle et le groupe intervention ($60,4 \pm 7,3$ points contre $60,3 \pm 7,3$, NS). Une amélioration du score de PANDiet était observée dans le groupe intervention ($+3,6 \pm 9,3$, $P < 0,05$) mais pas dans le groupe témoin ($-0,3 \pm 7,3$, NS). La différence entre les deux groupes était significative ($P < 0,05$). Les améliorations du score de PANDiet initial étaient plus importantes pour les femmes présentant les scores initiaux les plus faibles. Dans le groupe intervention, les probabilités d'adéquation ont été améliorées pour les apports en acide α -linoléique, thiamine, folate et cholestérol ($P < 0,05$). Les femmes du groupe intervention déclaraient avoir appliqué en moyenne huit conseils (étendue : 5 – 9) sur les neuf qu'elles avaient choisis.

Conclusion : Des conseils personnalisés générés pas-à-pas par un algorithme informatique, lorsqu'ils sont proposés en accompagnement de recommandations alimentaires génériques, permettent l'amélioration de la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse.

Valorisation : Ce travail fait l'objet d'un manuscrit actuellement en cours de préparation.

Messages-clés

- La personnalisation des conseils alimentaires s'avère efficace pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse.
- L'emploi de recommandations génériques seulement ne permet pas d'améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse.
- Les femmes enceintes ayant reçu les conseils alimentaires personnalisés ont déclaré les avoir appliqués en majorité dans leur régime alimentaire.
- Il paraît pertinent de proposer une telle approche de conseils alimentaires personnalisés pour accompagner les femmes enceintes en France vers la satisfaction de leurs besoins nutritionnels.

2.5.2. Manuscrit (en cours de préparation) : Computer-based tailored dietary counseling improves the nutrient adequacy of French pregnant women: a randomized controlled trial

Cette partie présente le manuscrit intitulé « *Computer-based tailored dietary counseling improves the nutrient adequacy of French pregnant women: a randomized controlled trial* » en cours de préparation pour être soumis pour publication.

Ce manuscrit a été co-écrit avec François Mariotti, Anne Lluch, Claire Journet, Yaëlle Stehr, Hélène Beaussier, Julien Fournier, Stéphane Dervaux, Dylan Cohen-Tanuggi, Elodie Reulet, Eric O. Verger, Elie Azria, et Jean-François Huneau.

Computer-based tailored dietary counseling improves the nutrient adequacy of French pregnant women: a randomized controlled trial^{8,9,10,11}

Clélia M. Bianchi¹, François Mariotti^{1}, Anne Lluch², Claire Journet¹, Yaëlle Stehr³, Hélène Beaussier⁴, Julien Fournier⁴, Stéphane Dervaux⁵, Dylan Cohen-Tanuggi⁵, Elodie Reulet¹, Eric O. Verger⁶, Elie Azria^{3,7}, Jean-François Huneau¹*

¹ UMR Physiologie de la Nutrition et du Comportement Alimentaire, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France.

² Global Nutrition Department, Danone Nutricia Research, Centre Daniel Carasso, RD 128, 91737 Palaiseau Cedex, France.

³ Notre Dame de Bon Secours Maternity Unit, Groupe Hospitalier Paris Saint-Joseph, 75014, Paris, France.

⁴ Clinical Research Center, Groupe Hospitalier Paris Saint-Joseph, 75014, Paris, France

⁵ UMR Mathématiques et Informatique Appliquées, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, 75005, Paris, France.

⁶ NUTRIPASS, IRD, Université de Montpellier, SupAgro, 34000 Montpellier, France.

⁷ UMR1153 - Obstetrical, Perinatal and Pediatric Epidemiology (EPOPé research team), DHU Risks in Pregnancy, Paris Descartes University - INSERM, 75014, Paris, France.

**Author responsible for correspondence and to whom requests for reprints should be addressed:* François Mariotti; Mailing address: AgroParisTech, UMR 914 PNCA, 16 rue Claude Bernard, F-75005, Paris, France; email: francois.mariotti@agroparistech.fr;

Names for PubMed indexing: Bianchi, Mariotti, Lluch, Journet, Stehr, Beaussier, Fournier, Dervaux, Cohen-Tanuggi, Reulet, Verger, Azria, Huneau.

Number of tables: 3

Number of figures: 3

Short running title: Tailored dietary counseling for pregnancy

⁸ OSM were submitted with the manuscript

⁹*List of abbreviations:*

Adeq-S: Adequacy Sub-score; ALA: Alpha-linolenic acid; ANSES: French Agency for Food, Environmental and Occupational Health (*Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*); BMI: Body Mass Index; DHA: docosahexaenoic acid; EIEA: energy intake excluding alcohol; EPA: eicosapentaenoic acid; INPES : French Institute for Health Promotion and Health Education (*Institut National de Prévention et D'Education pour la Santé*); LA: linoleic acid; Mod-S: Moderation Sub-score; PANDiet: Probability of Adequate Nutrient Intakes; PUFA: polyunsaturated fatty acids; SFA: saturated fatty acids;

¹⁰*Disclaimers:* CM Bianchi, F Mariotti, C Journet, Y Stehr, H Beaussier, J Fournier, S Dervaux, D Cohen-Tanuggi, E Reulet, EO Verger, E Azria and JF Huneau have no conflicts of interest. A Lluch is employed by Danone Nutricia Research.

¹¹*Sources of financial support:* this study received support in the form of a grant from Danone Nutricia Research and Blédina.

Abstract

BACKGROUND: During pregnancy, the diet of a mother-to-be should be adapted to meet increases in nutrient requirements. Pregnant women seem to be keener on adopting healthier diets.

OBJECTIVE: The objective of this study was to evaluate if a guided, stepwise and tailored dietary counseling program, using an optimization algorithm, could improve the nutrient adequacy of the diet of pregnant women, when implemented within an approach providing generic guidelines.

METHODS: 80 pregnant women (13-23 weeks of amenorrhea) who attended Notre-Dame de Bon Secours Maternity were randomly allocated to the control or the intervention group. Dietary data were obtained during weeks 2 and 3 (initial assessment) and weeks 11 and 12 (final assessment) through online 3 days dietary record. The nutrient adequacy of the diet was calculated using the PANDiet score, a 100-point diet quality index, adapted with specific nutrient requirements for pregnancy. In both groups, women were provided generic dietary guidelines using a reference booklet. In the intervention group, women also received nine tailored dietary advice, as identified using an algorithm aimed at optimizing their initial PANDiet score.

RESULTS: 78 pregnant women completed the 12-week dietary follow-up. Initial PANDiet scores were similar between control and intervention group (60.4 ± 7.3 vs 60.3 ± 7.3 , NS). An improvement of the PANDiet score was observed in the intervention group ($+3.6 \pm 9.3$, $P < 0.05$) but not in the control group (-0.3 ± 7.3 , NS), and this difference in variations between both groups was significant ($P < 0.05$). Improvements were much more important in the women with the lower initial score. In the intervention group, improvements in probabilities of adequacy for ALA, thiamin, folate and cholesterol intakes were observed ($P < 0.05$).

CONCLUSION: Tailored dietary counseling using a computer-based algorithm is more efficient than generic dietary counseling alone in improving the nutrient adequacy of the diet of French women in mid-pregnancy.

Keywords: computer-based, tailored, dietary counseling, pregnancy, nutrient adequacy, behavior change techniques.

Introduction

Over the past few decades, evidence in favor of the Developmental Origin of Health and Disease (DOHaD) paradigm has increased (1–3). Indeed, maternal good nutrition as defined by the meeting of pregnancy extra-needs without excessive intakes of unfavorable nutrients, is critical for the mother's health and well-being but also for the one of her child *in utero*, and then in the childhood and even the adult life (4, 5). In developed countries, inadequate intakes of both macro- and micronutrients are observed during pregnancy (6, 7), with high intakes of fat, saturated fats (SFA) (6) and sugars (8), low intakes in fiber and polyunsaturated fats (PUFA) (6) of which the $\omega 6:\omega 3$ ratio is inadequate (9, 10). As regards to micronutrients, the intakes of vitamin and minerals identified as critical during pregnancy is of concern, with inadequate intakes reported for vitamin D, folates, iron (7) and iodine (11, 12). In France, the few studies that assessed nutrient intakes of pregnant women revealed the same trends with inadequate intakes in fat, SFA (13), dietary fibre, vitamin D (14), folates (14, 15), iron (15) and iodine (15,16) and an inadequate PUFA profile (10, 13). As demonstrated in many qualitative studies, pregnancy is accompanied by a rise in nutrition awareness (17) associated with an increase in nutrition-related information seeking practices (18) and the adoption of healthier diets (19–21). However, pregnant women are lost among confusing information about nutrition-related issues and are looking to receive credible and trustworthy dietary advice (21–23). These findings have been recently confirmed in French pregnant women (24, 25). This puts pregnancy as a window of opportunity to implement dietary interventions using dietary counseling. An increasing number of lifestyle interventions using dietary counseling that targeted pregnant women had been designed and had reported benefits on the consumption of fruit and vegetables (26, 27), on the intakes of SFA, calcium, potassium, vitamins A and C, riboflavin and folate (26) or on the adequate contribution of macronutrients to the energy intake (28). Furthermore, lifestyle interventions providing dietary counseling were also shown to be beneficial to maternal and pregnancy outcomes such as weight gain (29, 30), systolic and diastolic blood pressure (31) and incidence of caesarian deliveries (29). As regards neonatal outcomes, no clear effect of dietary counseling could have been observed (32). However, lifestyle interventions and the methods employed to deliver dietary counseling are varied. A large majority of these interventions were not tailored but individualized, meaning that a dietitian interacted with the woman to provide generic dietary recommendations and/or meal plans. However, nutrition interventions that used a computer-based algorithm to provide tailored dietary counseling had proven to be more efficient in

improving the diet of individuals while reducing costs (33–35). Tailoring implied selecting the most appropriate characteristics of the individual to tailor the advice, using behavior change techniques adapted to the target population and selecting the best computer-based device for data collection and advice provision (34). Recently, our group developed a computer-based tailored dietary counseling approach for pregnant women, based on the improvement of the nutrient adequacy of their individual diet, as assessed by the PANDiet score (36, 37). The acceptability of this approach had been evaluated by French pregnant women and results were used to refine it (24, 25, 37). No computer-based tailored dietary intervention which takes into account the global nutrient adequacy of the diet had been reported in pregnant women with normal pre-pregnancy BMI. Thus, the objective of this study was to evaluate if a guided, stepwise and tailored dietary counseling program, using an optimization algorithm, could improve the nutrient adequacy of the diet of pregnant women, better than an approach only based on generic guidelines.

Methods

Study design and ethics

The study was a 12-week, 2 arms, single-blind, randomized, controlled clinical trial (**Figure 1**). The study was registered to the French National for Medicines and Health Products Safety (*Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des Produits de Santé*) (identification number: ID RCB 2016-A00853648) under the administrative supervision of the French Ministry of Health. The study was also approved by two French Committees (*Comité de Protection des Personnes (CPP) Île-de-France II* (identification number: 2016-07-02 MS1 SC) and *Comité Consultatif sur le Traitement de l'Information en matière de Recherche dans le domaine de la Santé (CCTIRS)* (identification number: 16-259)). The trial was registered at clinicaltrials.gov as NCT03084627.

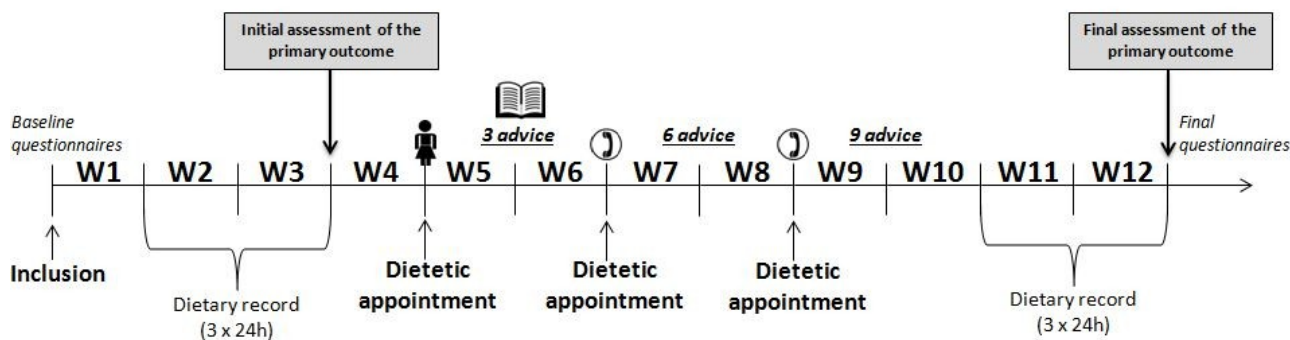


Figure 1. Timeline of the 12 week dietetic follow-up for one participant. The pictogram presenting a woman corresponds to a face-to-face dietetic appointment, whereas the pictogram presenting a telephone corresponds to a phone dietetic appointment. The pictogram presenting a book is placed to illustrate the time where the booklet was provided to all participants.

Specificities for the intervention group were presented in bold, italic and underlined characters.

W, weeks.

Written informed consent was obtained from all subjects before any data collection. For the inclusion, 186 women were approached when attending their first appointment with the midwife in the maternity or by means of flyers and posters displayed in waiting rooms in the maternity. The day of inclusion, all participants filled three questionnaires. The first questionnaire was related to sociodemographics, the second one assessed some pregnancy characteristics (current and previous ones), and the last one evaluated basic characteristics of their lifestyle (including diet). Baseline characteristics of participants are presented in **Table 1**. Participants were randomized within two weeks after their inclusion. During weeks 2 and 3 (initial), diet was assessed for all participants from 3 days online diet record (see “Dietary assessment” section). At the beginning of week 5, participants attended their first dietetic appointment with the dietitian which lasted between 30 and 45 minutes. Details about the content of dietetic appointments for the control and intervention groups are provided in the “Dietary appointment content” section. At the beginning of weeks 7 and 9, all participants were contacted by phone by the dietitian for their second and third dietetic appointments. During weeks 11 and 12 (final), diet was assessed as during weeks 2 and 3. After completing their last diet record, participants filled two online questionnaires about the modification of their dietary habits during pregnancy and about dietary counseling they received during the study. The last questionnaire differed between the control and intervention group. The primary

outcome measure of the study was the variation in the PANDiet score between the initial and the final dietary assessment. The secondary outcome measures of the study were the variation in the items composing the PANDiet score (subscores and probabilities of adequacy for nutrient intakes) and the frequency of reading of the booklet for both groups and the implementation of advice (number and frequency) for the intervention group only.

Participants

All participants attended Notre-Dame de Bon Secours Maternity (Paris Saint-Joseph Hospital, Paris, France) for their antenatal care. Inclusion criteria were, as follows: female, pregnant, weeks of amenorrhea between 10 and 24, age between 18 and 40 y, BMI (in kg/m²) of 18.5-25, fluently speaking, reading and writing French, with a daily internet access, valid electronic email and phone number and benefiting from French national health insurance. Non inclusion criteria were, as follows: multiple pregnancy, at-risk pregnancy (according to the maternity classification), gestational diabetes mellitus antecedents (for multiparous only), health conditions requiring a specific diet, vegan diets, major food allergies related to food-labeled allergens according to the Regulation n°1169/2011 of the European Parliament and of the Council. Exclusion criteria were as follows: gestational diabetes diagnosis during the study protocol (12 weeks), diagnosis of pregnancy complications requiring modifications in the diet or spontaneous abortion. Participants were randomly allocated into two groups by blocks of twelve that were balanced according to age, BMI, parity (percentage of primiparous in each group) and household income level, using a mathematical method to minimize differences between groups. Participants were blinded to the existence of two different approaches of dietary counseling. Diagram of subjects flow according to CONSORT guidelines is presented in **Figure 2**.

Table 1. Characteristics of women included in the analysis of the MON CAP Grossesse randomized controlled trial by group¹ (control group: n=38; intervention group: n=40) and for the total study population (n=78).

	Control (n=38)	Intervention (n=40)	Total (n=78)
Age² (years)	31.4 ± 3.63	31.5 ± 3.69	31.4 ± 3.64
Number of children³			
0	65.8% (25)	62.5% (25)	64.1% (50)
1	29.0% (11)	30.0% (12)	29.5% (23)
2	5.3% (2)	5.0% (2)	5.1% (4)
3	0.0% (0)	2.5% (1)	1.3% (1)
Socioprofessional group^{3,4}			
Craftsperson, Storekeeper	5.3% (2)	0.0% (0)	2.6% (2)
Senior executive	60.5% (23)	52.5% (21)	56.4% (44)
Intermediate profession	10.5% (4)	15.0% (6)	12.8% (10)
Employee	15.8% (6)	17.5% (7)	16.7% (13)
Student	0.0% (0)	2.5% (1)	1.3% (1)
Inactive	5.3% (2)	7.5% (3)	6.4% (5)
Other	1.3% (1)	5.0% (1)	3.9% (3)
Highest diploma^{3,4}			
PhD or MD	2.6% (1)	2.5% (1)	2.6% (2)
Master	60.5% (23)	67.5% (27)	64.1% (50)
Bachelor	7.9% (3)	10.0% (4)	9.0% (7)
Undergraduate (two years after high school)	18.4% (7)	12.5% (5)	15.4% (12)
High school diploma	7.5% (3)	2.5% (1)	5.1% (4)
Technical diploma (two years after middle school)	2.6% (1)	2.5% (1)	2.6% (2)
No diploma, middle school education	0.0% (0)	2.5% (1)	1.3% (1)
Household income^{3,4}			
<500 €	0.0% (0)	2.5% (1)	1.3% (1)
2,000 – 2,999 €	15.8% (6)	12.5% (5)	14.1% (11)
3,000 – 3,999 €	13.2% (5)	12.5% (5)	12.8% (10)
4,000 – 4,999 €	26.3% (10)	20.0% (8)	23.1% (18)
≥5,000 €	44.7% (17)	52.5% (21)	48.7% (38)
Number of weeks of amenorrhea²	18.8 ± 2.51	19.1 ± 2.76	19.0 ± 2.63
Primiparous³	65.0% (25)	62.5% (25)	64.1% (50)
Attention to a healthy diet			
– Before this pregnancy^{3,5}			
Totally agree	31.6% (12)	32.5% (13)	32.1% (25)
Agree	57.9% (22)	52.5% (21)	55.1% (43)
Neither agree nor disagree	10.5% (4)	10.0% (4)	10.3% (9)
Disagree	0.0% (0)	2.5% (1)	1.3% (1)
Totally disagree	0.0% (0)	2.5% (1)	1.3% (1)
– Since the beginning of pregnancy^{3,6}			
Totally agree	47.4% (18)	35.0% (14)	41.0% (32)
Agree	31.6% (12)	50.0% (20)	41.0% (32)
Neither agree nor disagree	13.2% (5)	12.5% (5)	12.8% (10)
Disagree	5.3% (2)	2.5% (1)	3.9% (3)
Totally disagree	2.6% (1)	0.0% (0)	1.3% (1)

¹ No difference between groups was identified for all presented variables using either Student t-tests for continuous variables or Fisher exact's tests for categorical variables. $P > 0.05$

² Values are mean ± SD

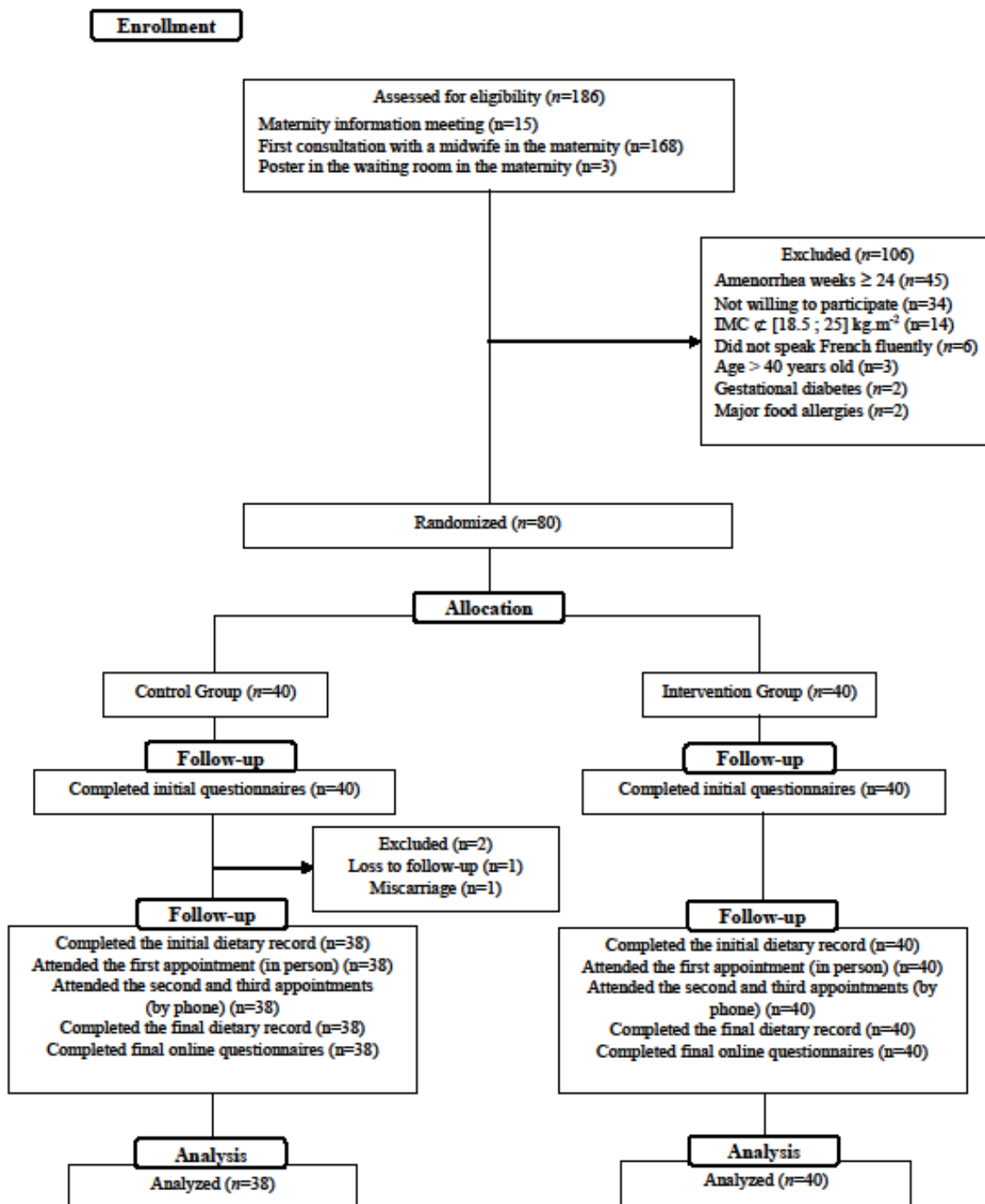
³ Values correspond to the percentage of participants presenting the characteristic described in the first column followed by the associated number of participants in parentheses.

⁴ Only answers including at least one participant are presented in the table.

⁵ The statement was as follows: "Before this pregnancy, I paid a specific attention to consume a healthy and balanced diet"

⁶ The statement was as follows: "Since the beginning of this pregnancy, I have paid more attention to consume a healthy and balanced diet"

Figure 2. Flow diagram of participant progress through the study.



Dietary assessment

Diet was recorded online using *Dietlib*' (MyGoodLife ©, Paris, France). *Dietlib*' is a professional tool used by French dietitians for patient care, which complies with requirements of the French National Authority for Health and the French National Association of Dietitians and Nutritionists. The software included a 3 days dietary record using a closed food list (6,287 food items). Portion sizes were estimated using colored pictures from a national food portion guidebook (38), household measures (e.g. one teaspoon) or commercial servings (e.g. a standard yogurt).

Three non-consecutive days, including two weekdays and one week-end day, were randomly selected for initial (weeks 2 and 3) and final (weeks 11 and 12) dietary assessments. Participants knew the dates for their dietary record at least 7 days before the first day of record. Before each day of dietary record, an electronic reminder was sent to the participant. Each day of dietary record was checked by the dietitian within 48h after its completion and if some inconsistencies appeared, the participant was contacted by email. Based on the 3 days, the ratio Energy Intake Excluding Alcohol (EIEA) to Basal Metabolic Rate (according to Black Formula (39)) of the participant was calculated. A ratio below 1 was considered as a potential indicator for underreporting and the participant was contacted and asked to check her dietary records.

Nutrient values used for the nutrient intake calculations came from the French Food composition database [CIQUAL 2013, (40)], in exceptional cases participants could have declared a food item for which no correspondence with the CIQUAL database could be made, so nutrient values were those provided by the retailer. Intakes were calculated including a weighting for the day of the week (weekday or weekend day) for the following nutrients: alcohol, protein, total carbohydrate, starch, sugars, added sugars, free sugars, total fat, polyunsaturated fatty acids, alpha-linolenic acid (ALA), linoleic acid (LA), eicosapentaenoic acid (EPA), docohexaenoic acid (DHA), monounsaturated fatty acids, saturated fatty acids, cholesterol, dietary fiber, vitamin A, thiamin, riboflavin, niacin, pantothenic acid, vitamin B6, folate, vitamins B12, C, D and E, calcium, iodine, iron, magnesium, phosphorus, potassium, selenium and zinc.

Nutrient adequacy assessment

The nutrient adequacy of the diet of each participant was assessed from the initial and the final dietary records using the PANDiet diet quality index, previously adapted to specific requirements for pregnancy (36). Briefly, the PANDiet aims to measure the overall diet quality of an individual by combining the probabilities of having an adequate intake of nutrients. The PANDiet is a 100-point score that results averaging two sub-scores, the Adequacy sub-score (Adeq-S) and the Moderation sub-score (Mod-S), so the higher the PANDiet score, the better the nutrient adequacy. Each sub-score is composed of probabilities of adequacy for nutrients (27 for the Adeq-S: protein, total carbohydrate, dietary fiber, total fat, LA, ALA, DHA, EPA+DHA, vitamin A, thiamin, riboflavin, niacin, pantothenic acid, vitamin B6, folate, vitamin B12, vitamin C, vitamin D, vitamin E, calcium, iodine, iron, magnesium, phosphorus, potassium, selenium and zinc and 7 for the Mod-S: protein, total carbohydrate, free sugars, total fat, saturated fatty acids, cholesterol and sodium), with a further 14 potential penalties for exceeding the tolerable upper intake limits (retinol, niacin, vitamin B6, folate, vitamin C, vitamin D, vitamin E, calcium, iodine, iron, magnesium, phosphorus, selenium and zinc) which are added to the Mod-S. As DHA intakes are considered in the probabilities of adequacy for both DHA and EPA+DHA intakes, each one was weighted by 0.5 in the final score, which resulted in an Adeq-S with 26 probabilities of adequacy for nutrient intakes. The dietary reference values used to calculate the PANDiet were mostly those issued by the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health (*Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*, ANSES) (36, 41).

Content of dietetic appointments

Control group

During the first dietetic appointment, participants in the control group received generic dietary guidelines based on a booklet edited by the French Institute for Health Promotion and Health Education [*Institut National de Prévention et D'Education pour la Santé*, INPES] (42). The sections of the booklet were read and quickly commented by the dietitian with each participant during 30 minutes. Then, the booklet was given to each participant. Participants were informed about their initial PANDiet score. During the second and third dietetic appointments, participants in the control group were asked if they have any questions about the booklet. If any medical questions came, women were redirected to the antenatal care provider.

Intervention group (Method used for generating tailored dietary advice)

During the first dietetic appointment, participants in the intervention group also received the booklet from the INPES, which was read and commented by the dietitian as for the control group. Furthermore, they received three tailored dietary advice generated by the software we developed to improve the nutrient adequacy of their observed diets, as evaluated by the PANDiet score adapted for pregnancy (36, 37). Participants were informed about their initial PANDiet score at the beginning of the appointment and were explained that each dietary advice proposed by the software aimed at optimizing their initial score. The software included an algorithm that calculated the initial PANDiet score of each participant (using her dietary data), then it used a stepwise dietary optimization model designed to improve the initial PANDiet score. For each dietary advice, one participant could choose between three options proposed by the algorithm. Among the three options, two were those that best increased the PANDiet score by replacing a food item consumed in the initial diet by a food item from the same subgroup and one was the one that best increased the PANDiet score by modifying the amount consumed of a food item from the initial diet. These two types of dietary advice had already been described in depth and were chosen by considering a trade-off between their theoretical nutritional efficiency and their acceptability as evaluated during previous studies (25, 37).

The theoretical increase in the PANDiet score resulting from each option was communicated to the woman, who then selected her favorite one. This choice was then implemented in the dietary record as a theoretical change that had been made and the corresponding PANDiet score was calculated. This PANDiet score served as a reference to generate a new set of three options. At each step, tailored dietary advice should not decrease the initial EIEA and should not increase it in more than 190 kcal (which is the difference between the increase in energy requirements between the first and the second trimester of pregnancy following the EFSA guidelines). During the second and the third dietetic appointments, participants in the intervention group were also asked if they had questions about the booklet. Moreover, they received three more tailored dietary advice following the process detailed above. In total, after the third dietetic appointment, participants in the intervention group had received nine tailored dietary advice. After each appointment, an email was sent to each participant including the following information: her initial PANDiet score, the list of dietary advice that she had chosen during all previous appointments (*i.e.* three after the first dietetic appointment, six after the second one and nine after the third one) and the theoretical increase in the PANDiet score provided by each advice. A reminder was sent one week after each appointment.

Statistical analyses

Sample size calculation

We have computed the sample size required to obtain a statistically significant difference in the PANDiet score (primary outcome) between the two arms. A difference of 5 points was defined as nutritionally significant based on our previous simulation studies (36, 37). This difference was the interquartile range in the population whose standard deviation was 7 points (36). Furthermore, in our simulations, the least theoretically efficient type of advice resulted in a around 1 point improvement per advice, with a probability of intention to use of ~ 0.6 , so we reasoned that nine dietary changes as provided in the present study may be expected to lead to around 5 point improvement in the PANDiet score (37). Considering a standard deviation of 7 points for the PANDiet score, a two-side power calculation required 32 participants per group, with 80% ($\beta=0.80$) chance of demonstrating an effect on the intervention on the PANDiet score at a confidence level of 95% ($\alpha=0.05$). Allowing for a 20% dropout rate, we sought 40 participants per group.

Descriptive and inferential statistics

Descriptive statistics (mean, standard deviation, standard error of the mean and quartiles) were used to present continuous variables and percentages were used to present categorical variables. Differences between groups were assessed using Student t-tests for continuous variables and Fisher exact's tests for categorical variables. The variation in the PANDiet score and its associated subscores and probabilities of adequacy for nutrient intakes were calculated as the final value minus the initial value. The primary outcome measure of the study was the variation in the PANDiet score. We first tested the effect of the intervention using a t-test (Model 1). Then, we tested the effect of the intervention with the initial PANDiet score added as a covariate (Model 2). Lastly, we used two models, respectively models 3 and 4, designed on the basis of model 2 plus the inclusion of different control variables to test for possible prediction of the variation in the PANDiet score by the control variables. The model 3 included control variables assessed at baseline (age, BMI, parity, household income per person, education level and the attention to the diet score (sum of the attention to the diet before pregnancy and since the beginning of the pregnancy assessed through five degree Likert scales).

The model 4 included, in addition to those of model 3, control variables that were assessed in final questionnaires: the attention paid to the booklet reading (4 levels: Read each section of the booklet very carefully – Read the booklet with variable attention depending on the section – Not read all the booklet but only the summary sheet presented in the two last pages – Not read the booklet at all) and the attention to the diet since the beginning of the study (assessed through a five degree Likert scale).

A secondary analysis was performed in the intervention group to evaluate whether the variation in the PANDiet score was different according to the number of advice effectively implemented in the diet (as declared by the participant in the final questionnaire) or the sum of frequency of the implementation of advice (as evaluated by the participant in the final questionnaire).

All analyses were performed using SAS 9.1.3 (version 9.1.3, SAS Institute Inc., Cary, NC). $P < 0.05$ was considered to be statistically significant.

Results

Participants' characteristics

Of the 80 women included between September and November 2016, equal numbers ($n = 40$) were randomly assigned to each group and 78 women (38 in the control group and 40 in the intervention group) completed the study (**Figure 2**). The mean age of women in the study was 31 ± 3.6 years (**Table 1**). Around a third of participants (35%) had already at least one child. More than half of women (56 %) belonged to the “Senior executive” socio-professional group and almost half of women (49%) presented a household income above 5,000€. Almost all women (91%) had followed their studies during two years or more after high school. At inclusion, the mean number of weeks of amenorrhea of women was 19 ± 2.6 . A large majority of women in our study (87%) paid a specific attention to consume a healthy and balanced diet before this pregnancy, and 82% declared they had paid more attention to consume a healthy and balanced diet since the beginning of this pregnancy. No difference between groups was observed for all these variables.

Effect of the tailored dietary advice on the variation of the PANDiet score

Mean initial PANDiet scores were around 60 points and not significantly different between groups (**Table 2**). The PANDiet increased significantly in the intervention ($+3.6 \pm 9.3$ points) but did not significantly varied in the control group (-0.3 ± 7.3 points), and the change in the intervention was different from that in the control group. No effect of the intervention was observed in the variation of the subscores or probabilities of adequacy except for the ALA (whose improvement was significantly higher in the intervention group). Significant improvements in probabilities of adequacy for ALA, thiamin, folate and cholesterol intakes were observed in the intervention group. Initial and final probabilities of adequacy composing the PANDiet score as well as their variations are presented by group in the **Online Supplemental Table 1**. Mean initial EIEA were 1878 ± 426 kcal/d in the total population, without difference between groups. Mean final EIEA were 1850 ± 400 kcal/d, without difference between groups. No difference in the variation of the EIEA was observed between groups.

Table 2. Initial and final PANDiet scores and associated subscores and their variations by group (control group: n=38; intervention group: n=40)

	Control (n=38)				Intervention (n=40)				<i>P</i> ⁴
	Initial ¹	Final ¹	Change ^{1,2}	<i>P</i> ³	Initial ¹	Final ¹	Change ^{1,2}	<i>P</i> ³	
PANDiet	60.4 ± 7.3	60.1 ± 8.7	-0.3 ± 7.3	NS	60.3 ± 7.3	63.9 ± 8.1	3.6 ± 9.3	0.02	0.039
Adeq-S	53.3 ± 17.0	51.6 ± 16.6	-1.7 ± 17.0	NS	55.6 ± 14.1	58.9 ± 15.9	3.4 ± 15.6	NS	NS
Mod-S	67.6 ± 13.7	68.6 ± 13.5	1.0 ± 13.7	NS	65.0 ± 12.3	68.8 ± 11.6	3.9 ± 12.4	NS	NS

¹ Values are mean ± SD

² Difference between the value obtained with the final dietary record and the initial dietary record in each group.

³ Student t-tests were performed to determine whether the mean for the change within each group were different from 0.

⁴ Simple regressions were performed to determine if changes were different between groups.

Effect of the initial PANDiet score on the variation in the PANDiet score

The higher the initial PANDiet score was, the less positive was the variation in the PANDiet score ($\beta=-0.49$; $P=0.0001$) and we found an interaction between the initial PANDiet score and the effect of the intervention. When stratifying according to quartiles of the initial PANDiet score, the improvement of the PANDiet score was greater in the first than in the last initial PANDiet quartile. After a median split, we found that in the population with a lower initial PANDiet score, the variation in the PANDiet score was of 0.70 ± 8.02 in the control group and of 7.32 ± 7.41 in the intervention group, which is approximately twice the effect size found for the whole population (**Figure 3**).

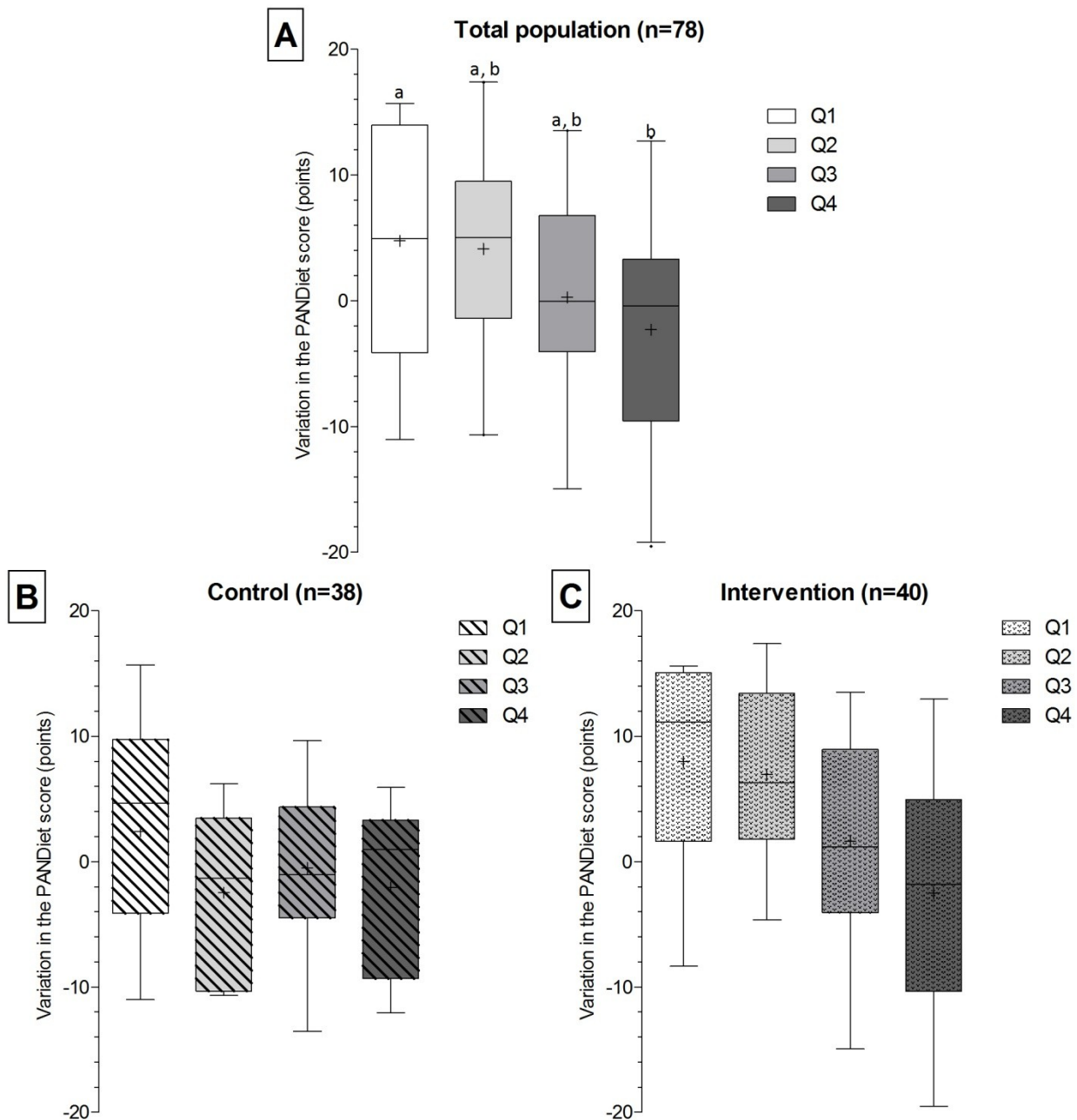


Figure 3. Boxplots of the variation in PANDiet score by quartiles of initial PANDiet score for the total population (n=78, panel A), for the control group (n=38, panel B) and for the intervention group (n=40, panel C). The white bars represent the first quartile of PANDiet score. The light grey bars represent the second quartile of PANDiet score. The middle grey bars represent the third quartile of PANDiet score. The dark grey bars represent the fourth quartile of PANDiet score. The middle line in the box plots shows the median, the cross in the box plots shows the mean, the bottom and top of the box are the 25th and 75th percentiles and the ends of the whiskers represent the 5th and 95th percentiles.

Groups not showing the same superscript are significantly different within the same panel.

Q1, first quartile. Q2, second quartile. Q3, third quartile. Q4, fourth quartile.

Analysis with control variables

In the model 3, we found that, besides the intervention, the initial PANDiet score and the attention to the diet score had an effect on the variation of the PANDiet score. When adding other control variables (measured at the end of the study), we found the same results plus some trends for the effects of the attention paid to the booklet reading and the attention to the diet since the beginning of the study (P=0.08 for both variables).

Tailored dietary counseling evaluation

Less than 5% of women in each group did not read at all the booklet after the first dietetic appointment at all. Participants in the control group read the booklet more often than participants in the intervention group. Indeed, 29.0% of women in the control group declared to have read the booklet five times or more whereas all women in the intervention group read it four times or less. **Table 3** summarizes the characteristics of dietary advice chosen by women in the intervention group (number by type, number of advice implemented in the diet and intensity of the implementation of advice). There was no difference between the number of dietary advice involving a modification of the amount consumed (4.4 ± 1.7) and the number of dietary advice involving a substitution (4.6 ± 1.7) chosen by participants. Women in the intervention group largely reported having implemented the dietary advice (intensity of the implementation of advice: 5.7 ± 1.4 points out of 9 maximum). No effect of the number of advice effectively implemented in the diet or of the intensity of the implementation of advice on the variation of the PANDiet score was observed in the intervention group.

Table 3. Numbers of advice chosen according to the type of advice and intensity of the implementation of dietary advice in the diet, in women in the intervention group¹ (n=40)

Number of advice chosen	
– Modification of amounts	4.4 ± 1.7 (0 – 8)
– Substitution	4.6 ± 1.7 (1 – 9)
– Effectively implemented in the diet	7.8 ± 1.3 (5 – 9)
Intensity of the implementation of advice	5.7 ± 1.4 (2.3 – 8.3)

¹ All values are mean \pm SD on the first line, followed by range between brackets

Discussion

Tailored dietary counseling using a computer-based algorithm appeared to be more efficient than generic dietary counseling alone in improving the nutrient adequacy of the diet of French women in mid-pregnancy. An improvement of the nutrient adequacy of the diet was observed in the group who received generic plus tailored dietary counseling, whereas no change in the PANDiet score was detected in the group receiving only generic dietary counseling through a booklet. Furthermore, we found that the intervention improved probabilities of adequacy for key nutrient intakes such as ALA and folate.

Among interventions that offered dietary counseling to pregnant women, some proved to be efficient in improving the quality of the diet during pregnancy (30–32). However, a great heterogeneity could be identified between these interventions, regarding the characteristics of the women they included, the nature of the dietary counseling they provided and the objective they followed (improving pregnancy, maternal or infant outcomes). A majority of recent studies included obese or overweight women or women with/or at-risk of gestational diabetes mellitus. Few studies included only women with normal pre-pregnancy BMI (30). Given the scarcity of data about dietary counseling in healthy pregnant women, the present study makes an important contribution.

In other categories of the population, tailored nutrition interventions proved to be efficient, mainly because the personalization made advice more acceptable to the targeted population (33, 35, 43). Thus, the tailored aspect of our approach could have increased its acceptability and so the effective implementation of dietary advice in the diet of women. Women were informed that advice generated using the application were specific to their diet and would not have been proposed to another woman with a different diet. This might have raised their identification with the approach as compared to the generic one. Furthermore, some existing behavior change techniques were used to improve the adherence of women to the intervention (44). Indeed, women were aware that each advice was generated to optimize their own nutrient adequacy score evaluated with their declared diets and they were told about the theoretical benefit of each advice (in points) in improving their PANDiet score. This is referred to as “*provide information on consequences of behavior to the individual*” according to the CALO-RE taxonomy (44). Then, the nine dietary advices were not chosen during the same session. Planning 3 two-week spaced sessions offered the opportunity to gradually implement advice in their diet. This is referred to as “*set graded tasks*” in the CALO-RE taxonomy. At the end of each session, the list of advices were reviewed with the dietitian and

automatically sent by email to each participant. A reminder was also sent one week later (referred to as “*goal setting (behavior)*”). The second and the third sessions were also an opportunity to review the previously set goals with the participant (referred to as “*prompt review of behavioral goals*”). At the end of the dietary follow-up, the final nutrient adequacy score was sent to all participants by email (referred to as “*provide feedback on performance*”). In order that the reception of tailored advices was the only difference between both groups, women in the control group also knew their score and knew that they could use it as a measure of the improvement in their diet with the generic guidelines throughout the follow-up. However, the tailored approach enabled a more intensive use of behavior change techniques.

Furthermore, few interventions employed a computer-based tailored approach to improve the diet of women during pregnancy. In a randomized controlled trial, Jackson *et al.* used a computer-based video counseling program to provide advice about physical activity and diet to pregnant women of various BMI (27). Advice related to the diet were tailored to each woman’s dietary habits and to its motivation to change the behavior targeted by each advice. Both dietary habits and motivation were assessed using questionnaires provided by the computer-based program, giving an entire autonomy to women. In four weeks, the authors observed higher increases in the consumption of fruit and vegetables, of fish, avocado and nuts, and of whole grain products and higher decreases in the consumption of solid fats and of fried foods in the group receiving the intervention than in the control group (27). This study and ours concur to the view that tailoring associated with behavior change techniques could be a key determinant in improving the diet quality during pregnancy. However, contrary to ours, this study only focused on the consumption of few food groups (and not on individual nutrient intakes) and dietary counseling only related to four components of the diet (fruits and vegetables, “healthy” fats, whole grains and sugary foods). Nutrient-based approaches for dietary counseling had only focused on one (45) or few nutrients (26, 46–48), and especially macronutrients. As regards micronutrients, one intervention proposed food substitutions to individually optimize dietary vitamin E intake to 15 mg/day specifically and was successful, but no computer-based algorithm was used (45). Finally, the specificity of our study and its finding is to account to a large set of nutrients and generate tailored dietary advice with an algorithm to improve the overall nutrient adequacy during pregnancy.

Our tailored approach globally improved the nutrient adequacy of the diet of pregnant women during the study period. This improvement was also numerically higher for the lowest initial

PANDiet scores. This result is of particular interest because it means that, the benefit of the intervention is higher in the women who need it most and this is a key characteristic of efficiency in public health nutrition. In contrast, it may be pointed that in the intervention group, only few significant improvements were shown when considering separately each probability of adequacy for nutrient intakes. Accordingly, in case of major deficiencies in specific nutrients, this approach should be associated with supplementation (49). However, when no major deficiencies are observed, our results indicate that this tailored approach has value in improving the overall nutrient adequacy of the diet of pregnant women without resorting to multiple nutrient supplementation (50) whose prevalence was demonstrated to be pretty high during pregnancy (14). The tailored dietary approach also has value over the use of multiple supplements because with limited dietary changes, it improves the overall nutritional status, avoids excessive intakes, addresses also the case of the nutrients that should be lowered, and it promotes healthier dietary practices that may be maintained after pregnancy.

Limitations

In this study, two main limitations could be identified. The first one was related to the dietary assessment. Dietary data were recorded online, as already done in France (51), which allowed participants to benefit from an entire autonomy and to automate the data collection process, but it constrained the number of days that could be recorded. The dietary record consisted in only three days at inclusion and three days at the end of the dietary follow-up. This limited the possibility to identify the effect of the number of dietary advice that was effectively implemented in the diet. Furthermore, the specific period of pregnancy is accompanied by many physiological changes affecting food intakes and choices, such as nausea, acid reflux or tiredness (24), which results in important inter-individual and intra-individual (between days within a dietary record and between both dietary records) variabilities in food intakes. Taken together, these two limitations were expected to lead to underestimate the true effect of the intervention and reduce the statistical power of this study.

The second limitation was related to the socio-demographic characteristics of our population. Indeed, this study population was predominantly composed of women presenting high instruction level, household income and socio-occupational categories and living in an urban area. Thus, the implementation of dietary advice was not limited by affordability or availability concerns. Furthermore, most women were already aware of nutrition and paid a specific attention to consume a healthy and balanced diet before their pregnancy, as shown by the rather high initial PANDiet scores as compared to previous reports in French women (36, 37). Since we found that the intervention is more efficient in women with a lower nutrient adequacy, this limitation may also have led to underestimate the effect size that should be expected in a more general population.

Perspectives

Given the extent of the demand related to dietary counseling during pregnancy (24, 25), the findings of this study may encourage to propose dietary counseling as a regular process in the antenatal care. Furthermore, pregnant women expressed their interest in benefiting from tailored dietary advice (25), and the resulting higher compliance may be part of the success of the intervention in improving the overall nutrient adequacy of the diet. This lends credence to the idea that pregnancy is confirmed to be a teachable moment (52) in favor of the adoption of healthier behaviors.

Conclusion

Tailored dietary counseling using a computer-based algorithm when accompanied by generic dietary information appeared to be more efficient than only generic dietary counseling in improving the nutrient adequacy of the diet of French women in mid-pregnancy, and especially when the overall nutrient adequacy was initially low.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Notre-Dame de Bon Secours Maternity for hosting the study.

Authors' contributions to the manuscript

C.M.B, F.M, A.L, E.O.V, E.A and J.F.H designed the research and C.M.B, F.M, A.L, C.J, Y.S, H.B, J.F, R.E, E.O.V, F.M and J.F.H conducted the research. S.D and D.C.T provided essential materials. C.M.B performed statistical analysis, analyzed data and wrote the first draft of the manuscript. All authors contributed to writing the manuscript and offered critical comments. C.M.B had primary responsibility for final content. All authors read and approved the final manuscript.

References

1. Barker D. *Fetal & Infant Origins of Adult Diseases*. London: British Medical Journal Publishing Group; 1992.
2. Barker DJP. The developmental origins of adult disease. *Eur J Epidemiol*. 2003;18:733–6.
3. Hanson M. The birth and future health of DOHaD. *J Dev Orig Health Dis*. 2015;6:434–7.
4. Muhlhausler S, Ong ZY. The Fetal Origins of Obesity: Early Origins of Altered Food Intake. *Endocr Metab Immune Disord - Drug Targets*. 2011;11:189–97.
5. Pasternak Y, Aviram A, Poraz I, Hod M. Maternal nutrition and offspring's adulthood NCD's: a review. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2013;26:439–44.
6. Blumfield ML, Hure AJ, Macdonald-Wicks L, Smith R, Collins CE. Systematic review and meta-analysis of energy and macronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutr Rev*. 2012;70:322–36.
7. Blumfield ML, Hure AJ, Macdonald-Wicks L, Smith R, Collins CE. A systematic review and meta-analysis of micronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutr Rev*. 2013;71:118–32.
8. Goletzke J, Buyken AE, Louie JCY, Moses RG, Brand-Miller JC. Dietary micronutrient intake during pregnancy is a function of carbohydrate quality. *Am J Clin Nutr*. 2015;102:626–32.
9. Hauner H, Much D, Vollhardt C, Brunner S, Schmid D, Sedlmeier E-M, Heimberg E, Schuster T, Zimmermann A, Schneider K-TM, et al. Effect of reducing the n-6:n-3 long-chain PUFA ratio during pregnancy and lactation on infant adipose tissue growth within the first year of life: an open-label randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*. 2012;95:383–94.
10. Bernard JY, Agostini MD, Forhan A, Lauzon-Guillain B de, Charles M-A, Heude B, Group the EM-CCS. The Dietary n6:n3 Fatty Acid Ratio during Pregnancy Is Inversely Associated with Child Neurodevelopment in the EDEN Mother-Child Cohort. *J Nutr*. 2013;143:1481–8.
11. Caldwell KL, Pan Y, Mortensen ME, Makhmudov A, Merrill L, Moye J. Iodine status in pregnant women in the National Children's Study and in U.S. women (15-44 years), National Health and Nutrition Examination Survey 2005-2010. *Thyroid*. 2013;23:927–37.
12. Rayman MP, Bath SC. The new emergence of iodine deficiency in the UK: consequences for child neurodevelopment. *Ann Clin Biochem*. 2015;52:705–8.
13. Drouillet P, Forhan A, De Lauzon-Guillain B, Thiébauges O, Goua V, Magnin G, Schweitzer M, Kaminski M, Ducimetière P, Charles M-A. Maternal fatty acid intake and fetal growth: evidence for an association in overweight women. The "EDEN mother-child" cohort (study of pre- and early postnatal determinants of the child's development and health). *Br J Nutr*. 2009;101:583–91.
14. Pouchieu C, Lévy R, Faure C, Andreeva VA, Galan P, Hercberg S, Touvier M. Socioeconomic, Lifestyle and Dietary Factors Associated with Dietary Supplement Use during Pregnancy. *PLoS ONE*. 2013;8:e70733.
15. Kadawathagedara M, Kersuzan C, Wagner S, Tichit C, Gojard S, Charles MA, Lioret S, de Lauzon-Guillain B. Adéquation des consommations alimentaires des femmes enceintes de l'étude ELFE aux recommandations du Programme national nutrition santé. *Cah Nutr Diététique*. 2017;52:78–88.
16. Caron P. Neurocognitive outcomes of children secondary to mild iodine deficiency in pregnant women. *Ann Endocrinol*. 2015;76:248–52.
17. Sz wajcer EM, Hiddink GJ, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition awareness and pregnancy: implications for the life course perspective. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*. 2007;135:58–64.
18. Sz wajcer EM, Hiddink GJ, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition-related information-seeking behaviours before and throughout the course of pregnancy: consequences for nutrition communication. *Eur J Clin Nutr*. 2005;59 Suppl 1:S57-65.
19. Whitaker KM, Wilcox S, Liu J, Blair SN, Pate RR. African American and White women's perceptions of weight gain, physical activity, and nutrition during pregnancy. *Midwifery*. 2016;34:211–20.
20. Goodrich K, Cregger M, Wilcox S, Liu J. A qualitative study of factors affecting pregnancy weight gain in African American women. *Matern Child Health J*. 2013;17:432–40.
21. Wennberg AL, Lundqvist A, Högborg U, Sandström H, Hamberg K. Women's experiences of dietary advice and dietary changes during pregnancy. *Midwifery*. 2013;29:1027–34.
22. Lucas C, Charlton KE, Yeatman H. Nutrition advice during pregnancy: do women receive it and can health professionals provide it? *Matern Child Health J*. 2014;18:2465–78.

23. Ferrari RM, Siega-Riz AM, Evenson KR, Moos M-K, Carrier KS. A qualitative study of women's perceptions of provider advice about diet and physical activity during pregnancy. *Patient Educ Couns.* 2013;91:372–7.
24. Bianchi CM, Huneau J-F, Le Goff G, Verger EO, Mariotti F, Gurviez P. Concerns, attitudes, beliefs and information seeking practices with respect to nutrition-related issues: a qualitative study in French pregnant women. *BMC Pregnancy Childbirth.* 2016;16:306.
25. Bianchi CM, Mariotti F, Reulet E, Le Goff G, Lluch A, Verger EO, Huneau JF, Gurviez P. Perceptions of tailored dietary advice to improve the nutrient adequacy of the diet by French pregnant women : a mixed methods study. *En Cours Publ.* 2017;
26. Dodd JM, Cramp C, Sui Z, Yelland LN, Deussen AR, Grivell RM, Moran LJ, Crowther CA, Turnbull D, McPhee AJ, et al. The effects of antenatal dietary and lifestyle advice for women who are overweight or obese on maternal diet and physical activity: the LIMIT randomised trial. *BMC Med.* 2014;12:161.
27. Jackson RA, Stotland NE, Caughey AB, Gerbert B. Improving diet and exercise in pregnancy with Video Doctor counseling: a randomized trial. *Patient Educ Couns.* 2011;83:203–9.
28. Wolff S, Legarth J, Vangsgaard K, Toubro S, Astrup A. A randomized trial of the effects of dietary counseling on gestational weight gain and glucose metabolism in obese pregnant women. *Int J Obes* 2005. 2008;32:495–501.
29. Muktabhant B, Lawrie TA, Lumbiganon P, Laopaiboon M. Diet or exercise, or both, for preventing excessive weight gain in pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;6:CD007145.
30. O'Brien CM, Grivell RM, Dodd JM. Systematic review of antenatal dietary and lifestyle interventions in women with a normal body mass index. *Acta Obstet Gynecol Scand.* 2016;95:259–69.
31. Gresham E, Bisquera A, Byles JE, Hure AJ. Effects of dietary interventions on pregnancy outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Matern Child Nutr.* 2014;12:5–23.
32. Gresham E, Byles JE, Bisquera A, Hure AJ. Effects of dietary interventions on neonatal and infant outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr.* 2014;100:1298–321.
33. Brug J, Oenema A, Campbell M. Past, present, and future of computer-tailored nutrition education. *Am J Clin Nutr.* 2003;77:1028S–1034S.
34. Celis-Morales C, Lara J, Mathers JC. Personalising nutritional guidance for more effective behaviour change. *Proc Nutr Soc.* 2015;74:130–138.
35. Broekhuizen K, Kroeze W, van Poppel MNM, Oenema A, Brug J. A systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of computer-tailored physical activity and dietary behavior promotion programs: an update. *Ann Behav Med Publ Soc Behav Med.* 2012;44:259–86.
36. Bianchi CM, Mariotti F, Verger EO, Huneau J-F. Pregnancy Requires Major Changes in the Quality of the Diet for Nutritional Adequacy: Simulations in the French and the United States Populations. Cardoso MA, editor. *PLOS ONE.* 2016;11:e0149858.
37. Bianchi CM, Huneau J-F, Barbillon P, Lluch A, Egnell M, Fouillet H, Verger EO, Mariotti F. A clear trade-off exists between the theoretical efficiency and acceptability of dietary changes that improve nutrient adequacy during pregnancy in French women. *En Cours Publ.* 2017;
38. Hercberg S, Deheeger M, Preziosi P. *SU.VI.MAX Portions alimentaires manuel-photos pour l'estimation des quantités.* Polytechnica. Paris: Polytechnica; 2002. 132 p.
39. Black A. Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake: basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations. *Int J Obes.* 2000;24:1119–30.
40. Anses. *Table Ciqual 2013 Composition nutritionnelle des aliments* [Internet]. 2013 [cited 2014 Oct 31]. Available from: <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm>
41. AFSSA. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française*, 3e éd. AFSSA : Editions Lavoisier. 3rd ed. Paris: Lavoisier; 2001. 650 p.
42. INPES. *Le guide nutrition de la grossesse.* Paris: Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé; 2015. 40 p.
43. Brug J, Campbell M, van Assema P. The application and impact of computer-generated personalized nutrition education: a review of the literature. *Patient Educ Couns.* 1999;36:145–56.
44. Michie S, Ashford S, Sniehotta FF, Dombrowski SU, Bishop A, French DP. A refined taxonomy of behaviour change techniques to help people change their physical activity and healthy eating behaviours: the CALO-RE taxonomy. *Psychol Health.* 2011;26:1479–98.

45. Clark J, Craig L, McNeill G, Smith N, Norrie J, Devereux G. A novel dietary intervention to optimize vitamin E intake of pregnant women to 15 mg/day. *J Acad Nutr Diet.* 2012;112:297–301.
46. Khoury J, Henriksen T, Christophersen B, Tonstad S. Effect of a cholesterol-lowering diet on maternal, cord, and neonatal lipids, and pregnancy outcome: A randomized clinical trial. *Am J Obstet Gynecol.* 2005;193:1292–301.
47. Hawkins M, Chasan-Taber L, Marcus B, Stanek E, Braun B, Ciccolo J, Markenson G. Impact of an Exercise Intervention on Physical Activity During Pregnancy: The Behaviors Affecting Baby and You Study. *Am J Public Health.* 2014;104:e74–81.
48. Korpi-Hyövälti E, Schwab U, Laaksonen DE, Linjama H, Heinonen S, Niskanen L. Effect of intensive counselling on the quality of dietary fats in pregnant women at high risk of gestational diabetes mellitus. *Br J Nutr.* 2012;108:910–7.
49. Haider BA, Bhutta ZA. Multiple-micronutrient supplementation for women during pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;4:CD004905.
50. Parisi F, Laoreti A, Cetin I. Multiple micronutrient needs in pregnancy in industrialized countries. *Ann Nutr Metab.* 2014;65:13–21.
51. Touvier M, Kesse-Guyot E, Méjean C, Pollet C, Malon A, Castetbon K, Hercberg S. Comparison between an interactive web-based self-administered 24 h dietary record and an interview by a dietitian for large-scale epidemiological studies. *Br J Nutr.* 2011;105:1055–64.
52. Phelan S. Pregnancy: a “teachable moment” for weight control and obesity prevention. *Am J Obstet Gynecol.* 2010;202:135.e1-8.

2.5.3. Matériel supplémentaire soumis pour la publication en ligne

Online Supplemental Table 1. Initial, final and changes in PANDiet scores and associated subscores and probabilities of adequacy presented by group.

	Control (n=38)				Intervention (n=40)				P ⁴
	Initial ¹	Final ¹	Changes ^{1,2}	P ³	Initial ¹	Final ¹	Changes ^{1,2}	P ³	
PANDiet	60.44 ± 7.29	60.11 ± 8.66	-0.33 ± 7.29	0.77	60.27 ± 7.28	63.89 ± 8.11	3.62 ± 9.29	0.018	0.039
Adeq-S	53.31 ± 17.04	51.61 ± 16.57	-1.7 ± 17.04	0.50	55.57 ± 14.07	58.94 ± 15.91	3.37 ± 15.59	0.18	0.15
<i>Protein</i>	0.93 ± 0.18	0.89 ± 0.2	-0.038 ± 0.18	0.20	0.93 ± 0.18	0.95 ± 0.13	0.024 ± 0.2	0.44	0.15
<i>Total Carbohydrate</i>	0.5 ± 0.39	0.52 ± 0.45	0.019 ± 0.39	0.82	0.63 ± 0.35	0.54 ± 0.38	-0.087 ± 0.4	0.17	0.31
<i>Total Fat</i>	0.8 ± 0.33	0.76 ± 0.34	-0.042 ± 0.33	0.53	0.82 ± 0.25	0.88 ± 0.2	0.059 ± 0.31	0.23	0.22
<i>LA</i>	0.52 ± 0.33	0.48 ± 0.29	-0.035 ± 0.33	0.58	0.48 ± 0.34	0.58 ± 0.35	0.099 ± 0.45	0.17	0.16
<i>ALA</i>	0.07 ± 0.13	0.05 ± 0.13	-0.016 ± 0.13	0.60	0.062 ± 0.12	0.19 ± 0.28	0.13 ± 0.25	0.002	0.005
<i>DHA</i>	0.33 ± 0.31	0.37 ± 0.37	0.044 ± 0.31	0.56	0.21 ± 0.32	0.3 ± 0.35	0.089 ± 0.41	0.18	0.65
<i>EPA+DHA</i>	0.28 ± 0.29	0.31 ± 0.35	0.03 ± 0.29	0.69	0.17 ± 0.3	0.24 ± 0.34	0.07 ± 0.41	0.29	0.68
<i>Dietary Fiber</i>	0.21 ± 0.28	0.18 ± 0.26	-0.035 ± 0.28	0.39	0.22 ± 0.27	0.22 ± 0.23	-0.0064 ± 0.28	0.89	0.63
<i>Vitamin A</i>	0.41 ± 0.37	0.41 ± 0.35	-0.0039 ± 0.37	0.96	0.52 ± 0.33	0.46 ± 0.35	-0.065 ± 0.5	0.41	0.57
<i>Thiamin</i>	0.27 ± 0.33	0.3 ± 0.35	0.033 ± 0.33	0.52	0.25 ± 0.3	0.37 ± 0.34	0.12 ± 0.32	0.028	0.25
<i>Riboflavin</i>	0.66 ± 0.36	0.61 ± 0.38	-0.048 ± 0.36	0.46	0.71 ± 0.32	0.78 ± 0.27	0.069 ± 0.37	0.25	0.18
<i>Niacin</i>	0.71 ± 0.3	0.62 ± 0.34	-0.094 ± 0.3	0.09	0.67 ± 0.3	0.7 ± 0.32	0.034 ± 0.37	0.56	0.11
<i>Pantothenic acid</i>	0.54 ± 0.35	0.58 ± 0.37	0.042 ± 0.35	0.51	0.61 ± 0.33	0.65 ± 0.33	0.039 ± 0.39	0.54	0.97
<i>Vitamin B6</i>	0.47 ± 0.36	0.41 ± 0.39	-0.056 ± 0.36	0.35	0.49 ± 0.37	0.55 ± 0.36	0.053 ± 0.43	0.44	0.23
<i>Folate</i>	0.5 ± 0.35	0.5 ± 0.36	-0.0066 ± 0.35	0.90	0.52 ± 0.31	0.64 ± 0.28	0.12 ± 0.34	0.029	0.09
<i>Vitamin B12</i>	0.84 ± 0.21	0.81 ± 0.29	-0.025 ± 0.21	0.58	0.75 ± 0.32	0.79 ± 0.28	0.039 ± 0.36	0.50	0.39
<i>Vitamin C</i>	0.61 ± 0.36	0.66 ± 0.39	0.052 ± 0.36	0.40	0.59 ± 0.35	0.62 ± 0.38	0.031 ± 0.42	0.65	0.82
<i>Vitamin D</i>	0.038 ± 0.11	0.03 ± 0.074	-0.0077 ± 0.11	0.73	0.05 ± 0.11	0.065 ± 0.2	0.015 ± 0.23	0.69	0.61
<i>Vitamin E</i>	0.53 ± 0.35	0.34 ± 0.34	-0.18 ± 0.35	0.004	0.41 ± 0.34	0.47 ± 0.37	0.063 ± 0.42	0.35	0.008
<i>Calcium</i>	0.66 ± 0.38	0.71 ± 0.36	0.052 ± 0.38	0.30	0.79 ± 0.28	0.83 ± 0.22	0.043 ± 0.35	0.44	0.90
<i>Iodine</i>	0.34 ± 0.3	0.37 ± 0.35	0.03 ± 0.3	0.64	0.35 ± 0.31	0.35 ± 0.3	-0.005 ± 0.4	0.94	0.70
<i>Iron</i>	0.74 ± 0.24	0.73 ± 0.23	-0.0084 ± 0.24	0.83	0.79 ± 0.21	0.83 ± 0.13	0.037 ± 0.19	0.23	0.36
<i>Magnesium</i>	0.37 ± 0.35	0.37 ± 0.39	-0.0036 ± 0.35	0.95	0.53 ± 0.36	0.59 ± 0.37	0.054 ± 0.3	0.26	0.43
<i>Phosphorus</i>	0.93 ± 0.16	0.92 ± 0.16	-0.01 ± 0.16	0.58	0.98 ± 0.044	0.98 ± 0.087	-0.0062 ± 0.088	0.66	0.86
<i>Potassium</i>	0.57 ± 0.33	0.51 ± 0.35	-0.066 ± 0.33	0.18	0.62 ± 0.3	0.65 ± 0.33	0.026 ± 0.31	0.59	0.18
<i>Selenium</i>	0.82 ± 0.25	0.85 ± 0.22	0.03 ± 0.25	0.48	0.85 ± 0.24	0.83 ± 0.28	-0.017 ± 0.27	0.69	0.43
<i>Zinc</i>	0.51 ± 0.36	0.45 ± 0.37	-0.058 ± 0.36	0.36	0.63 ± 0.27	0.56 ± 0.31	-0.068 ± 0.35	0.22	0.90
Mod-S	67.57 ± 13.74	68.61 ± 13.53	1.04 ± 13.74	0.69	64.97 ± 12.27	68.83 ± 11.61	3.86 ± 12.37	0.056	0.38
<i>Protein</i>	0.98 ± 0.085	0.99 ± 0.068	0.0082 ± 0.085	0.65	0.97 ± 0.15	0.98 ± 0.076	0.0085 ± 0.16	0.75	0.99
<i>Total Carbohydrate</i>	0.99 ± 0.026	0.97 ± 0.11	-0.023 ± 0.026	0.19	0.99 ± 0.018	0.996 ± 0.013	0.0016 ± 0.023	0.67	0.16
<i>Free Sugars</i>	0.64 ± 0.35	0.67 ± 0.36	0.036 ± 0.35	0.63	0.58 ± 0.37	0.65 ± 0.31	0.07 ± 0.39	0.26	0.73
<i>Total Fat</i>	0.77 ± 0.29	0.78 ± 0.31	0.0024 ± 0.29	0.97	0.8 ± 0.29	0.84 ± 0.26	0.046 ± 0.36	0.43	0.61
<i>Saturated Fatty Acid</i>	0.33 ± 0.29	0.34 ± 0.33	0.01 ± 0.29	0.84	0.3 ± 0.27	0.28 ± 0.24	-0.02 ± 0.31	0.69	0.67
<i>Cholesterol</i>	0.69 ± 0.33	0.68 ± 0.34	-0.0051 ± 0.33	0.95	0.55 ± 0.32	0.69 ± 0.3	0.14 ± 0.35	0.013	0.11
<i>Sodium</i>	0.35 ± 0.38	0.37 ± 0.35	0.024 ± 0.38	0.71	0.36 ± 0.32	0.38 ± 0.3	0.022 ± 0.34	0.69	0.98
<i>Penalty</i>	0.03 ± 0.16	0 ± 0	-0.026 ± 0.16	0.32	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0		

¹ Values are mean ± SD

² Difference between the value obtained with the final dietary record and the initial dietary record in each group.

³ Student t-tests were performed to determine whether the mean for the deltas were different from 0 separately in each group.

⁴ Simple regressions were performed to determine if deltas were different between groups.

Online Supplemental Table 2. CONSORT 2010 checklist of information to include when reporting a randomized trial

Section/Topic	Item No	Checklist item	Reported on page No
Title and abstract			
	1a	Identification as a randomised trial in the title	1
	1b	Structured summary of trial design, methods, results, and conclusions (for specific guidance see CONSORT for abstracts)	3
Introduction			
Background and objectives	2a	Scientific background and explanation of rationale	4-5
	2b	Specific objectives or hypotheses	5
Methods			
Trial design	3a	Description of trial design (such as parallel, factorial) including allocation ratio	5-6
	3b	Important changes to methods after trial commencement (such as eligibility criteria), with reasons	NA
Participants	4a	Eligibility criteria for participants	7
	4b	Settings and locations where the data were collected	7
Interventions	5	The interventions for each group with sufficient details to allow replication, including how and when they were actually administered	6 and 9-10
Outcomes	6a	Completely defined pre-specified primary and secondary outcome measures, including how and when they were assessed	6 to 8
	6b	Any changes to trial outcomes after the trial commenced, with reasons	NA
Sample size	7a	How sample size was determined	11
	7b	When applicable, explanation of any interim analyses and stopping guidelines	NA
Randomisation:			
Sequence generation	8a	Method used to generate the random allocation sequence	7
	8b	Type of randomisation; details of any restriction (such as blocking and block size)	7
Allocation concealment mechanism	9	Mechanism used to implement the random allocation sequence (such as sequentially numbered containers), describing any steps taken to conceal the sequence until interventions were assigned	NA
Implementation	10	Who generated the random allocation sequence, who enrolled participants, and who assigned participants to interventions	7
Blinding	11a	If done, who was blinded after assignment to interventions (for example, participants, care providers, those assessing outcomes) and how	7

	11b	If relevant, description of the similarity of interventions	NA
Statistical methods	12a	Statistical methods used to compare groups for primary and secondary outcomes	11-12
	12b	Methods for additional analyses, such as subgroup analyses and adjusted analyses	12
Results			
Participant flow (a diagram is strongly recommended)	13a	For each group, the numbers of participants who were randomly assigned, received intended treatment, and were analysed for the primary outcome	12-13
	13b	For each group, losses and exclusions after randomisation, together with reasons	12-13
Recruitment	14a	Dates defining the periods of recruitment and follow-up	12
	14b	Why the trial ended or was stopped	12
Baseline data	15	A table showing baseline demographic and clinical characteristics for each group	13
Numbers analysed	16	For each group, number of participants (denominator) included in each analysis and whether the analysis was by original assigned groups	13
Outcomes and estimation	17a	For each primary and secondary outcome, results for each group, and the estimated effect size and its precision (such as 95% confidence interval)	13
	17b	For binary outcomes, presentation of both absolute and relative effect sizes is recommended	14
Ancillary analyses	18	Results of any other analyses performed, including subgroup analyses and adjusted analyses, distinguishing pre-specified from exploratory	14
Harms	19	All important harms or unintended effects in each group (for specific guidance see CONSORT for harms)	NA
Discussion			
Limitations	20	Trial limitations, addressing sources of potential bias, imprecision, and, if relevant, multiplicity of analyses	18
Generalisability	21	Generalisability (external validity, applicability) of the trial findings	15-17
Interpretation	22	Interpretation consistent with results, balancing benefits and harms, and considering other relevant evidence	17
Other information			
Registration	23	Registration number and name of trial registry	6
Protocol	24	Where the full trial protocol can be accessed, if available	6
Funding	25	Sources of funding and other support (such as supply of drugs), role of funders	2

2.6.Travail personnel n°6 : Évaluation de la perception du conseil alimentaire et de l'intérêt de sa personnalisation pendant la grossesse par l'emploi de méthodes mixtes lors d'une analyse secondaire dans le cadre de l'essai randomisé contrôlé MON CAP Grossesse

Cette partie présente les résultats préliminaires relatifs à l'évaluation de la perception du conseil alimentaire et de l'intérêt de sa personnalisation par les femmes enceintes ayant participé à l'essai randomisé contrôlé MON CAP Grossesse. Des analyses complémentaires doivent encore être menées afin d'aboutir à la rédaction d'un manuscrit à soumettre pour publication.

Ce travail a été conduit avec François Viguié, Claire Journet, François Mariotti, Anne Lluch, Eric O. Verger, Elie Azria, et Jean-François Huneau.

Introduction

Dans le domaine de la santé publique, l'évaluation des actions menées auprès des populations implique un recueil d'informations, nécessaire à la prise de décision quant à leur poursuite, leur déploiement et/ou leur révision [1, 2]. Dans le cas d'interventions proposant des conseils alimentaires à des individus, l'évaluation peut comprendre l'obtention de données quantitatives permettant d'évaluer la perception de l'intervention, le niveau d'application des conseils dans les régimes et l'adhésion des participants à l'approche proposée. La combinaison de ces données quantitatives avec des données qualitatives (qualifiée de « méthodes mixtes ») permet d'approfondir l'évaluation et d'identifier les déterminants de l'échec ou du succès de l'intervention et de proposer des pistes d'amélioration.

Selon la théorie de l'auto-détermination [3], les individus diffèrent quant à leurs motivations à agir. Les femmes enceintes, motivées par la volonté d'agir comme de « bonnes mères » en suivant les normes « maternelles » de leur environnement social mais surtout en contribuant positivement à leur bien-être et à celui de leur futur enfant, seraient plus enclines à l'adoption de pratiques alimentaires saines [3, 4].

Cependant, l'alimentation pendant la grossesse est soumise à de nombreuses causes externes (motivations extrinsèques) qui conduisent les femmes à agir en fonction d'éléments qui leur sont extérieurs [5]. Il existe quatre types de régulation des motivations extrinsèques, classées de manière croissante selon le degré d'internalisation du comportement : la régulation externe, la régulation introjectée, la régulation identifiée et la régulation intégrée [3]. Ainsi, une femme ayant une régulation identifiée ou intégrée serait plus autonome dans sa motivation quant à l'alimentation pendant la grossesse. Or, les comportements les plus autonomes et internalisés ont été montrés comme ayant le plus de chances de se pérenniser. Ces différents types de régulation de la motivation sont le fruit de l'interaction entre la nature active inhérente à l'individu et les divers environnements sociaux qui la soutiennent ou la contrecarrent. Chaque individu a besoin de se sentir compétent, autonome et relié à ses pairs. Ainsi, lorsque l'environnement social favorise la satisfaction de ces trois besoins psychologiques fondamentaux, le dynamisme interne de l'individu est stimulé, sa motivation est accrue et les résultats sur les plans psychologique et comportemental sont maximisés [3, 6].

Cependant, d'autres déterminants entrent en jeu dans le suivi de recommandations alimentaires. Des études qualitatives ont été menées pour déterminer les freins et leviers à la mise en place de pratiques alimentaires saines pendant la grossesse [7–11]. Parmi les freins identifiés, certains sont spécifiques de la grossesse comme les troubles digestifs, les envies irrésistibles, la fatigue alors que d'autres seraient également présentes en dehors de la grossesse comme le prix, l'accessibilité, le manque de temps, les préférences alimentaires, les habitudes alimentaires ou les informations contradictoires concernant l'alimentation et la nutrition. De même, parmi les leviers identifiés, certains sont également spécifiques de la grossesse comme la sensation de mieux gérer sa prise de poids, la perception d'un bénéfice pour la santé du bébé et d'autres seraient présents en dehors de la grossesse comme le soutien de l'entourage, la possibilité de pouvoir prévoir ses repas à l'avance ou le fait de bénéficier d'informations crédibles sur l'alimentation et la nutrition.

Cependant, ces études sont de nature transversale. Elles ont été menées en dehors de toute intervention proposant des conseils alimentaires. Ainsi, les informations relatives aux freins et leviers sont notamment recueillies dans un contexte de cacophonie concernant les informations relatives à la nutrition et à l'alimentation [4, 10, 11].

Notre hypothèse est que proposer des conseils alimentaires à des femmes enceintes durant une étude d'intervention pourrait améliorer leur compétence, accroître leur motivation et contribuer à leur autonomie quant à l'alimentation pendant la grossesse. L'objectif principal de cette étude, était, donc d'évaluer la perception, par les femmes enceintes participantes, d'une étude d'intervention diététique proposant des conseils alimentaires, selon deux approches : une approche proposant uniquement des recommandations alimentaires génériques et une approche proposant ces mêmes recommandations associées à des conseils alimentaires personnalisés générés pas-à-pas par un algorithme informatique. L'objectif secondaire était de comparer la perception des deux approches entre elles afin d'identifier laquelle paraissait la plus pertinente pour être proposée pendant la grossesse et avec quelles améliorations potentielles.

Méthodes

Protocole et éthique

Ce travail présente une analyse des données qualitatives et quantitatives (« étude de méthodes mixtes ») relatives à la perception des conseils alimentaires reçus durant l'étude d'intervention diététique MON CAP Grossesse. L'étude MON CAP Grossesse est un essai randomisé contrôlé en simple insu composé de deux bras. L'étude a été enregistrée auprès de l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des Produits de Santé sous le numéro ID RCB 2016-A00853648. Elle a reçu des avis favorables du Comité de Protection des Personnes (CPP) Île-de-France II (projet de recherche n°2016-07-02 MS1 SC) en date du 3 octobre 2016 et du Comité Consultatif sur le Traitement de l'Information en matière de Recherche dans le domaine de la Santé (CCTIRS) (dossier n°16-259) en date du 16 septembre 2016. Chaque participante a donné son consentement écrit à la participation à l'étude le jour de son inclusion.

Le protocole de l'étude a déjà été décrit de manière détaillée, par ailleurs (*cf. travail personnel n°5, [14]*). Brièvement, l'étude s'est déroulée de septembre 2016 à mai 2017 au sein de la maternité Notre-Dame de Bon Secours (Groupe Hospitalier Paris Saint-Joseph, 75014 Paris).

Les participantes ont été recrutées lors de leur première consultation à la maternité ou par l'intermédiaire d'affiches dans les salles d'attente de la maternité. Elles ont été suivies pendant douze semaines à partir de la date d'inclusion. La période d'inclusion a été de huit semaines.

Dans les deux semaines suivant leur inclusion, les participantes ont été réparties en deux groupes parallèles de manière aléatoire. La randomisation a été effectuée par bloc de douze participantes, à l'aide d'un programme informatique destiné à minimiser les écarts entre les deux groupes pour les critères suivants : âge, parité, revenu du foyer et Indice de Masse Corporelle pré-grossesse.

Les patientes du groupe « témoin » ont reçu des recommandations alimentaires génériques issus du livret « Le guide nutrition de la grossesse » édité par l'Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé (INPES) dans le cadre du Programme National Nutrition Santé [15]. Les participantes du groupe « intervention » ont également reçu les recommandations alimentaires génériques issus du même livret ainsi que des conseils alimentaires personnalisés, déterminés à l'aide d'un algorithme visant à augmenter leur score de qualité nutritionnelle de l'alimentation PANDiet. Les participantes n'avaient pas été informées de l'existence de deux approches pour proposer des conseils alimentaires.

Les participantes des deux groupes ont participé à trois entretiens diététiques.

Le premier entretien, en face-à-face avec le diététicien, membre de l'équipe de recherche, était d'une durée de 30 à 45 minutes et avait pour objectif d'expliquer « le guide nutrition de la grossesse » de manière similaire pour les deux groupes et de procéder au choix de trois conseils alimentaires personnalisés pour le groupe « intervention » uniquement.

Le deuxième et le troisième entretiens, effectués deux semaines après le précédent par téléphone avec le diététicien, étaient d'une durée de dix à 20 minutes et avaient pour objectif de répondre aux questions relatives au guide pour les deux groupes et de procéder au choix de trois nouveaux conseils alimentaires personnalisés pour le groupe « intervention » uniquement.

À l'issue de la période de suivi diététique (douze semaines), les participantes ont renseigné des questionnaires-bilans en ligne relatifs notamment à l'attention portée à leur alimentation, à la perception et à la lecture du guide (pour les deux groupes) et à l'application des conseils alimentaires personnalisés (pour le groupe « intervention » seulement).

Dix participantes (cinq par groupe, choisies aléatoirement) ont pris part à un entretien semi-directif de trente minutes environ, dans les huit semaines suivant la date à laquelle elles avaient terminé le suivi diététique prévu dans l'étude et avant leur accouchement afin de partager leurs perceptions sur les conseils alimentaires reçus durant l'étude. La **Figure 1** présente le déroulé de l'étude pour une participante.

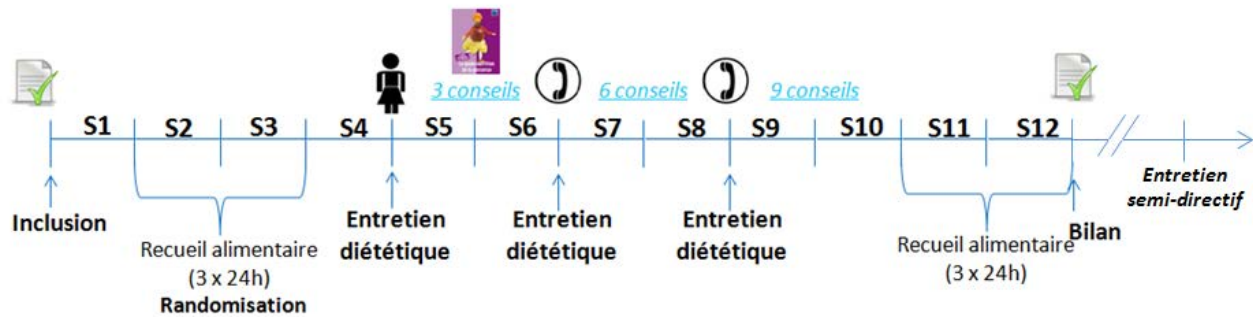






Figure 1. Déroulé de l'étude pour une femme enceinte incluse dans l'essai randomisé contrôlé et ayant participé à un entretien semi-directif dans les huit semaines après le suivi diététique (douze semaines) et avant son accouchement.

SX : semaine n°X du suivi dans l'étude.

Le pictogramme  correspond au remplissage de questionnaires par la patiente. Le pictogramme  correspond à un entretien en face-à-face. Le pictogramme  correspond à un entretien téléphonique. L'image  est celle de la couverture du guide nutrition de la grossesse, édité par l'INPES [15], donné et expliqué à chaque femme incluse. Les mentions en [bleu turquoise](#) ne concernent que les patientes du groupe « intervention ».

Participant

Toutes les participantes étaient suivies à la maternité Notre-Dame de Bon Secours pour leur grossesse. Les critères d'inclusion étaient les suivants : femme, enceinte, entre 10 et 24 semaines d'aménorrhée, âgée de 18 à 40 ans, ayant un IMC pré-grossesse compris entre 18,5 et 25 kg/m², parlant, écrivant et lisant couramment le français, ayant un accès internet quotidien, une adresse électronique et un numéro de téléphone valides et bénéficiant de l'assurance maladie française. Les critères de non-inclusion étaient les suivants : grossesse multiple, grossesse classée à risques selon les critères établis à la maternité, antécédents de diabète gestationnel (durant cette grossesse ou une grossesse précédente), problèmes de santé nécessitant la mise en place d'un régime alimentaire spécifique, régime végétalien strict, allergies majeures aux différents allergènes alimentaires identifiés dans le règlement n°1169/2011 du Parlement Européen et du Conseil. Les critères d'exclusion étaient les suivants: diagnostic d'un diabète gestationnel durant le suivi diététique de douze semaines, diagnostic de complications nécessitant la mise en place d'un régime alimentaire spécifique ou avortement.

Au total, 80 femmes ont été incluses dans l'étude (le calcul de puissance ayant abouti à la définition de ce nombre a déjà été présenté par ailleurs (*cf.* **travail personnel n°5**, [14])) et 78 ont effectué le suivi diététique dans son intégralité.

Recueil des données quantitatives utilisées dans ce travail

À l'issue des douze semaines de suivi diététique, les participantes ont renseigné deux questionnaires-bilans en ligne. Le premier contenait des questions concernant l'attention portée à l'alimentation depuis le début de la participation à l'étude et sur l'obtention et la recherche d'informations concernant l'alimentation pendant la grossesse depuis le début de l'étude. Le second était relatif aux conseils alimentaires reçus pendant l'étude, avec une première partie commune aux deux groupes portant sur l'appréciation du guide (réception du guide en dehors du cadre de l'étude, lecture du guide, facilité de compréhension du guide, nombre de lecture(s) du guide, sections du guide utilisées pour s'informer, recommandations effectivement adoptées) et une seconde partie proposée uniquement au groupe intervention portant sur l'appréciation des neuf conseils alimentaires personnalisés (application et intensité de l'application).

Recueil des données qualitatives

Dix participantes (cinq par groupe) parmi les 78 ayant terminé le suivi diététique ont été sélectionnées de manière aléatoire dans chaque groupe pour participer à un entretien semi-directif. Le recrutement s'est effectué par courrier électronique à l'issue de la période de suivi diététique prévue dans l'étude MON CAP Grossesse. Chaque femme était libre de refuser la participation à l'entretien. Parmi l'ensemble des femmes contactées, on dénombre 13 refus (quatre dans le groupe « témoin » et neuf dans le groupe « intervention »). Les entretiens ont eu lieu entre janvier et mai 2017 à la maternité Notre-Dame de Bon Secours dans une salle dédiée. Les entretiens ont été conduits par le diététicien en charge du suivi des participantes, préalablement formé à la conduite d'entretiens. Un guide d'entretien, adapté à chaque participante en fonction de ses réponses aux questionnaires-bilans, du groupe auquel elle appartenait et de sa parité, avait été établi au préalable par les membres de l'équipe de recherche assisté d'un sociologue, expert dans la conduite et l'analyse d'enquêtes qualitatives. Les thèmes principaux du guide d'entretien sont : le rapport à l'alimentation pendant la grossesse et les conseils alimentaires reçus pendant l'étude (**Tableau 1**).

Tableau 1. Synthèse des questions principales du guide d'entretien

<p><u>Thème 1 : Alimentation pendant la grossesse</u></p> <ul style="list-style-type: none">- Si je vous dis « alimentation pendant la grossesse », qu'est-ce que cela vous évoque ?- En dehors des conseils reçus lors de cette étude, qu'est-ce qui a changé pour vous au niveau alimentaire depuis que vous êtes enceinte ?
<p><u>Thème 2 : Conseils alimentaires reçus pendant l'étude</u></p> <p>→ Approche générique (<i>quel que soit le groupe</i>) :</p> <ul style="list-style-type: none">- Les conseils alimentaires proposés dans le guide vous ont-ils paru pertinents/utiles ?- Pouvez-vous me donner des exemples d'application de ces conseils dans votre alimentation (<i>question déclinée plusieurs fois en fonction des retours de chaque participante dans le questionnaire-bilan</i>) ?- Comment ce guide pourrait-il être amélioré ? <p>→ Approche personnalisée (<i>uniquement pour le groupe « intervention »</i>) :</p> <ul style="list-style-type: none">- Les conseils personnalisés proposés dans le cadre de cette étude vous ont-ils paru pertinents/ été utiles ?- Qu'est-ce qui a conditionné l'application ou non de ces conseils dans votre alimentation (<i>question déclinée plusieurs fois pour chacun des neuf conseils en fonction des retours de chaque participante dans le questionnaire-bilan</i>) ? <p>→ Bilan général (<i>quel que soit le groupe</i>) :</p> <ul style="list-style-type: none">- Si une telle étude vous était à nouveau proposée pour une prochaine grossesse, accepteriez-vous d'y participer ?- Que changeriez-vous pour que l'approche vous corresponde mieux ?

Chaque entretien a été enregistré en vidéo. Un second membre de l'équipe de recherche était présent durant chaque entretien pour assurer la prise de note. La durée moyenne d'un entretien était de 29 minutes (entre 22 et 40 minutes). À l'issue des dix entretiens, la saturation a été atteinte, aucun nouvel élément n'était identifié dans les entretiens. Aucun entretien supplémentaire n'a donc été envisagé.

Analyse statistique des données quantitatives

Les données quantitatives issues des réponses aux questionnaires-bilans sont décrites par des statistiques élémentaires (moyenne, écart-type, pourcentage). Les différences de répartition des modalités entre les groupes ont été déterminées par des tests exacts de Fisher.

Analyse des données qualitatives

Les entretiens ont été retranscrits à partir des enregistrements vidéo. Aucune théorie n'avait été déterminée au préalable pour l'analyse des données. Ainsi, une approche inductive, adaptée de la théorie ancrée (« *grounded theory* »), a été adoptée pour l'analyse et l'identification des thèmes principaux (**Tableau 2**). Cette approche nécessite une familiarisation avec les données, un processus de codage pouvant évoluer et une interprétation des données dans les thèmes codés [16, 17]. Les retranscriptions ont été codées indépendamment par deux chercheurs à l'aide du logiciel Nvivo 11 Pro pour Windows (QSR International Pty Ltd, Victoria, Australia). L'analyse indépendante par le deuxième chercheur permet d'accroître la crédibilité de l'interprétation des résultats et de limiter le biais lié à l'interprétation par un seul chercheur. Les données codées ont été regroupées en quatre thèmes principaux composés de sous-thèmes (**Tableau 2**). Le premier thème porte sur le rapport à l'alimentation des femmes pendant leur grossesse ; le deuxième porte sur la perception globale de l'intervention diététique ; le troisième porte sur la perception du « guide nutrition de la grossesse » ; enfin, le quatrième porte sur la perception des conseils alimentaires personnalisés. Les différents thèmes sont illustrés par des citations issues des discours des participantes. Pour chaque citation, la participante est identifiée par une lettre (« I » pour le groupe « intervention » et « T » pour le groupe « témoin ») suivie d'un numéro allant de 1 à 5.

Tableau 2. Synthèse des principaux thèmes et sous-thèmes identifiés

Thème	Sous-thèmes
Rapport à l'alimentation pendant la grossesse	<ul style="list-style-type: none">- Perception de l'alimentation pendant la grossesse- Type de motivation à l'adoption de pratiques alimentaires saines identifiée selon la théorie de l'auto-détermination- Cacophonie informationnelle perçue
Perception globale de l'intervention diététique	<ul style="list-style-type: none">- Bénéfice(s) perçu(s) à la participation à l'étude- Qualité des informations reçues- Importance accordée à l'accompagnement humain- Effets sur l'alimentation quotidienne- Conditions d'application de conseils et/ou recommandations
Perception du « guide nutrition de la grossesse »	<ul style="list-style-type: none">- Utilisation et pertinence du guide- Freins et leviers à l'application des recommandations- Améliorations potentielles
Perception des conseils alimentaires personnalisés	<ul style="list-style-type: none">- Pertinence de la personnalisation- Freins et leviers à l'application des conseils choisis- Améliorations potentielles de l'approche personnalisée

Résultats et discussion

Caractéristiques des participantes de l'étude MON CAP Grossesse

Au total, 78 participantes avaient effectué intégralement le suivi diététique prévu dans l'étude MON CAP Grossesse. L'âge moyen des participantes était de $31 \pm 3,6$ ans (médiane : 31,5 ans), soit environ un an de plus que l'âge moyen à l'accouchement prévu en 2016 en France [18]. Parmi les participantes, un peu plus de deux tiers (64 %) étaient primipares. Parmi les multipares, une très large majorité avait un seul enfant (85 %). Plus de la moitié des participantes (56 %) appartenaient à la catégorie socioprofessionnelle « Cadre et profession intellectuelle supérieure ». Deux tiers des participantes avaient fait minimum cinq ans d'études après le baccalauréat et une très grande majorité (91 %) avait poursuivi des études supérieures après le baccalauréat. Près de trois quarts (72 %) des participantes avaient un revenu net mensuel du foyer supérieur à 4 000 €. Il n'y avait pas de différence significative entre les groupes pour aucune des caractéristiques sociodémographiques précédemment citées (moyenne ou répartition dans les classes).

Pour le sous-échantillon ayant participé aux entretiens semi-directifs, l'âge moyen était de $29 \pm 5,5$ ans, la proportion de primipare était de 60 % (dans le groupe « témoin » et le groupe « contrôle ») et 70 % avaient un revenu mensuel du foyer supérieur à 5 000 €.

On constate que notre population d'étude était assez spécifique puisque nous étions en présence de femmes issues de classes sociales plutôt aisées et avec un niveau d'instruction important.

Rapport à l'alimentation des participantes

Une majorité des participantes étaient tout à fait ou plutôt d'accord (32 % et 55 % respectivement) avec le fait d'avoir porté une attention particulière à avoir une alimentation saine et équilibrée avant leur grossesse. Par ailleurs, elles déclaraient porter davantage attention à avoir une alimentation saine et équilibrée depuis le début de leur grossesse (41 % étaient tout à fait d'accord et 41 % étaient plutôt d'accord avec cette affirmation).

Toutes les participantes aux entretiens rapportaient une modification du rapport à l'alimentation pendant la grossesse. Six femmes associaient principalement l'alimentation pendant la grossesse aux contraintes liées aux restrictions alimentaires ou aux troubles digestifs alors que les autres étaient davantage centrées sur l'équilibre nutritionnel.

*« toutes les restrictions que l'on doit suivre, plus ou moins strictes. » (I1)
« c'est le côté « manger des choses saines » qui me vient tout de suite à l'esprit, pour qu'il y ait un bon développement du fœtus qui se fasse vraiment bien dès le début » (T5)*

Cela est en accord avec les réponses retrouvées dans le questionnaire d'évaluation du guide, puisque les deux sections les plus consultées étaient celles relatives aux « aliments riches en vitamines et minéraux à privilégier » et aux « aliments à éviter pendant la grossesse » (consultées respectivement par 80 % et 81 % des participantes).

Les participantes aux entretiens se différençaient par le type de régulation de la motivation à avoir des pratiques alimentaires saines. Pour certaines participantes, avoir une alimentation saine était complètement intégré dans leur quotidien et correspondait à leur mode de vie. Elles étaient donc très autonomes quant à leur alimentation.

«ça correspond à ma façon de m'alimenter. C'est vrai que je fais attention globalement. [...] Enfin, j'ai quand même des connaissances en nutrition » (I5)

D'autres femmes présentaient une régulation moins autonome de leur alimentation, qualifiée d'identifiée. Elles avaient identifié le bénéfice d'une alimentation saine et équilibrée, mais cela n'était pas intégré dans leur mode de vie.

«Je m'étais déjà fait la réflexion personnelle : « il faudrait que je fasse attention » sauf que c'est difficile de trouver des conseils objectifs et sérieux. » (T3)

Enfin, certaines femmes n'étaient pas autonomes dans leur motivation à avoir une alimentation saine (c'est-à-dire qu'elles présentaient une régulation externe ou introjectée). Elles agissaient en raison de pressions externes et/ou internes pour limiter leur anxiété et éviter un sentiment de culpabilité.

«Il y a une énorme pression sociale ou médicale pour les femmes qui sont végétariennes pendant la grossesse. » (T2)

Cependant, quels que soient la perception de l'alimentation pendant la grossesse et le type de motivation, toutes les participantes percevaient une réelle cacophonie quant aux informations relatives à l'alimentation pendant la grossesse.

«Il y a le fait que je parlais du sentiment qu'aujourd'hui on a pléthore de sources d'informations et je me suis vraiment rendue compte que c'était souvent contradictoire.» (I3)

Cette cacophonie avait déjà été identifiée lors d'une précédente étude qualitative menée auprès de femmes enceintes françaises comme une des limites majeures à l'adoption de pratiques alimentaires plus saines [5]. Ainsi, selon la théorie de l'autodétermination, cela constitue un environnement ne permettant pas d'apporter la compétence et l'autonomie nécessaires à l'adoption d'une alimentation saine [3, 6].

Perception globale de l'intervention diététique

Dans l'échantillon total, 85 % des participantes avaient déclaré porter davantage d'attention à avoir une alimentation saine et équilibrée depuis le début de la participation à l'étude (sans différence significative entre le groupe « témoin » et le groupe « intervention »).

De manière générale, la participation à cette étude d'intervention diététique était très bien perçue par les femmes enceintes ayant participé aux entretiens. En effet, le fait de bénéficier d'un accompagnement diététique, qu'il emploie une approche générique ou personnalisée, leur donnait accès à une référence sur l'alimentation pendant la grossesse, considérée comme crédible. Le fait d'avoir à disposition un support matériel comme le « guide nutrition de la grossesse » était un point d'ancrage rassurant. Par ailleurs, les femmes rapportaient que les informations reçues étaient claires, synthétiques, positives et déculpabilisantes. Cela a potentiellement contribué à la forte consultation du guide en dehors du premier entretien diététique (92 % de l'échantillon total).

«C'était simple, facile d'utilisation, donc j'allais voir justement quand j'avais besoin de me souvenir de ce qu'il fallait mieux éviter et de ce qu'il fallait apporter pour voir si j'étais dans les clous. [...] C'était plus un support d'appui.» (T4)

Cependant, il convient de noter que l'accompagnement humain jouait un rôle crucial dans l'appréciation de l'étude. Toutes les participantes aux entretiens soulignaient qu'en l'absence d'un temps dédié à la lecture du guide et/ou à la proposition de conseils alimentaires personnalisés avec un diététicien, elles auraient été beaucoup moins réceptives et attentives au contenu et auraient beaucoup moins appliqué les recommandations du guide ou les conseils personnalisés. Le fait d'identifier une personne référence était rassurant pour les femmes et leur permettait de bénéficier d'explications et de réponses à leurs questions.

« [Sans l'accompagnement humain] je n'aurais pas prêté attention plus que ça [au guide]. Je l'ai reçu parmi d'autres prospectus, je l'ai parcouru rapidement [...] et puis je l'ai posé dans le placard, et je n'ai pas remarqué qu'il y avait autant d'informations dedans » (T3)

Ainsi, la participation à l'étude apparaît comme un moyen d'apporter de la sérénité et de déculpabiliser les femmes sur certains points de tension relatifs à l'alimentation, notamment grâce à la présence d'un accompagnement humain et la mise à disposition d'un support matériel clair, synthétique, crédible et positif (**Figure 2**). Ainsi, toutes les femmes ont accru leur compétence et leur autonomie à l'adoption de pratiques alimentaires saines, même les plus autonomes avaient apprécié le fait de bénéficier d'un point de référence sur l'alimentation pendant cette période spécifique.

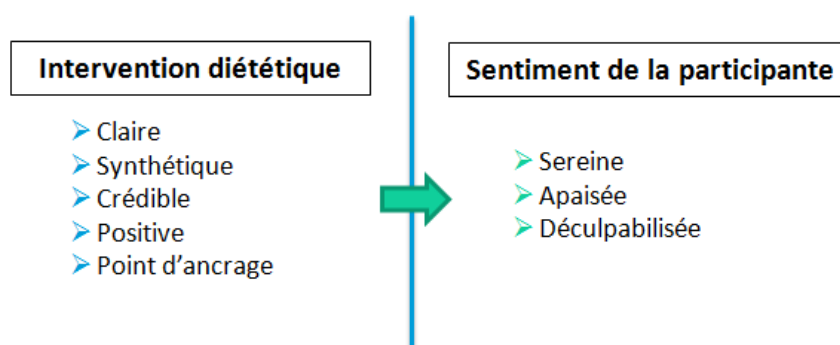


Figure 2. Caractéristiques de l'intervention diététique ayant un effet positif sur la perception de l'alimentation pendant la grossesse par les participantes

Toutes les participantes rapportaient des modifications de leur alimentation suite à la participation à l'étude. Cela leur a permis d'élargir leur répertoire alimentaire et de découvrir les bénéfices nutritionnels de certains aliments. Certaines rapportaient même que les habitudes alimentaires saines s'étaient répercutées sur les autres membres de leur famille et se poursuivraient au-delà de la période de grossesse.

« Comment je peux diversifier mon alimentation et mes apports nutritionnels, ce sont des conseils qui sont vraiment utiles pour toute la famille. [...] parce que ce sont des habitudes alimentaires qu'on continuera à appliquer plus tard. » (I3)

Dans le cadre de l'approche « vie entière » [19], cela est particulièrement intéressant, car cela montre que la grossesse est bien une fenêtre d'opportunité pour la mise en place de pratiques alimentaires saines ayant un impact sur l'ensemble de la famille et se poursuivant dans le temps [4].

Majoritairement, on constate que l'application des recommandations du guide et des conseils alimentaires personnalisés est conditionnée par deux déterminants : la pertinence nutritionnelle perçue par la participante et la proximité avec ses habitudes alimentaires. Si un de ces deux déterminants étaient manquants, le conseil n'était pas appliqué ou était adapté. Dans cette population où les femmes avaient en majorité un niveau d'instruction élevé, la perception de la pertinence nutritionnelle de la recommandation ou du conseil était nécessaire à son application. Cela se retrouvait principalement chez les femmes étant les plus autonomes dans leur motivation.

« Justement, parce que je comprends pourquoi on me donne tel conseil, après je peux le mettre en place ou pas. » (I4)

Les femmes les moins autonomes s'intéressaient moins à la pertinence nutritionnelle de prime abord. Elles expérimentaient la mise en place du conseil ou de la recommandation et si elles y percevaient un bénéfice, elles poursuivaient dans l'application du conseil.

« Au début je vomissais beaucoup, et quand j'avais faim je mangeais un grec ou un McDo. Après quand on a des conseils, et que l'on voit que ça marche et bien on n'a plus envie d'aller au grec ou au Mcdo. [...] Donc, oui, on adapte et ça marche bien. » (T1)

La perception de la pertinence nutritionnelle était également favorisée par la fourniture d'explications par le diététicien.

Les habitudes et préférences alimentaires au sens large ont aussi conditionné l'application des conseils. Si l'aliment correspondait au goût de la participante, était disponible dans son lieu d'approvisionnement habituel et si sa préparation était facile, la recommandation ou le conseil était appliqué.

« On fait les courses, [...] pas au jour le jour mais presque, [suite aux conseils personnalisés] au lieu d'acheter des pommes, j'achetais des kiwis, [...] je voulais manger moins de bœuf, on a donc mangé plus d'autres viandes, du veau c'était facile. » (I2)

« Non, alors, concrètement le boudin noir, on l'a pas cuisiné, j'en ai mangé deux ou trois fois au restaurant quand j'en avais l'occasion. » (T3)

Par ailleurs, le facteur « temps » avait été identifié par certaines participantes comme important pour appliquer un conseil ou une recommandation. Cela est particulièrement marqué chez les multipares, qui étaient déjà en charge d'une famille et disposaient de moins de temps pour modifier leur alimentation quotidienne. Les primipares se projetant sur l'éventualité de la participation à une telle intervention lors d'une seconde grossesse, mentionnaient que le temps dont elles disposeraient en tant que mère de famille pourrait être limitant.

Perception du « guide nutrition de la grossesse »

Le guide avait été bien perçu par les participantes à l'étude. Parmi les participantes qui avaient lu le guide en dehors du premier entretien diététique, toutes étaient en accord (plutôt ou tout à fait) avec le fait que le guide était facile à comprendre. Les femmes du groupe « témoin » avaient davantage consulté le guide que celles du groupe « intervention » (29 % des femmes du groupe « témoin » l'avaient consulté cinq fois ou plus, alors qu'aucune femme du groupe « intervention » ne l'avait consulté plus de quatre fois).

Les femmes ayant participé aux entretiens avaient perçu le guide comme « une bonne base » pour les informations nécessaires pendant la grossesse. Même les femmes les plus autonomes par rapport à leur alimentation et rapportant avoir des connaissances en nutrition y avaient trouvé des informations inconnues. Par ailleurs, les informations qu'il contenait étant claires et synthétiques, cela avait permis de résoudre la cacophonie.

« Je pense que c'est vraiment utile [le guide], il est très bien fait. [...] Pour refixer des petites choses, effectivement. Pour faire le tri juste sur cette confusion que je pouvais avoir : la toxoplasmose, la listériose... » (I5)

En dehors des sections sur les aliments riches en vitamines et minéraux et sur les aliments à éviter, les autres sections du guide avaient été consultées en fonction des besoins spécifiques de chaque femme au cours de sa grossesse. Les femmes sujettes à de nombreux troubles digestifs trouvaient que les astuces alimentaires qu'il contenait les avaient aidées à améliorer leur état général. Celles ayant des fringales ou ayant, au contraire, des difficultés à consommer des repas de « taille habituelle », appréciaient de bénéficier de recommandations déculpabilisantes sur la prise de collations et le fractionnement des repas.

« C'est bizarre d'avoir constamment faim. Après, j'ai suivi les conseils de l'étude : le fractionné qui m'a permis de manger en moins grande quantité mais à plus de moments. Puis, j'ai suivi avec une période où je ne faisais plus que trois repas par jour, je n'avais plus besoin de mes collations. » (T2)

Les améliorations possibles pour le guide identifiées par les femmes étaient de deux types : celles qui enrichiraient des recommandations déjà présentes dans le guide et celles qui pourraient constituer une nouvelle section.

Parmi les améliorations qui auraient permis d'accroître l'application de recommandations déjà présentes dans le guide, les femmes auraient souhaité bénéficier de quelques recettes pour préparer les aliments riches en vitamines et minéraux qui étaient proposés. Elles auraient également voulu avoir davantage d'informations sur les quantités et la fréquence de consommation de ces aliments.

Parmi les nouveautés qu'elles souhaiteraient voir figurer dans le guide, la principale idée était d'ajouter un semainier leur permettant d'équilibrer leurs apports nutritionnels sur une semaine.

« ça serait peut-être bien d'avoir un semainier avec des menus types proposés. [...] comment équilibrer sur une semaine et comment avoir en même temps les aliments à privilégier et ce qui pourrait être considéré comme un écart : intégrer quelques morceaux de chocolat. » (I2)

Certaines participantes réclamaient une stratification plus importante des recommandations proposées en fonction des catégories de population. Elles souhaiteraient que ces dernières soient adaptées au budget, à l'intensité de l'activité, au temps pour cuisiner, au nombre de repas pris à l'extérieur.

Par ailleurs, certaines participantes avaient mentionné qu'elles auraient aimé bénéficier d'un retour plus personnalisé sur les consommations qu'elles avaient déclarées dans le recueil en ligne.

« Après ce qui m'a manqué à la limite, c'est que j'aurais aimé avoir un retour personnel sur : « là quand même ce repas-là il était un peu costaud ! » Ça m'aurait peut-être aidée. » (T4)

Ainsi le guide présentait un réel intérêt pour les participantes. Cependant, il convient de noter que les pistes d'améliorations identifiées se rapprochaient d'une personnalisation des conseils puisqu'elles sous-tendaient fréquemment la prise en compte de nombreuses caractéristiques individuelles.

Perception des conseils alimentaires personnalisés

28 % des participantes du groupe « intervention » déclaraient que tous les conseils alimentaires personnalisés proposés dans l'étude étaient pertinents et 63 % déclaraient qu'ils étaient en majorité pertinents. Sur les neuf conseils personnalisés reçus, les participantes en avaient appliqué en moyenne huit, avec un minimum de cinq conseils appliqués et un maximum de neuf.

Le fait de bénéficier de conseils alimentaires portant sur le recueil qu'elles avaient renseigné en ligne leur permettait de faire un retour sur leurs consommations passées et d'identifier des possibilités d'amélioration. Les substitutions étaient perçues comme des alternatives et les modifications des quantités comme des moyens de ré-ajuster ou d'identifier des aliments « à favoriser » ou « à limiter ».

« on prend conscience des aliments que l'on a mangés. [...] ça c'est intéressant, et les substitutions aussi puisqu'elles permettent d'ajuster, de varier, de réfléchir à d'autres alternatives. » (I2)

« Il suffit d'augmenter des quantités de produits très basique, et ça faisait déjà partie de mes habitudes donc c'était encore plus évident. » (I3)

Cependant, les participantes soulignaient l'aspect trop spécifique des conseils alimentaires personnalisés qui se focalisaient sur des aliments précis, ce qui pouvait les rendre moins pertinents à leurs yeux.

Plusieurs freins à l'application des conseils avaient été identifiés par les participantes. Elles portaient sur le côté exceptionnel de la consommation de l'aliment visé par un conseil. Dans ce cas-là, les femmes n'appliquaient pas le conseil car elles n'identifiaient pas de moments propices ou elles l'adaptaient à leur alimentation en fonction de ce qui leur paraissait réalisable.

« [Suite au conseil de remplacer un gâteau de pâtisserie par un brownie aux noix], j'ai essayé de manger des fruits secs par ailleurs, sans faire un brownie par exemple, mais des amandes, des noix, etc. Donc, en fait, j'ai adapté le truc dans un autre sens. » (I4)

On retrouve dans l'adaptation des conseils personnalisés, les deux déterminants majeurs de l'application des conseils : la pertinence nutritionnelle et les habitudes alimentaires. Ainsi, les femmes avaient tendance à ne pas suivre tous les conseils alimentaires personnalisés comme une prescription mais à les adapter pour en conserver le bénéfice nutritionnel tout en respectant leurs habitudes alimentaires au sens large (goût, disponibilité, capacité à cuisiner...).

Plusieurs améliorations découlaient de ces limites. Les participantes suggéraient d'augmenter le nombre de jours de recueil ou de les choisir elles-mêmes pour que le recueil corresponde au mieux à leurs « consommations habituelles ». Ainsi, les conseils proposés ne pourraient pas viser (ou moins fréquemment) des aliments consommés de manière exceptionnelle. Cependant, elles mentionnaient que renseigner le recueil en ligne prenait du temps et qu'une augmentation du nombre de jours nécessiterait une plus grande implication de leur part.

« Le recueil effectivement se basant sur trois jours, il y a des moments où j'ai l'impression que ce n'est pas représentatif. Donc, je me dis que ne serait-ce que sur une semaine, ça l'est sans doute davantage. » (I5)

Les participantes regrettaient que les conseils aient porté sur des aliments disponibles au supermarché mais dont ce n'était pas nécessairement la pleine saison. Elles auraient apprécié pouvoir avoir des conseils favorisant les aliments de saison, même si elles étaient conscientes que les conseils concernaient le recueil alimentaire initial renseigné en fin du premier ou en début du deuxième trimestre de grossesse et donc ne pouvaient plus être adaptés à la saison en fin de grossesse.

« Le programme suggérait souvent de remplacer la soupe de poireaux par de la soupe de tomates. Je sais que j'évite de prendre des tomates en hiver pour revenir sur cet exemple. Donc je trouvais ça dommage qu'il n'y ait pas eu de prise en compte des saisons. » (11)

Il convient de noter que ces remarques sont très liées aux caractéristiques sociodémographiques de notre population d'étude, qui rapportait s'approvisionner majoritairement au marché pour les produits frais et être très sensible aux questions d'environnement et de nutrition.

En conclusion, l'approche personnalisée a paru un peu trop spécifique pour les femmes enceintes. Cependant, elles s'accordaient sur le fait que cela leur avait permis de reconsidérer leur alimentation et d'identifier des leviers d'amélioration. L'aspect trop spécifique des conseils avait finalement été résolu en adaptant chaque conseil à l'alimentation comme une ligne directrice et non comme une prescription.

Recommandations pratiques

Les femmes enceintes ayant participé aux entretiens s'accordaient toutes sur le bénéfice de cette intervention diététique comme point de référence sur les questions d'alimentation pendant la grossesse. Elles souhaiteraient qu'un accompagnement diététique soit proposé surtout pour la première grossesse. Cet accompagnement consisterait en une explication du guide lors d'un entretien spécifique avec une diététicienne spécialiste de la grossesse ou lors d'un cours de préparation à la grossesse spécifique. L'approche personnalisée est perçue comme un complément qui pourrait être proposé au choix à chaque femme en fonction du temps dont elle dispose et de l'attention qu'elle souhaite porter à son alimentation.

« Pour la première grossesse, pour moi ça serait vraiment super que l'on puisse toutes avoir cette possibilité-là [de bénéficier d'un suivi diététique]. Pour les suivantes, ce serait accessoire. » (13)

« Alors, le guide je pense que c'est bien, avec une ou deux consultations d'explications. [Les conseils personnalisés] c'est très bien pour celles qui le souhaitent. [...] C'est vraiment au cas par cas » (14)

Ces résultats sont en accord avec ce qui avait été identifié dans d'autres études qualitatives portant sur la nécessité de bénéficier de conseils alimentaires pendant la grossesse [5, 13, 20–22]. Cependant, dans le cas de notre étude, les données ont été recueillies après une intervention diététique. Les participantes ont ainsi pu identifier si l'approche de conseil proposée leur paraissait pertinente. Cela rend cette volonté de bénéficier de conseils alimentaires pendant la grossesse plus concrète, car résultant d'une expérimentation effective de ce type d'intervention. Cependant, il convient de noter que ces résultats ont été obtenus dans une population spécifique composée de femmes de classe sociale plutôt aisée, ce qui limite leur généralisation.

Conclusion

Cette étude, s'appuyant sur des méthodes mixtes, a permis de confirmer que la grossesse représente une réelle fenêtre d'opportunité pour proposer des interventions diététiques. En effet, les femmes expérimentent une prise de conscience nutritionnelle lors de cette période et sont amenées à fréquenter davantage le milieu médical. Une intervention proposant des recommandations et/ou conseils alimentaires est très bien perçue par les femmes enceintes, à condition que ceux-ci soient positifs, crédibles, déculpabilisants et expliqués par une personne de référence. Cette intervention permet notamment d'accroître l'autonomie des femmes quant à leur alimentation et de manière plus importante lorsque celles-ci présentaient une régulation externe ou introjectée. D'un point de vue santé publique, cela présente un intérêt considérable puisque les femmes qui en avaient le plus besoin sont d'autant plus affectées par l'intervention.

Références bibliographiques

1. Pin S, Fournier C, Lamboy B, Guilbert P. Les études d'évaluation à l'institut national de prévention et d'éducation pour la santé. Saint-Denis: INPES; 2007.
2. Contandriopoulos AP, Champagne F, Denis JL, Avargues MC. L'évaluation dans le domaine de la santé : concepts et méthodes. *Rev. Épidémiologie Santé Publique*. 2000;48:517–39.
3. Ryan RM, Deci EL. Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemp. Educ. Psychol*. 2000;25:54–67.
4. Szwajcer EM, Hiddink GJ, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition awareness and pregnancy: implications for the life course perspective. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol*. 2007;135:58–64.
5. Bianchi CM, Huneau J-F, Le Goff G, Verger EO, Mariotti F, Gurvey P. Concerns, attitudes, beliefs and information seeking practices with respect to nutrition-related issues: a qualitative study in French pregnant women. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2016;16:306.
6. Paquet Y, Carbonneau N, Vallerand JR. La théorie de l'autodétermination. Aspects théoriques et appliqués. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur; 2016.
7. Chang M-W, Nitzke S, Guilford E, Adair CH, Hazard DL. Motivators and barriers to healthful eating and physical activity among low-income overweight and obese mothers. *J. Am. Diet. Assoc*. 2008;108:1023–8.
8. Reyes NR, Klotz AA, Herring SJ. A qualitative study of motivators and barriers to healthy eating in pregnancy for low-income, overweight, African-American mothers. *J. Acad. Nutr. Diet*. 2013;113:1175–81.
9. Graham M, Uesugi K, Olson C. Barriers to weight-related health behaviours: a qualitative comparison of the socioecological conditions between pregnant and post-partum low-income women. *Matern. Child. Nutr*. 2014;
10. Hromi-Fiedler A, Chapman D, Segura-Pérez S, Damio G, Clark P, Martinez J, et al. Barriers and Facilitators to Improve Fruit and Vegetable Intake Among WIC-Eligible Pregnant Latinas: An Application of the Health Action Process Approach Framework. *J. Nutr. Educ. Behav*. 2016;48:468–477.e1.
11. Whitaker KM, Wilcox S, Liu J, Blair SN, Pate RR. Pregnant women's perceptions of weight gain, physical activity, and nutrition using Theory of Planned Behavior constructs. *J. Behav. Med*. 2016;39:41–54.
12. Szwajcer EM, Hiddink GJ, Maas L, Koelen MA, van Woerkum CMJ. Nutrition-related information-seeking behaviours of women trying to conceive and pregnant women: evidence for the life course perspective. *Fam. Pract*. 2008;25 Suppl 1:i99-104.
13. Wennberg AL, Lundqvist A, Högberg U, Sandström H, Hamberg K. Women's experiences of dietary advice and dietary changes during pregnancy. *Midwifery*. 2013;29:1027–34.
14. Bianchi CM, Mariotti F, Lluch A, Journet C, Stehr Y, Beaussier H, et al. Computer-based tailored dietary counseling improves the nutrient adequacy of French pregnant women: a randomized controlled trial. En cours de publication. 2017;
15. INPES. Le guide nutrition de la grossesse. Paris: Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé; 2015.
16. Braun V, Clarke V. Using thematic analysis in psychology. *Qual. Res. Psychol*. [Internet]. 2006 [cited 2016 Mar 1]; Available from: <http://sci-hub.io/10.1191/1478088706qp063oa>
17. Fade SA, Swift JA. Qualitative research in nutrition and dietetics: data analysis issues. *J. Hum. Nutr. Diet*. 2011;24:106–14.
18. INSEE. Bilan démographique 2016. INSEE Prem. 2017;4.
19. Herman DR, Taylor Baer M, Adams E, Cunningham-Sabo L, Duran N, Johnson DB, et al. Life Course Perspective: evidence for the role of nutrition. *Matern. Child Health J*. 2014;18:450–61.
20. Bianchi CM, Mariotti F, Reulet E, Le Goff G, Lluch A, Verger EO, et al. Perception of tailored dietary advice to improve the nutrient adequacy of the diet by French pregnant women : a mixed methods study. En cours de publication. 2017;
21. Lucas C, Charlton KE, Yeatman H. Nutrition advice during pregnancy: do women receive it and can health professionals provide it? *Matern. Child Health J*. 2014;18:2465–78.
22. Ferrari RM, Siega-Riz AM, Evenson KR, Moos M-K, Carrier KS. A qualitative study of women's perceptions of provider advice about diet and physical activity during pregnancy. *Patient Educ. Couns*. 2013;91:372–7.

CHAPITRE III

-

DISCUSSION GÉNÉRALE ET CONCLUSION

Discussion générale et conclusion

1. Discussion générale

L'objectif de cette thèse était d'étudier différents aspects de la nutrition pendant la grossesse (adéquation nutritionnelle, rapport à l'alimentation...) afin d'élaborer puis d'évaluer une méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas qui puisse améliorer l'adéquation nutritionnelle des femmes enceintes en France. Tout d'abord, trois types de conseils alimentaires personnalisés, générés pas-à-pas, par un algorithme, ont été définis pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de régimes observés de femmes enceintes. À l'issue d'un compromis entre l'efficacité nutritionnelle théorique de chaque type, mise en évidence lors de travaux de simulation, et leur acceptabilité évaluée par des femmes enceintes en France, lors d'études qualitative et quantitative, deux types de conseils, à la fois acceptables et efficaces, ont été sélectionnés. Par la suite, un essai randomisé contrôlé a montré que proposer des conseils personnalisés selon l'approche développée précédemment en accompagnement de recommandations alimentaires génériques pour la grossesse était plus efficace pour améliorer l'adéquation nutritionnelle de femmes enceintes qu'une approche proposant uniquement les recommandations génériques.

Chacun des travaux personnels présentés précédemment exposant une discussion des méthodes et résultats obtenus, l'objectif de cette discussion n'est pas de détailler les éléments précédemment exposés mais de développer trois axes de discussion transversaux que sont : (1) la pondération potentielle des nutriments dans le paramétrage du PANDiet, (2) l'utilisation de l'approche personnalisée pour aboutir à des recommandations alimentaires génériques utilisables en santé publique et, (3) la mise en place d'une approche de conseils alimentaires dans le suivi de grossesse.

- **La pondération des nutriments dans le paramétrage du PANDiet adapté à la grossesse**

Le PANDiet est un score de qualité de l'alimentation, fondé sur les apports en nutriments, qui a pour objectif d'évaluer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de manière globale. Ainsi, lors de son développement et du travail de validation associé, le score ne comportait pas de pondération pour les probabilités d'adéquation pour les nutriments le composant et ce choix avait déjà pu être discuté (Verger *et al.*, 2012; Verger, 2013).

La seule pondération identifiée découle de la construction du score. Les items du sous-score de Modération étant moins nombreux que ceux du sous-score d'Adéquation, ils ont donc un poids plus important dans le score final de PANDiet qui moyenne ces deux sous-scores. Cependant, dans le cas de la population adulte générale, en l'absence de justifications scientifiques pour attribuer un poids plus important à un nutriment par rapport à un autre, il avait été choisi de n'attribuer aucune pondération. Dans la période spécifique de la grossesse, certains nutriments ont été identifiés comme clés : le calcium, le fer, l'iode, les folates et le DHA (INPES, 2015). Nous avons d'ailleurs vu que l'adaptation des indices de qualité de l'alimentation à la période de grossesse était effectuée par l'ajout d'items correspondant à ces nutriments (Bodnar et Siega-Riz, 2002; Kadawathagedara *et al.*, 2017; Laraia *et al.*, 2007; Mariscal-Arcas *et al.*, 2009; Nash *et al.*, 2013; Pick *et al.*, 2005; Rifas-Shiman *et al.*, 2009), leur donnant donc un poids considérable dans l'évaluation de la qualité de l'alimentation pendant la grossesse. Dans notre approche, l'utilisation de pondération(s) est discutable pour plusieurs raisons. L'algorithme d'optimisation du PANDiet, tel que programmé actuellement, choisit la modification du régime alimentaire observé (ou généré à l'étape précédente) qui améliore au mieux le PANDiet (sous les contraintes liées à l'apport énergétique et au type de conseils alimentaires choisis). L'attribution d'un poids plus important à certains nutriments, rendrait l'approche moins globale et reviendrait à orienter l'algorithme. Ainsi, il proposerait des conseils diététiques plus simples dans leur justification nutritionnelle et donc plus proches de recommandations génériques sur les aliments à favoriser (INPES, 2015). Par ailleurs, aucune justification scientifique ne permet d'évaluer l'impact sur la santé de la potentielle différence d'inadéquation des apports en un nutriment par rapport à un autre. Par exemple, si nous choisissons d'attribuer un poids de 150 % aux nutriments-clés pour la grossesse et si la probabilité d'adéquation en calcium (qui en fait partie) est de 0,65 et que celle en vitamine A (qui n'en fait pas partie) est de 0,45, l'algorithme aura tendance à privilégier les conseils améliorant la probabilité d'adéquation en calcium par rapport à celle en vitamine A, malgré la différence de niveau d'adéquation. Or, la vitamine A joue un rôle important lors de l'embryogénèse (Ackermans *et al.*, 2011; Gernand *et al.*, 2016; Gutierrez-Mazariegos *et al.*, 2011) et une déficience en vitamine A a été identifiée comme facteur de risque de survenue de fentes oro-faciales. Donc, même si le calcium présente un rôle clé durant la grossesse (Hacker *et al.*, 2012), notamment pour la santé osseuse de la mère et de l'enfant, il n'existe pas de justification permettant de mettre la priorité sur ce nutriment dont l'adéquation serait supérieure à celle d'autres nutriments.

Par ailleurs, durant la grossesse, une supplémentation en folates est recommandée et devrait être prescrite par le professionnel de santé en charge du suivi de grossesse en tout début de grossesse ou même, dans le cas d'une grossesse planifiée, quelques semaines avant la conception (Haute Autorité de Santé, 2005). Une étude française menée auprès de 903 femmes enceintes (échantillon non-représentatif de la population) a mis en évidence que 50,2 % des femmes enceintes au premier trimestre de grossesse prenaient un complémentaire alimentaire en acide folique et cette prévalence était encore de 41,2 % chez les femmes enceintes au troisième trimestre de grossesse (Pouchieu *et al.*, 2013). Sachant que certains compléments alimentaires en acide folique contiennent jusqu'à 1 mg d'acide folique et que la recommandation ne prévoit pas de supplémentation au deuxième et troisième trimestres de grossesse, il paraît délicat de proposer des conseils alimentaires visant à augmenter les apports en folates de manière préférentielle alors que les apports d'une partie non négligeable d'entre elles, consommant des compléments, sont déjà plus que suffisants. L'inclusion de ce type de pondération nécessiterait d'évaluer la prise de compléments alimentaires des femmes enceintes. Or, nous avons constaté lors de l'ERC que les femmes identifiaient difficilement les compléments alimentaires rendant les questions sur la consommation de compléments alimentaires inexploitable (résultats non présentés).

Cependant, l'inclusion d'un système de pondérations pourrait être intéressante dans le cas de certaines pathologies où il est nécessaire d'équilibrer le régime alimentaire en prenant en compte plus spécifiquement certains nutriments. La prévalence du diabète gestationnel n'a de cesse d'augmenter dans les pays développés (Ferrara, 2007) y compris en France où, après la publication de nouvelles recommandations concernant le diagnostic, celle-ci a été estimée à 8 % (Regnault *et al.*, 2016). Afin de proposer des conseils personnalisés aux femmes enceintes ayant développé un diabète gestationnel, il pourrait être pertinent d'attribuer un poids supérieur aux probabilités d'adéquation concernant les glucides totaux et les lipides totaux (dans les sous-scores d'Adéquation et de Modération), concernant les fibres (dans le sous-score d'Adéquation) et concernant les sucres libres et les acides gras saturés (dans le sous-score de Modération), comme suggéré dans une revue relative aux stratégies pour la gestion du diabète gestationnel (Hernandez *et al.*, 2013). Cependant, là encore, il paraît compliqué de déterminer quelle valeur numérique attribuer à chaque pondération.

- **L'emploi de l'approche personnalisée pour aboutir à des recommandations alimentaires génériques utilisables en santé publique :**

L'approche développée au cours de ces travaux de thèse a pour objectif d'étudier les caractéristiques d'une amélioration de la qualité nutritionnelle de l'alimentation au niveau individuel en proposant des conseils alimentaires personnalisés. Cependant, nous avons vu que l'emploi de cette approche sur une population assez large permet de mettre en évidence des conseils ou des catégories de conseils étant fréquemment proposés par l'algorithme (c'est-à-dire faisant partie de ceux qui augmentent le plus et le plus souvent la qualité nutritionnelle de l'alimentation). Si ces conseils sont souvent sélectionnés par l'algorithme, cela signifie notamment que la prévalence de consommation de l'aliment subissant la substitution ou la modification de quantité consommée est assez importante dans la population étudiée. Ainsi, identifier les conseils les plus fréquemment proposés par l'algorithme fournit des éléments pour proposer des recommandations alimentaires plus génériques pour la grossesse. Ces recommandations seraient pertinentes sur le plan nutritionnel et adaptées à la population puisque basées sur les régimes observés.

À titre d'exemples, lors du travail personnel n°2, nous avons pu mettre en évidence des sous-groupes d'aliments très largement représentés en tant que « remplaçants » ou « remplacés » dans les conseils de type n°3 et des sous-groupes d'aliments dont les quantités consommées étaient très fréquemment augmentées ou diminuées dans les conseils de type n°1. Ainsi, lors des simulations portant sur le type n°3, les sous-groupes « poisson (non transformé) », « céréales de petit-déjeuner », « graines oléagineuses » et « fruits frais » étaient les quatre principaux contributeurs aux aliments remplaçants (19 %, 17 %, 15 % et 10 % des conseils respectivement). À l'inverse, les sous-groupes « fromages affinés », « pain », et « viande (non transformée) » étaient les trois principaux contributeurs aux aliments remplacés (10 %, 10 % et 8 % des conseils respectivement). Lors des simulations portant sur le type n°1, les sous-groupes « pain », « fruits frais » et « légumes (crus) » étaient les trois principaux contributeurs aux aliments augmentés (13 %, 13 %, et 12 % des conseils respectivement). À l'inverse, les sous-groupes « fromages affinés » et « beurre, margarine et crème fraîche » étaient les deux principaux contributeurs aux aliments remplacés (18 % et 15 % des conseils respectivement).

En combinant les résultats obtenus lors de nos simulations pour les types n°1 et n°3 et en les comparant avec ceux d'une étude utilisant la programmation linéaire pour optimiser les apports en 31 nutriments de régimes de 1 171 adultes français ayant participé à l'étude INCA1 sous différentes contraintes pour les apports en glucides totaux, lipides totaux, AGMI et cholestérol, on observe des tendances similaires pour les recommandations auxquelles ils aboutissent. En effet, dans l'étude employant la programmation linéaire, quelles que soient les contraintes définies (parmi 8 combinaisons), il apparaissait que l'augmentation des consommations des sous-groupes « noix (non salées) », « féculents et céréales non raffinés », « légumineuses », « fruits », « poisson » et « légumes » et la diminution des consommations des sous-groupes « matières grasses animales », « charcuteries », « fromage », « plats composés » et « viande rouge » étaient nécessaires à l'adéquation nutritionnelle des régimes (Maillot *et al.*, 2011). La diminution ou la substitution des aliments du sous-groupe « charcuteries » n'apparaît pas (ou peu) lors de nos simulations, car la plupart, dont la consommation n'est pas recommandée pendant la grossesse, a été remplacée par un aliment moyen (principalement constitué de jambon cuit et de volaille) lors de l'étape préliminaire à l'optimisation.

La cohérence de ces résultats est en faveur de l'utilisation d'algorithme d'optimisation des régimes individuels pour aboutir à des recommandations alimentaires pour la population générale ou pour des catégories spécifiques de la population (ANSES, 2017b). Notre approche et celle développée dans l'étude précédente étaient fondées uniquement sur l'adéquation nutritionnelle, cependant la force des algorithmes d'optimisation est qu'ils peuvent inclure d'autres objectifs au-delà de la satisfaction des besoins nutritionnels comme la réduction des émissions de gaz à effet de serre (Perignon *et al.*, 2016), le budget alloué à l'alimentation (Maillot *et al.*, 2017; Perignon *et al.*, 2016) ou l'ingestion de contaminants (Barré *et al.*, 2016), sur lesquels bâtir des recommandations.

Même si les différentes méthodes cherchent à ce que les régimes optimisés s'éloignent au minimum des régimes observés, les recommandations qui en découlent sont parfois éloignées des habitudes de consommation des français (Castetbon *et al.*, 2009; Dubuisson *et al.*, 2010; Estaquio *et al.*, 2009) et plus spécifiquement dans notre cas de celles des femmes enceintes françaises (Kadawathagedara *et al.*, 2017). C'est pourquoi, les études de modélisation et d'optimisation constituent une étape préliminaire qui doit être suivie d'une communication des recommandations qui soit adaptée à la population visée pour en améliorer la mise en place effective. Des stratégies relevant du concept d'architecture du choix (appelées « *nudging* » en anglais) ont été utilisées dans le domaine de l'alimentation avec

pour objectif de modifier l'environnement des individus pour les diriger vers des choix alimentaires plus sains en n'interdisant aucune option alimentaire et en ne modifiant pas le budget alloué à l'alimentation. Ces stratégies, de natures multiples (positionnement des produits dans un supermarché, étiquetage spécifique ou promotion de certains groupes d'aliments), s'avèrent prometteuses (Bucher *et al.*, 2016) et pourraient être développées lors d'interventions pour faciliter la mise en place effective de recommandations alimentaires.

Les recommandations alimentaires sont le plus souvent basées sur les consommations de sous-groupes d'aliments (ANSES, 2017b; EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2010). Cependant, il est également possible de raisonner à l'échelle de l'aliment, pour promouvoir la consommation de certains aliments au sein de sous-groupes. Lors des simulations portant sur le type n°2, les sous-groupes « beurre, margarine et crème fraîche », « pain », et « légumes (cuits) » étaient parmi les sous-groupes les plus affectés par les substitutions (10 %, 9 %, et 8 %, des conseils). Cela montre qu'au sein même de ces sous-groupes, il existe des aliments à privilégier. À titre d'exemples : la margarine à 55-60% de matières grasses enrichie en oméga 3 et 6 apparaissait fréquemment en remplacement de beurre doux ou demi-sel ; les pains complets étaient souvent favorisés au détriment de la baguette très largement consommée ; et les épinards remplaçaient très souvent les courgettes ou les haricots verts. Ainsi, des recommandations plus spécifiques au sein même de sous-groupes d'aliments découlant de ces observations pourraient être proposées. Il pourrait être expliqué que remplacer du beurre par de l'huile présente un bénéfice nutritionnel, mais si l'individu est attaché à la consommation de matières grasses solides, il peut également être bénéfique de remplacer le beurre par une matière grasse végétale solide enrichie en oméga 3 et 6.

En France, les approches individuelles d'optimisation de l'adéquation nutritionnelle des régimes observés ont tout d'abord été utilisées pour la population adulte (Maillot *et al.*, 2010; Maillot *et al.*, 2011; Verger *et al.*, 2014). Les travaux menés dans le cadre de cette thèse montrent que cette approche peut être adaptée à une catégorie spécifique de la population comme les femmes enceintes en tenant compte de leurs besoins nutritionnels spécifiques, mais aussi des aliments dont la consommation n'est pas recommandée durant cette période pour des raisons de sécurité sanitaire (ANSES, 2013; INPES, 2015). Il serait possible d'utiliser cette approche pour proposer des recommandations pour d'autres catégories de la population comme les enfants en bas-âge (six mois à trois ans) en tenant compte de leurs besoins nutritionnels spécifiques mais aussi de contraintes liées à la diversification alimentaire (INPES, 2005).

- **La mise en place d'une approche de conseils alimentaires dans le suivi de grossesse :**

Dans l'étude des groupes de discussion présentée dans le travail personnel n°3, nous avons vu que les femmes enceintes en France percevaient une cacophonie majeure concernant les informations relatives à l'alimentation et la nutrition. Ces informations, absorbées passivement (c'est-à-dire fournies aux femmes enceintes sans demande particulière de leur part) ou cherchées activement (c'est-à-dire obtenues par elles-mêmes), sont le plus souvent contradictoires au sein d'un même type de sources et entre les types de sources. Cela constitue une source d'anxiété pour les femmes enceintes qui, par l'obtention et/ou la recherche d'informations, cherchent au contraire à apaiser les tensions perçues vis-à-vis de l'alimentation pour adopter une alimentation saine pour leur bien-être et celui de leur futur enfant. Ainsi, comme cela a pu être montré dans le travail personnel n°4, les femmes enceintes aimeraient bénéficier de conseils alimentaires positifs et personnalisés, provenant de sources crédibles.

Ces résultats sont retrouvés dans plusieurs études qualitatives menées dans les pays développés (Brown et Avery, 2012; Ferrari *et al.*, 2013; Johnson *et al.*, 2013; Lucas *et al.*, 2014; Wennberg *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016b). Les conclusions de ces différentes études sont en faveur d'une harmonisation des informations concernant l'alimentation et la nutrition proposées dans le cadre du suivi de grossesse par les professionnels de santé. En effet, dans les groupes de discussion menés dans le cadre de cette thèse, les femmes enceintes identifiaient les professionnels de santé comme la source la plus crédible, mais en l'absence d'informations claires et positives provenant de cette source, elles se tournaient vers leur entourage ou Internet. Cela n'avait alors pour effet que d'accroître la cacophonie.

Parmi les 78 femmes enceintes incluses dans l'ERC « MON CAP Grossesse », présentant en majorité des caractéristiques socioéconomiques élevées, près de la moitié (41 %) a déclaré ne pas avoir reçu d'informations concernant l'alimentation pendant la grossesse provenant d'un professionnel de santé avant la participation à l'étude. La revue systématique de la littérature effectuée par Lucas *et al.* à propos de l'éducation nutritionnelle pendant la grossesse a mis en évidence que les professionnels de santé manquaient de temps, de ressources et de formation pour fournir des informations concernant l'alimentation pendant la grossesse (Lucas *et al.*, 2014).

En effet, dans le suivi de grossesse, ces derniers doivent contrôler de multiples paramètres de santé de la mère et de l'enfant ayant un impact direct et mesurable sur la grossesse. Ils ne disposent que de peu (voire pas) de temps pour faire de la prévention.

En France, les recommandations concernant le suivi de grossesse prévoient, lors de la première consultation avec un professionnel de santé (avant le troisième mois), que « *des conseils d'hygiène de vie et de nutrition et une information sur les risques infectieux alimentaires* » soient donnés aux femmes et qu'un complément alimentaire d'acide folique leur soit prescrit (jusqu'à 12 SG), mais aucune précision n'est donnée concernant le contenu des conseils (Haute Autorité de Santé, 2005).

On constate ainsi que les professionnels de santé en charge du suivi de grossesse manquent de ressources et de formation pour proposer des informations adaptées et harmonisées. Les brochures et guides, édités par les agences de santé publique après réunion de comités d'experts, apparaissent comme une bonne alternative pour informer les femmes enceintes de manière systématique et harmonisée, sans ajouter de nouveaux éléments destinés à être pris en charge par les professionnels de santé dans le suivi de grossesse.

Les données obtenues lors du travail personnel n°6, qu'elles soient quantitatives (questionnaires-bilans renseignés par l'ensemble des 78 participantes) ou qualitatives (entretiens semi-directifs postérieurs au suivi diététique avec dix participantes), appuient ce propos. Un peu plus d'un tiers (37 %) des participantes à l'ERC « MON CAP Grossesse » avait reçu le guide nutrition de la grossesse de l'INPES en dehors de l'étude, mais le plus souvent celui-ci était envoyé par leur mutuelle ou donné lors de l'inscription à la maternité. Beaucoup de ces participantes ont rapporté que le guide se noyait ainsi dans la multitude d'autres documents reçus en même temps. Cependant, dans le cas de cette étude, donner et expliquer le guide durant un rendez-vous spécifique leur permettait d'y porter plus d'attention. En effet, 92 % des participantes ont lu le guide au moins une fois en dehors du premier rendez-vous diététique durant lequel il leur avait été donné et près d'un tiers des 38 participantes du groupe « témoin » (29 %) l'ont lu cinq fois ou plus. Durant les entretiens, les participantes ont rapporté qu'il était rassurant d'avoir un support papier auquel il était possible de se référer, surtout lorsque ce dernier était expliqué et provenait de sources crédibles (comité d'experts réunis par une agence de santé publique).

Ainsi, la participation à l'étude, quel que soit le groupe auquel elles avaient été affectées (« témoin » ou « intervention »), a aidé les femmes enceintes à résoudre certaines tensions vis-à-vis de l'alimentation pendant la grossesse, a très largement atténué la cacophonie qu'elles percevaient et a ainsi contribué à augmenter leur compétence et leur autonomie quant à l'alimentation. Elles ont été une majorité à mentionner l'importance de l'accompagnement humain et elles ont apprécié le fait que le guide leur soit expliqué par une personne compétente en diététique et nutrition, notamment durant la grossesse. Parmi celles qui n'avaient pas reçu le guide par ailleurs, les participantes précisent qu'elles l'auraient regardé moins attentivement (voire pas du tout) si un professionnel de santé n'avait pas pris un peu de temps pour leur en parler. Les participantes sont conscientes du manque de temps des professionnels de santé en charge du suivi de grossesse pour faire de l'éducation nutritionnelle. Ainsi, elles ont été plusieurs à proposer qu'un suivi diététique avec un professionnel de santé spécialisé dans le domaine de l'alimentation pendant la grossesse soit proposé en début de grossesse ou au minimum qu'une réunion d'information spécifique à l'alimentation soit programmée lors de l'inscription à la maternité. Cela montre que proposer des conseils alimentaires même génériques contribue à considérablement réduire les tensions vis-à-vis de l'alimentation pendant la grossesse et la cacophonie, mises en évidence lors du travail personnel n°3 mais aussi lors d'autres études qualitatives menées dans les pays développés (Brown et Avery, 2012; Ferrari *et al.*, 2013; Lucas *et al.*, 2014; Wennberg *et al.*, 2013; Whitaker *et al.*, 2016b). Néanmoins, cela n'est valable qu'à condition que les conseils soient consensuels, établis par des experts et proposés par l'intermédiaire d'un professionnel de santé.

2. Conclusion

Durant ce travail de thèse, il a été possible d'étudier différents aspects de la nutrition pendant la grossesse (adéquation nutritionnelle, rapport à l'alimentation...) puis d'élaborer et d'évaluer une méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas qui puisse améliorer l'adéquation nutritionnelle des femmes enceintes en France. Tout d'abord, l'adaptation d'un indice de qualité nutritionnelle de l'alimentation existant : le PANDiet, à la période de la grossesse, nous a permis de montrer qu'en l'absence de modifications qualitatives du régime en début de grossesse, l'adéquation nutritionnelle ne pouvait pas être maintenue. Trois types de conseils alimentaires personnalisés ont alors été élaborés. Lors de travaux de simulation, la succession de dix conseils de chaque type s'est révélée efficace pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation. L'efficacité théorique des types de conseils était croissante en fonction de l'ouverture du répertoire alimentaire qu'ils permettaient, cependant leur acceptabilité par les femmes enceintes était, quant à elle, décroissante selon l'ouverture du répertoire. Un compromis a donc été fait pour sélectionner les deux types de conseils qui soient les plus acceptables par les femmes enceintes tout en étant efficaces pour améliorer la qualité nutritionnelle de leur alimentation. Ces deux types de conseils, fondés respectivement sur des modifications des quantités consommées d'aliments et sur des substitutions au sein du même sous-groupe d'aliments, ont été intégrés dans une application informatique pour proposer une approche de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas à des femmes enceintes françaises lors d'un ERC. Par ailleurs, les données qualitatives obtenues ont permis de montrer que les femmes enceintes françaises sont à la recherche d'informations positives et crédibles concernant l'alimentation pour contribuer à la santé et au bien-être de leur bébé et d'elles-mêmes. La caractérisation de leurs attentes en matière de conseils alimentaires a ainsi permis d'affiner notre approche et d'améliorer la communication des conseils lors de l'ERC. L'approche proposant les conseils alimentaires personnalisés en accompagnement de recommandations alimentaires génériques pour la grossesse lors de l'ERC s'est révélée plus efficace pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de femmes enceintes qu'une approche proposant uniquement les recommandations génériques. Par ailleurs, quelle que soit l'approche de conseils employée, il apparaît, selon l'étude qualitative menée dans un sous-échantillon des participantes à l'ERC, que proposer du conseil alimentaire pendant la grossesse, par l'intermédiaire d'un professionnel de santé référent, permet de résoudre la cacophonie informationnelle précédemment identifiée.

3. Perspectives

Plusieurs pistes sont envisageables pour la poursuite de ce travail de thèse.

Tout d'abord, nous pourrions envisager d'améliorer notre approche pour proposer des conseils alimentaires personnalisés selon les retours qui ont été faits par les participantes à l'ERC.

Les quelques points suivants présentent des exemples d'améliorations potentielles :

- *Mise en place d'une contrainte sur des aliments du régime ne pouvant pas être modifiés :*
Certaines participantes ont identifié des aliments visés par les conseils comme consommés exceptionnellement, trop appréciés pour être substitués ou diminués, ou trop consommés pour être augmentés. Une nouvelle variable pourrait être introduite pour que les femmes puissent identifier certains aliments consommés pour lesquels elles refusent d'avoir des conseils.
- *Proposition de recettes simples et rapides pour accompagner certains conseils :*
Certaines participantes ont rapporté avoir cherché des recettes pour cuisiner les aliments qui étaient conseillés. Ainsi, donner l'opportunité aux femmes enceintes d'accéder à des recettes simples et faciles à réaliser incluant l'aliment conseillé par une substitution pourrait faciliter la mise en place effective du conseil.
- *Inclusion de rappels non-culpabilisants concernant les restrictions alimentaires pendant la grossesse:*
Lorsqu'un aliment dont la consommation n'est pas recommandée ou est à limiter durant la grossesse apparaît dans le recueil alimentaire, un court rappel libellé de manière non-culpabilisante et positive pourrait être fait lors de la première session de conseils et apparaître dans le premier courrier électronique récapitulatif. Lors des groupes de discussion, il avait été suggéré que l'immunisation contre la toxoplasmose puisse être renseignée par les femmes enceintes, ainsi les rappels pourraient être adaptés en fonction de ce paramètre.

- *Possibilité d'augmenter le nombre de jours de recueil alimentaire :*

Nous avons pu constater durant l'ERC qu'il était difficile d'évaluer les consommations alimentaires usuelles pendant la grossesse, car les femmes enceintes sont sujettes à de nombreux troubles digestifs et à des moments de fatigue qui affectent leurs consommations alimentaires de manière variable selon la période de grossesse. Certaines patientes ont également souligné que le recueil alimentaire de trois jours seulement pouvait parfois identifier des consommations qualifiées d'inhabituelles. C'est pourquoi, afin d'évaluer au mieux leurs consommations alimentaires usuelles, il pourrait être proposé que le nombre minimum de jours de recueil alimentaire soit fixé à trois (deux jours de semaine et un de week-end), mais qu'il puisse être augmenté en fonction de la disposition de la patiente.

- *Mise en place de conseils alimentaires impliquant des modifications plus profondes de l'alimentation d'une femme lorsque celle-ci est motivée pour le faire :*

Un questionnaire basé sur une théorie de changement de comportement pourrait être proposé aux femmes enceintes. Si une forte motivation à des modifications alimentaires est identifiée, certains types de conseils issus du type n°3 pourraient être proposés (remplacement de la viande par du poisson, d'aliments riches en sucres par des fruits ou des yaourts...). Ainsi, cela pourrait permettre d'améliorer d'autant plus la qualité nutritionnelle de l'alimentation de femmes enceintes étant disposées à effectuer des changements conséquents.

Les deux derniers points mentionnés (nombre de jours de recueil et inclusion de paramètres issus de théories de changement de comportement) pourraient également faire l'objet de questions de recherche scientifique qui viseraient respectivement à déterminer le nombre de jours de recueil optimal pour évaluer au mieux les consommations alimentaires usuelles pendant la grossesse et à identifier la théorie de changement de comportement la plus adaptée pour la caractérisation de la motivation d'une femme enceinte à effectuer des modifications alimentaires pendant sa grossesse.

Par ailleurs, l'intervention d'une personne crédible comme point de référence pour proposer des conseils alimentaires pendant la grossesse apparaît comme un levier à leur mise en place par les femmes enceintes. Cependant, si nous souhaitions réellement que cette approche de conseils alimentaires personnalisés soit utilisable par les professionnels de santé en charge du suivi de grossesse, il conviendrait d'effectuer une recherche exploratoire pour évaluer leur adhésion potentielle à l'approche. La mise en place d'entretiens semi-directifs auprès de professionnels de santé en charge du suivi de grossesse pourrait permettre d'identifier s'il existe un besoin de proposer des conseils alimentaires à leurs patientes, et si oui, de le caractériser. Ces entretiens pourraient également servir de base au développement de questionnaires à diffuser plus largement. Ainsi, l'approche pourrait être adaptée pour correspondre au mieux à leurs attentes et à leur pratique quotidienne.

Enfin, cette méthode de conseils alimentaires pourrait être utilisée dans des sous-catégories de la population de femmes enceintes. Par exemple, cette approche pourrait être proposée à des femmes obèses en paramétrant les conseils pour limiter leur apport énergétique. Dans cette population, au-delà de l'effet sur la qualité nutritionnelle de l'alimentation, le critère d'évaluation principal pourrait être la prise de poids de la mère.

Il pourrait également être proposé d'adapter la méthode à des femmes en situation de grande précarité sociale, identifiées comme étant à risques majeurs pour des apports nutritionnels inadéquats et des issues de grossesse défavorables (Haggarty *et al.*, 2009). Un partenariat avec l'équipe de recherche en épidémiologie obstétricale périnatale et pédiatrique (U1153 Epopé, INSERM/ Université Paris-Descartes) a été créé dans cet objectif. Une étude est en cours de réalisation à la maternité de l'hôpital Bichat afin de recueillir les données de consommations de 60 femmes enceintes en situation de grande précarité sociale et d'appliquer notre méthode à chaque régime pour identifier les conseils alimentaires personnalisés les plus proposés et en dériver des conseils génériques pouvant être proposés lors d'ateliers cuisine.

Pour conclure, dans le cadre de ces travaux de thèse, il a été possible de valider une méthode de conseils alimentaires personnalisés, générés pas-à-pas par un algorithme pour améliorer l'adéquation nutritionnelle d'un échantillon de femmes enceintes non-représentatif de la population. Ainsi, de nombreuses études ayant pour objectif de répondre aux questions de recherche présentées ci-dessus, devront être menées pour valider l'efficacité de cette approche personnalisée pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse.

Annexe

Définition des différentes références nutritionnelles

Cette annexe reprend les définitions proposées par le Comité d'experts spécialisé « Nutrition Humaine » de l'ANSES dans le rapport d'expertise collective « Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles » (ANSES, 2017a).

Le tableau suivant présente les équivalences entre les terminologies pour les références nutritionnelles selon les différents pays.

Tableau annexe 1. Terminologie des références nutritionnelles selon les différents pays (ANSES, 2017a)

	Références nutritionnelles					
France (Anses, 2017)	Référence nutritionnelle pour la population (RNP)	Besoin nutritionnel moyen (BNM)	-	Apport satisfaisant	Intervalle de référence (IR)	Limite supérieure de sécurité (LSS)
France (Afssa 2001)	Apport nutritionnel conseillé (ANC)	Besoin nutritionnel moyen (BNM)	-	Apport nutritionnel conseillé (ANC)	Apport nutritionnel conseillé (ANC)	Limite de sécurité
Europe (EFSA 2010)	Population Reference Intake (PRI)	Average requirement (AR)	Lower threshold intake (LTI)	Adequate intake (AI)	Reference intake range (RI)	Tolerable upper intake level (UL)
Etats-Unis (IOM 2000)	Recommended Dietary Allowance (RDA)	Estimated average requirement (EAR)	-	Adequate Intake (AI)	Acceptable macronutrient distribution ranges (AMDR)	Tolerable upper intake level (UL)
Pays nordiques (NCM 2004)	Recommended Intakes (RI)	Average Requirement (AR)	Lower limit of intake (LI)	-	-	Upper intake level (UL)
OMS (WHO/FAO 2003)	Recommended nutrient intake (RNI)	Estimated average requirement (EAR)	-	Recommended Safe intake	-	Upper tolerable nutrient intake level (UL)
Australie / Nouvelle-Zélande (NHMRC-MoH 2006)	Recommended Dietary intake (RDI)	Estimated average requirement (EAR)	-	Adequate Intake (AI)	Acceptable macronutrient distribution ranges (AMDR)	Upper intake level (UL)

La section suivante présente les définitions des différentes références nutritionnelles.

Besoin nutritionnel moyen (BNM) : besoin moyen au sein de la population, tel qu'estimé à partir de données individuelles d'apport en relation avec un critère d'adéquation nutritionnelle lors d'études expérimentales.

Apports nutritionnels conseillés (ANC) :

L'ANC tel que défini par l'AFSSA en 2001 regroupe les trois références nutritionnelles suivantes : la Référence Nutritionnelle de Population (RNP), l'Apport Satisfaisant (AS) et l'Intervalle de Référence (IR). Étant donné que les travaux cités et effectués lors de cette thèse sont antérieurs au rapport de l'ANSES, c'est la référence nutritionnelle ANC qui est utilisée.

Référence nutritionnelle pour la population (RNP) : apport qui couvre le besoin de presque toute la population considérée, tel qu'estimé à partir des données expérimentales.

La RNP est calculée à partir de l'estimation des paramètres de la distribution du besoin. Le plus souvent 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. L'écart-type étant le plus souvent estimé à 15 % du BNM, et la RNP vaut alors 1,3 fois le BNM.

Apport satisfaisant (AS) : apport moyen d'une population ou d'un sous-groupe pour lequel le statut nutritionnel est jugé satisfaisant.

L'AS est la référence nutritionnelle retenue :

- quand le BNM et donc la RNP ne peuvent pas être estimés faute de données suffisantes ; l'AS correspond alors à la définition de l'« *adequate intake (AI)* » ;
- ou quand la valeur de RNP peut être estimée mais n'est pas jugée satisfaisante au regard d'observations de population à long terme établissant que cette RNP ne permet pas de satisfaire des critères de santé qui seraient plus pertinents que les critères utilisés pour estimer le BNM. Ainsi, contrairement à l'AI, l'AS n'est pas seulement envisagé comme substitut de la RNP dans le cas où on ne pourrait pas le calculer. Cette définition tient compte aussi du fait qu'on dispose de plus en plus de données concernant les relations entre l'apport et la modulation du risque de pathologie à long terme.

Intervalle de référence (IR) : intervalle d'apports considérés comme satisfaisants pour le maintien de la population en bonne santé. Il s'agit d'une référence nutritionnelle spécifique aux macronutriments énergétiques, exprimée en pourcentage de l'apport énergétique total.

Limite supérieure de sécurité (LSS) : 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.

Références

- Abu-Saad, K. et Fraser, D. (2010). Maternal nutrition and birth outcomes. *Epidemiologic Reviews*, 32 : 5–25.
- Achkar, M., Dodds, L., Giguère, Y., Forest, J.-C., Armson, B. A., Woolcott, C., Agellon, S., Spencer, A. et Weiler, H. A. (2015). Vitamin D status in early pregnancy and risk of preeclampsia. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 212 : 511.e1-7.
- Ackermans, M. M., Zhou, H., Carels, C. E., Wagener, F. A. et von den Hoff, J. W. (2011). Vitamin A and clefting: putative biological mechanisms. *Nutrition Reviews*, 69 : 613–624.
- AFSSA (2007). *Apport en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations*. Maisons-Alfort : AFSSA. 461p.
- AFSSA (2001). *Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 3e éd.* AFSSA : Editions Lavoisier (3^e Edition). Paris : Lavoisier. 650p.
- Aguayo, A., Grau, G., Vela, A., Aniel-Quiroga, A., Espada, M., Martul, P., Castaño, L. et Rica, I. (2013). Urinary iodine and thyroid function in a population of healthy pregnant women in the North of Spain. *Journal of trace elements in medicine and biology: organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)*, 27 : 302–306.
- Ajzen, I. (1985). From Intentions to Actions: A Theory of Planned Behavior. In: P.D.J. Kuhl & D.J. Beckmann (eds) *Action Control*. Berlin : Springer Berlin Heidelberg. pp.11–39.
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50 : 179–211.
- Alwan, N. A., Cade, J. E., McArdle, H. J., Greenwood, D. C., Hayes, H. E. et Simpson, N. A. B. (2015). Maternal iron status in early pregnancy and birth outcomes: insights from the Baby's Vascular health and Iron in Pregnancy study. *British Journal of Nutrition*, 113 : 1985–1992.
- Anderson, C. K., Walch, T. J., Lindberg, S. M., Smith, A. M., Lindheim, S. R. et Whigham, L. D. (2015). Excess Gestational Weight Gain in Low-Income Overweight and Obese Women: A Qualitative Study. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 47 : 404–411.e1.
- Andrieu, E., Darmon, N. et Drewnowski, A. (2005). Low-cost diets: more energy, fewer nutrients. *European Journal of Clinical Nutrition*, 60 : 434–436.
- ANSES (2011). *Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras*. Maisons-Alfort : Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail. 323p.
- ANSES (2013). *Avis 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 nutritionnels du PNNS*. Maisons-Alfort : Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail. 7p.
- ANSES (2014). *Données de consommations et habitudes alimentaires de l'étude INCA 2* (en ligne). <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-de-consommations-et-habitudes-alimentaires-de-letude-inca-2-3/>. Consulté le 18 mai 2017.
- ANSES (2017a). *Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles*. Maisons-Alfort : Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail. 196p.
- ANSES (2017b). *Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires*. Maisons-Alfort : Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail. 280p.

- Asbee, S. M., Jenkins, T. R., Butler, J. R., White, J., Elliot, M. et Rutledge, A. (2009). Preventing excessive weight gain during pregnancy through dietary and lifestyle counseling: a randomized controlled trial. *Obstetrics and Gynecology*, 113 : 305–312.
- Atkinson, L., Shaw, R. L. et French, D. P. (2016). Is pregnancy a teachable moment for diet and physical activity behaviour change? An interpretative phenomenological analysis of the experiences of women during their first pregnancy. *British Journal of Health Psychology*, 21 : 842–858.
- Bailey, L. B., Stover, P. J., McNulty, H., Fenech, M. F., Gregory, J. F., Mills, J. L., Pfeiffer, C. M., Fazili, Z., Zhang, M., Ueland, P. M., Molloy, A. M., Caudill, M. A., Shane, B., Berry, R. J., Bailey, R. L., Hausman, D. B., Raghavan, R. et Raiten, D. J. (2015). Biomarkers of Nutrition for Development-Folate Review. *The Journal of Nutrition*, 145 : 1636S–80S.
- Barker, D. J. . (1992). *Fetal & Infant Origins of Adult Diseases*. London : British Medical Journal Publishing Group. 343p.
- Barker, D. J. P. (2003). The developmental origins of adult disease. *European Journal of Epidemiology*, 18 : 733–736.
- Barré, T., Vieux, F., Perignon, M., Cravedi, J.-P., Amiot, M.-J., Micard, V. et Darmon, N. (2016). Reaching Nutritional Adequacy Does Not Necessarily Increase Exposure to Food Contaminants: Evidence from a Whole-Diet Modeling Approach. *The Journal of Nutrition*, 146 : 2149–2157.
- Barrett, J. F., Whittaker, P. G., Williams, J. G. et Lind, T. (1994). Absorption of non-haem iron from food during normal pregnancy. *BMJ : British Medical Journal*, 309 : 79–82.
- Bath, S. C., Steer, C. D., Golding, J., Emmett, P. et Rayman, M. P. (2013). Effect of inadequate iodine status in UK pregnant women on cognitive outcomes in their children: results from the Avon Longitudinal Study of Parents and Children (ALSPAC). *Lancet*, 382 : 331–337.
- Bernard, J. Y., Agostini, M. D., Forhan, A., Lauzon-Guillain, B. de, Charles, M.-A., Heude, B. et the EDEN Mother-Child Cohort Study Group. (2013). The Dietary n6:n3 Fatty Acid Ratio during Pregnancy Is Inversely Associated with Child Neurodevelopment in the EDEN Mother-Child Cohort. *The Journal of Nutrition*, 143 : 1481–1488.
- Bibbins-Domingo, K., Grossman, D. C., Curry, S. J., Davidson, K. W., Epling, J. W., García, F. A. R., Kemper, A. R., Krist, A. H., Kurth, A. E., Landefeld, C. S., Mangione, C. M., Phillips, W. R., Phipps, M. G., Pignone, M. P., Silverstein, M. et Tseng, C.-W. (2017). Folic Acid Supplementation for the Prevention of Neural Tube Defects: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement. *JAMA*, 317 : 183–189.
- Birthcohorts.net (2017). *Recherche des cohortes mère-enfant en Europe ayant collecté des données sur le régime alimentaire de la mère* (en ligne). <http://www.birthcohorts.net/birthcohorts/search/>. Consulté le 30 mars 2017.
- Blumfield, M. L., Hure, A. J., Macdonald-Wicks, L., Smith, R. et Collins, C. E. (2013). A systematic review and meta-analysis of micronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutrition Reviews*, 71 : 118–132.
- Blumfield, M. L., Hure, A. J., Macdonald-Wicks, L., Smith, R. et Collins, C. E. (2012). Systematic review and meta-analysis of energy and macronutrient intakes during pregnancy in developed countries. *Nutrition Reviews*, 70 : 322–336.
- Bodnar, L. M. et Siega-Riz, A. M. (2002). A Diet Quality Index for Pregnancy detects variation in diet and differences by sociodemographic factors. *Public Health Nutrition*, 5 : 801–809.

- Bodnar, L. M., Simhan, H. N., Catov, J. M., Roberts, J. M., Platt, R. W., Diesel, J. C. et Klebanoff, M. A. (2014). Maternal vitamin D status and the risk of mild and severe preeclampsia. *Epidemiology*, 25 : 207–214.
- Bonomo, M., Corica, D., Mion, E., Gonçalves, D., Motta, G., Merati, R., Ragusa, A. et Morabito, A. (2005). Evaluating the therapeutic approach in pregnancies complicated by borderline glucose intolerance: a randomized clinical trial. *Diabetic Medicine*, 22 : 1536–1541.
- Borgen, I., Aamodt, G., Harsem, N., Haugen, M., Meltzer, H. M. et Brantsæter, A. L. (2012). Maternal sugar consumption and risk of preeclampsia in nulliparous Norwegian women. *European Journal of Clinical Nutrition*, 66 : 920–925.
- Bresson, J. et Rey, J. (2001). Femmes enceintes et allaitantes. In : *Apports nutritionnels conseillés pour la population française, 3e éd. AFSSA : Editions Lavoisier* (3^e Edition). Paris : Lavoisier. pp.293–306.
- Briley, C., Flanagan, N. L. et Lewis, N. (2002). In-home prenatal nutrition intervention increased dietary iron intakes and reduced low birthweight in low-income African-American women. *Journal of the American Dietetic Association*, 102 : 984–987.
- Broekhuizen, K., Kroeze, W., van Poppel, M. N. M., Oenema, A. et Brug, J. (2012). A systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of computer-tailored physical activity and dietary behavior promotion programs: an update. *Annals of Behavioral Medicine : A Publication of the Society of Behavioral Medicine*, 44: 259–286.
- Brown, A. et Avery, A. (2012). Healthy weight management during pregnancy: what advice and information is being provided. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 25 : 378–387.
- Brug, J., Campbell, M. et van Assema, P. (1999). The application and impact of computer-generated personalized nutrition education: a review of the literature. *Patient Education and Counseling*, 36 : 145–156.
- Brug, J., Oenema, A. et Campbell, M. (2003). Past, present, and future of computer-tailored nutrition education. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77 : 1028S–1034S.
- Bucher, T., Collins, C., Rollo, M. E., McCaffrey, T. A., De Vlieger, N., Van der Bend, D., Truby, H. et Perez-Cueto, F. J. A. (2016). Nudging consumers towards healthier choices: a systematic review of positional influences on food choice. *The British Journal of Nutrition*, 115 : 2252–2263.
- Burke, B. S., Beal, V. A., Kirkwood, S. B. et Stuart, H. C. (1943). Nutrition Studies during Pregnancy. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 46 : 38–52.
- Burke, B. S., Harding, V. V. et Stuart, H. C. (1943). Nutrition studies during pregnancy. *The Journal of Pediatrics*, 23 : 506–515.
- Butte, N. F., Ellis, K. J., Wong, W. W., Hopkinson, J. M. et Smith, E. O. (2003). Composition of gestational weight gain impacts maternal fat retention and infant birth weight. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 189 : 1423–1432.
- Butte, N. F. et King, J. C. (2005). Energy requirements during pregnancy and lactation. *Public Health Nutrition*, 8 : 1010–1027.
- Buul, B. J. A. van, Steegers, E. A. P., Maten, G. D. van der, Delemarre, F. M. C., Jongsma, H. W., Oosterbaan, H. P. et de Jong, P. A. (1997). Dietary Sodium Restriction Does not Prevent Gestational Hypertension: A Dutch Two-Center Randomized Trial. *Hypertension in Pregnancy*, 16 : 335–346.
- Caldwell, K. L., Pan, Y., Mortensen, M. E., Makhmudov, A., Merrill, L. et Moye, J. (2013). Iodine status in pregnant women in the National Children’s Study and in U.S. women (15-44 years), National Health and Nutrition Examination Survey 2005-2010. *Thyroid*, 23 : 927–937.

- Campbell, F., Johnson, M., Messina, J., Guillaume, L. et Goyder, E. (2011). Behavioural interventions for weight management in pregnancy: a systematic review of quantitative and qualitative data. *BMC public health*, 11 : 491.
- Carmichael, S. L., Shaw, G. M., Selvin, S. et Schaffer, D. M. (2003). Diet quality and risk of neural tube defects. *Medical Hypotheses*, 60 : 351–355.
- Caron, P. (2015). Neurocognitive outcomes of children secondary to mild iodine deficiency in pregnant women. *Annales d'Endocrinologie*, 76 : 248–252.
- Caron, P., Glinoeur, D., Lecomte, P., Orgiazzi, J. et Wémeau, J.-L. (2006). Apport iodé en France: prévention de la carence iodée au cours de la grossesse et l'allaitement. *Annales d'Endocrinologie*, 67 : 281–286.
- Castetbon, K., Vernay, M., Malon, A., Salanave, B., Deschamps, V., Roudier, C., Oleko, A., Szego, E. et Hercberg, S. (2009). Dietary intake, physical activity and nutritional status in adults: the French nutrition and health survey (ENNS, 2006-2007). *The British Journal of Nutrition*, 102 : 733–743.
- Caudill, M. A., Cruz, A. C., Gregory, J. F., Hutson, A. D. et Bailey, L. B. (1997). Folate Status Response to Controlled Folate Intake in Pregnant Women. *The Journal of Nutrition*, 127 : 2363–2370.
- Celis-Morales, C., Lara, J. et Mathers, J. C. (2015). Personalising nutritional guidance for more effective behaviour change. *Proceedings of the Nutrition Society*, 74 : 130–138.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2008). Trends in wheat-flour fortification with folic acid and iron--worldwide, 2004 and 2007. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, 57 : 8–10.
- Chang, M.-W., Nitzke, S., Guilford, E., Adair, C. H. et Hazard, D. L. (2008). Motivators and barriers to healthful eating and physical activity among low-income overweight and obese mothers. *Journal of the American Dietetic Association*, 108 : 1023–1028.
- Charles, M.-A. et Junien, C. (2012). Les origines développementales de la santé (DOHaD) et l'épigénétique - Une révolution pour la prévention des maladies chroniques de l'adulte. *Questions de Santé Publique*, 18 : 1–4.
- Chasan-Taber, L., Marcus, B. H., Rosal, M. C., Tucker, K. L., Hartman, S. J., Pekow, P., Stanek, E., Braun, B., Solomon, C. G., Manson, J. E., Goff, S. L. et Markenson, G. (2015). Proyecto Mamá: a lifestyle intervention in overweight and obese Hispanic women: a randomised controlled trial – study protocol. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 15 : 157.
- Chen, L.-W., Lim, A. L., Colega, M., Tint, M.-T., Aris, I. M., Tan, C. S., Chong, Y.-S., Gluckman, P. D., Godfrey, K. M., Kwek, K., Saw, S.-M., Yap, F., Lee, Y. S., Chong, M. F.-F. et van Dam, R. M. (2015). Maternal folate status, but not that of vitamins B-12 or B-6, is associated with gestational age and preterm birth risk in a multiethnic asian population. *The Journal of Nutrition*, 145 : 113–120.
- Christian, P. et Stewart, C. P. (2010). Maternal Micronutrient Deficiency, Fetal Development, and the Risk of Chronic Disease. *Journal of Nutrition*, 140 : 437–445.
- Copelton, D. A. (2007). 'You are What You Eat': Nutritional Norms, Maternal Deviance, and Neutralization of Women's Prenatal Diets. *Deviant Behavior*, 28 : 467–494.
- Corbin, J. et Strauss, A. (2015). *Basics of qualitative research* (4th Edition). Thousand Oaks, California : SAGE Publications Inc. 456p.
- Dainty, J. R., Berry, R., Lynch, S. R., Harvey, L. J. et Fairweather-Tait, S. J. (2014). Estimation of Dietary Iron Bioavailability from Food Iron Intake and Iron Status. *PLoS ONE*, 9 : e111824.

- Darmon, N. et Moy, F. (2009). Un outil à découvrir en nutrition humaine : la programmation linéaire. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 43 : 303–312.
- Deci, E. L. et Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. Boston, Massachusetts : Springer US. 371p.
- Denomme, J., Stark, K. D. et Holub, B. J. (2005). Directly quantitated dietary (n-3) fatty acid intakes of pregnant Canadian women are lower than current dietary recommendations. *The Journal of Nutrition*, 135 : 206–211.
- De-Regil, L. M., Harding, K. B. et Roche, M. L. (2016). Preconceptional Nutrition Interventions for Adolescent Girls and Adult Women: Global Guidelines and Gaps in Evidence and Policy with Emphasis on Micronutrients. *The Journal of Nutrition* : jn223487.
- Devine, C. M., Bove, C. F. et Olson, C. M. (2000). Continuity and change in women’s weight orientations and lifestyle practices through pregnancy and the postpartum period: the influence of life course trajectories and transitional events. *Social Science & Medicine*, 50 : 567–582.
- Di Carlo, C., Iannotti, G., Sparice, S., Chiacchio, M. P., Greco, E., Tommaselli, G. A. et Nappi, C. (2014). The role of a personalized dietary intervention in managing gestational weight gain: a prospective, controlled study in a low-risk antenatal population. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 289 : 765–770.
- Dodd, J. M., Cramp, C., Sui, Z., Yelland, L. N., Deussen, A. R., Grivell, R. M., Moran, L. J., Crowther, C. A., Turnbull, D., McPhee, A. J., Wittert, G., Owens, J. A., Robinson, J. S. et LIMIT Randomised Trial Group (2014). The effects of antenatal dietary and lifestyle advice for women who are overweight or obese on maternal diet and physical activity: the LIMIT randomised trial. *BMC medicine*, 12 : 161.
- Dodd, J. M., Deussen, A. R., Mohamad, I., Rifas-Shiman, S. L., Yelland, L. N., Louise, J., McPhee, A. J., Grivell, R. M., Owens, J. A., Gillman, M. W. et Robinson, J. S. (2016). The effect of antenatal lifestyle advice for women who are overweight or obese on secondary measures of neonatal body composition: the LIMIT randomised trial. *BJOG: an international journal of obstetrics and gynaecology*, 123 : 244–253.
- Drouillet, P., Forhan, A., De Lauzon-Guillain, B., Thiébauges, O., Goua, V., Magnin, G., Schweitzer, M., Kaminski, M., Ducimetière, P. et Charles, M.-A. (2009). Maternal fatty acid intake and fetal growth: evidence for an association in overweight women. The ‘EDEN mother-child’ cohort (study of pre- and early postnatal determinants of the child’s development and health). *The British Journal of Nutrition*, 101 : 583–591.
- Dubuisson, C., Lioret, S., Touvier, M., Dufour, A., Calamassi-Tran, G., Volatier, J.-L. et Lafay, L. (2010). Trends in food and nutritional intakes of French adults from 1999 to 2007: results from the INCA surveys. *The British Journal of Nutrition*, 103 : 1035–1048.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) (2015a). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for calcium. *EFSA Journal*, 13 : 4101.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) (2013). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for energy. *EFSA Journal*, 11 : 3005.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) (2014a). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for folate. *EFSA Journal*, 12 : 3893.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) (2014b). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for iodine. *EFSA Journal*, 12 : 3660.

- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) (2015b). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for iron. *EFSA Journal*, 13 : 4254.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) (2012). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for protein. *EFSA Journal*, 10 : 2557.
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) (2010). Scientific Opinion on establishing Food-Based Dietary Guidelines. *EFSA Journal*, 8 : 1460.
- van Eijsden, M., Hornstra, G., van der Wal, M. F., Vrijkotte, T. G. et Bonsel, G. J. (2008). Maternal n-3, n-6, and trans fatty acid profile early in pregnancy and term birth weight: a prospective cohort study. *The American journal of clinical nutrition*, 87 : 887–895.
- Elder, G. H. (1975). Age Differentiation and the Life Course. *Annual Review of Sociology*, 1 : 165–190.
- Elder, G. H. et Rockwell, R. C. (1979). The Life-Course and Human Development: An Ecological Perspective. *International Journal of Behavioral Development*, 2: 1–21.
- Escalon, H., Bossard, C. et Beck, F. dir. (2009). *Baromètre santé nutrition 2008*. Saint Denis : Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé. 424p.
- Estaquio, C., Kesse-Guyot, E., Deschamps, V., Bertrais, S., Dauchet, L., Galan, P., Hercberg, S. et Castetbon, K. (2009). Adherence to the French Programme National Nutrition Santé Guideline Score is associated with better nutrient intake and nutritional status. *Journal of the American Dietetic Association*, 109 : 1031–1041.
- Faas, M. M., Melgert, B. N. et de Vos, P. (2010). A Brief Review on How Pregnancy and Sex Hormones Interfere with Taste and Food Intake. *Chemosensory Perception*, 3 : 51–56.
- Fade, S. A. et Swift, J. A. (2011). Qualitative research in nutrition and dietetics: data analysis issues. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 24 : 106–114.
- FAO/WHO/UNU (1985). *Energy and protein requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation*. Geneva : World Health Organization.
- FAO/WHO/UNU (2004). *Human Energy Requirements : Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation: Rome, 17-24 October 2001*. Rome : Food and Agriculture Organization. 96p.
- Ferrara, A. (2007). Increasing Prevalence of Gestational Diabetes Mellitus. *Diabetes Care*, 30 : S141–S146.
- Ferrari, R. M., Siega-Riz, A. M., Evenson, K. R., Moos, M.-K. et Carrier, K. S. (2013). A qualitative study of women's perceptions of provider advice about diet and physical activity during pregnancy. *Patient Education and Counseling*, 91 : 372–377.
- Fisher, D. A. et Oddie, T. H. (1969). Thyroidal Radioiodine Clearance and Thyroid Iodine Accumulation: Contrast Between Random Daily Variation and Population Data. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 29 : 111–115.
- Flynn, A. C., Schneeberger, C., Seed, P. T., Barr, S., Poston, L. et Goff, L. M. (2015). The Effects of the UK Pregnancies Better Eating and Activity Trial Intervention on Dietary Patterns in Obese Pregnant Women Participating in a Pilot Randomized Controlled Trial. *Nutrition and Metabolic Insights*, 8: 79–86.
- Food and Nutrition Board : Institute of Medicine (2006). *Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements*. Washington : National Academies Press. 1330p.
- Forsum, E. et Löf, M. (2007). Energy metabolism during human pregnancy. *Annual Review of Nutrition*, 27 : 277–292.

- Fransen, H. P. et Ocké, M. C. (2008). Indices of diet quality. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 11 : 559–565.
- Furness, D., Fenech, M., Dekker, G., Khong, T. Y., Roberts, C. et Hague, W. (2013). Folate, vitamin B12, vitamin B6 and homocysteine: impact on pregnancy outcome. *Maternal & Child Nutrition*, 9 : 155–166.
- Gardner, B., Croker, H., Barr, S., Briley, A., Poston, L., Wardle, J. et UPBEAT Trial (2012). Psychological predictors of dietary intentions in pregnancy. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 25 : 345–353.
- Gardner, B., Sheals, K., Wardle, J. et McGowan, L. (2014). Putting habit into practice, and practice into habit: a process evaluation and exploration of the acceptability of a habit-based dietary behaviour change intervention. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11 : 135.
- de Gavelle, E., de Lauzon-Guillain, B., Charles, M.-A., Chevrier, C., Hulin, M., Sirot, V., Merlo, M. et Nougadère, A. (2016). Chronic dietary exposure to pesticide residues and associated risk in the French ELFE cohort of pregnant women. *Environment International*, 92–93 : 533–542.
- Gellert, S., Schuchardt, J. P. et Hahn, A. (2016). Higher omega-3 index and DHA status in pregnant women compared to lactating women - Results from a German nation-wide cross-sectional study. *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids*, 109 : 22–28.
- Gernand, A. D., Schulze, K. J., Stewart, C. P., West, K. P. et Christian, P. (2016). Micronutrient deficiencies in pregnancy worldwide: health effects and prevention. *Nature Reviews. Endocrinology*, 12 : 274–289.
- Gesteiro, E., Rodríguez Bernal, B., Bastida, S. et Sánchez-Muniz, F. J. (2012). Maternal diets with low healthy eating index or Mediterranean diet adherence scores are associated with high cord-blood insulin levels and insulin resistance markers at birth. *European Journal of Clinical Nutrition*, 66 : 1008–1015.
- Glianoer, D. (2007). The importance of iodine nutrition during pregnancy. *Public Health Nutrition*, 10 : 1542–1546.
- Gojard, S. (2010). *Le métier de mère*. Paris : La Dispute. 221p.
- Goletzke, J., Buyken, A. E., Louie, J. C. Y., Moses, R. G. et Brand-Miller, J. C. (2015). Dietary micronutrient intake during pregnancy is a function of carbohydrate quality. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 102 : 626–632.
- Goodrich, K., Cregger, M., Wilcox, S. et Liu, J. (2013). A qualitative study of factors affecting pregnancy weight gain in African American women. *Maternal and Child Health Journal*, 17 : 432–440.
- Graham, M., Uesugi, K., Niederdeppe, J., Gay, G. K. et Olson, C. M. (2014). The Theory, Development, and Implementation of an e-Intervention to Prevent Excessive Gestational Weight Gain: e-Moms Roc. *Telemedicine Journal and e-Health*, 20 : 1135–1142.
- Graham, M., Uesugi, K. et Olson, C. (2014). Barriers to weight-related health behaviours: a qualitative comparison of the socioecological conditions between pregnant and post-partum low-income women. *Maternal & Child Nutrition*, 12 : 349–361.
- Green, J. et Thorogood, N. (2013). *Qualitative Methods for Health Research*. Thousand Oaks, California : SAGE Publications Ltd. 361p.
- Gresham, E., Bisquera, A., Byles, J. E. et Hure, A. J. (2014). Effects of dietary interventions on pregnancy outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Maternal & Child Nutrition*, 12 : 5–23.

- Gresham, E., Byles, J. E., Bisquera, A. et Hure, A. J. (2014). Effects of dietary interventions on neonatal and infant outcomes: a systematic review and meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 100 : 1298–1321.
- Gresham, E., Collins, C. E., Mishra, G. D., Byles, J. E. et Hure, A. J. (2016). Diet quality before or during pregnancy and the relationship with pregnancy and birth outcomes: the Australian Longitudinal Study on Women's Health. *Public Health Nutrition*, 19 : 2975–2983.
- Grivell, R. M., Yelland, L. N., Deussen, A., Crowther, C. A. et Dodd, J. M. (2016). Antenatal dietary and lifestyle advice for women who are overweight or obese and the effect on fetal growth and adiposity: the LIMIT randomised trial. *BJOG: an international journal of obstetrics and gynaecology*, 123 : 233–243.
- Groth, S. W. et Morrison-Beedy, D. (2013). Low-income, pregnant, African American women's views on physical activity and diet. *Journal of Midwifery & Women's Health*, 58 : 195–202.
- Guldner, L., Monfort, C., Rouget, F., Garlantezec, R. et Cordier, S. (2007). Maternal fish and shellfish intake and pregnancy outcomes: A prospective cohort study in Brittany, France. *Environmental Health*, 6 : 33.
- Gutierrez-Mazariegos, J., Theodosiou, M., Campo-Paysaa, F. et Schubert, M. (2011). Vitamin A: a multifunctional tool for development. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 22 : 603–610.
- Hacker, A. N., Fung, E. B. et King, J. C. (2012). Role of calcium during pregnancy: maternal and fetal needs. *Nutrition Reviews*, 70 : 397–409.
- Haggarty, P., Campbell, D. M., Duthie, S., Andrews, K., Hoad, G., Piyathilake, C. et McNeill, G. (2009). Diet and deprivation in pregnancy. *The British Journal of Nutrition*, 102 : 1487–1497.
- Haines, P. S., Siega-Riz, A. M. et Popkin, B. M. (1999). The Diet Quality Index revised: a measurement instrument for populations. *Journal of the American Dietetic Association*, 99 : 697–704.
- Han, S., Middleton, P., Shepherd, E., Van Ryswyk, E. et Crowther, C. A. (2017). Different types of dietary advice for women with gestational diabetes mellitus. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2 : CD009275.
- Haugen, M., Brantsaeter, A. L., Trogstad, L., Alexander, J., Roth, C., Magnus, P. et Meltzer, H. M. (2009). Vitamin D supplementation and reduced risk of preeclampsia in nulliparous women. *Epidemiology*, 20 : 720–726.
- Hauer, H., Much, D., Vollhardt, C., Brunner, S., Schmid, D., Sedlmeier, E.-M., Heimberg, E., Schuster, T., Zimmermann, A., Schneider, K.-T. M., Bader, B. L. et Amann-Gassner, U. (2012). Effect of reducing the n-6:n-3 long-chain PUFA ratio during pregnancy and lactation on infant adipose tissue growth within the first year of life: an open-label randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 95 : 383–394.
- Haute Autorité de Santé (2005). *Comment mieux informer les femmes enceintes ? - Recommandations pour les professionnels de santé*. Saint-Denis : Haute Autorité de Santé. 134p.
- Haute Autorité de Santé (2013). *Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonnes pratiques - état des lieux*. Saint-Denis : Haute Autorité de Santé. 90p.
- Hawkins, M., Hosker, M., Marcus, B. H., Rosal, M. C., Braun, B., Stanek, E. J., Markenson, G. et Chasan-Taber, L. (2015). A pregnancy lifestyle intervention to prevent gestational diabetes risk factors in overweight Hispanic women: a feasibility randomized controlled trial. *Diabetic Medicine*, 32 : 108–115.

- Henderson, L., Gregory, J. et Swan, G. (2003). *The National Diet & Nutrition Survey: adults aged 19 to 64 years - Vitamin and mineral intake and urinary analytes*. London : The Stationery Office. 80p.
- Hercberg, S., Deheeger, M. et Prezio, P. (2002). *SU.VI.MAX Portions alimentaires manuel-photos pour l'estimation des quantités* (Polytechnica). Paris : Polytechnica. 132p.
- Hernandez, T. L., Anderson, M. A., Chartier-Logan, C., Friedman, J. E. et Barbour, L. A. (2013). Strategies in the Nutritional Management of Gestational Diabetes. *Clinical obstetrics and gynecology*, 56 : 803–815.
- Hill, B., Skouteris, H. et Fuller-Tyszkiewicz, M. (2013). Interventions designed to limit gestational weight gain: a systematic review of theory and meta-analysis of intervention components. *Obesity Reviews*, 14 : 435–450.
- Hillesund, E. R., Bere, E., Haugen, M. et Øverby, N. C. (2014). Development of a New Nordic Diet score and its association with gestational weight gain and fetal growth – a study performed in the Norwegian Mother and Child Cohort Study (MoBa). *Public Health Nutrition*, 17 : 1909–1918.
- Hromi-Fiedler, A., Chapman, D., Segura-Pérez, S., Damio, G., Clark, P., Martinez, J. et Pérez-Escamilla, R. (2016). Barriers and Facilitators to Improve Fruit and Vegetable Intake Among WIC-Eligible Pregnant Latinas: An Application of the Health Action Process Approach Framework. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 48 : 468–477.e1.
- Hui, A. L., Back, L., Ludwig, S., Gardiner, P., Sevenhuysen, G., Dean, H. J., Sellers, E., McGavock, J., Morris, M., Jiang, D. et Shen, G. X. (2014). Effects of lifestyle intervention on dietary intake, physical activity level, and gestational weight gain in pregnant women with different pre-pregnancy Body Mass Index in a randomized control trial. *BMC pregnancy and childbirth*, 14 : 331.
- Hyttén, F. et Chamberlain, G. (1990). *Clinical Physiology in Obstetrics* (2nd edition). Oxford : Blackwell Science Inc. 455p.
- INPES (2015). *Le guide nutrition de la grossesse*. Paris : Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé. 40p.
- INPES (2005). *Le guide nutrition de la naissance à trois ans*. Paris : Institut National de Prévention et d'Éducation pour la Santé. 40p.
- INSEE (2016). Les naissances en 2015. *INSEE Résultats* (en ligne). <https://insee.fr/fr/statistiques/2106619>. Consulté le 28 avril 2017.
- Institute of Medicine (1990). *Nutrition During Pregnancy: Part I: Weight Gain, Part II: Nutrient Supplements*. Washington D.C : The National Academies Press. 480p.
- Institute of Medicine et National Research Council (2009). *Weight Gain During Pregnancy: Reexamining the Guidelines*. Washington D.C : National Academies Press. 854p.
- Jackson, R. A., Stotland, N. E., Caughey, A. B. et Gerbert, B. (2011). Improving diet and exercise in pregnancy with Video Doctor counseling: a randomized trial. *Patient Education and Counseling*, 83 : 203–209.
- Johnson, M., Campbell, F., Messina, J., Preston, L., Buckley Woods, H. et Goyder, E. (2013). Weight management during pregnancy: a systematic review of qualitative evidence. *Midwifery*, 29 : 1287–1296.
- Kadawathagedara, M., Kersuzan, C., Wagner, S., Tichit, C., Gojard, S., Charles, M. A., Lioret, S. et de Lauzon-Guillain, B. (2017). Adéquation des consommations alimentaires des femmes enceintes de l'étude ELFE aux recommandations du Programme national nutrition santé. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 52 : 78–88.

- Kant, A. K. (2000). Consumption of energy-dense, nutrient-poor foods by adult Americans: nutritional and health implications. The third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72 : 929–936.
- Kant, A. K. (1996). Indexes of overall diet quality: a review. *Journal of the American Dietetic Association*, 96 : 785–791.
- Khoshnood, B., Loane, M., de Walle, H., Arriola, L., Addor, M.-C., Barisic, I., Beres, J., Bianchi, F., Dias, C., Draper, E., Garne, E., Gatt, M., Haeusler, M., Klungsoyr, K., Latos-Bielenska, A., Lynch, C., McDonnell, B., Nelen, V., Neville, A. J., O'Mahony, M. T., Queisser-Luft, A., Rankin, J., Rissmann, A., Ritvanen, A., Rounding, C., Sipek, A., Tucker, D., Verellen-Dumoulin, C., Wellesley, D. et Dolk, H. (2015). Long term trends in prevalence of neural tube defects in Europe: population based study. *BMJ*, 351 : h5949.
- Khoury, J., Henriksen, T., Christophersen, B. et Tonstad, S. (2005). Effect of a cholesterol-lowering diet on maternal, cord, and neonatal lipids, and pregnancy outcome: A randomized clinical trial. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 193 : 1292–1301.
- King, J. C. (2016). A Summary of Pathways or Mechanisms Linking Preconception Maternal Nutrition with Birth Outcomes. *The Journal of Nutrition* : S1:S8.
- King, J. C. (2000). Physiology of pregnancy and nutrient metabolism. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71 : 1218s–1225s.
- Kinnunen, T. I., Puhkala, J., Raitanen, J., Ahonen, S., Aittasalo, M., Virtanen, S. M. et Luoto, R. (2014). Effects of dietary counselling on food habits and dietary intake of Finnish pregnant women at increased risk for gestational diabetes - a secondary analysis of a cluster-randomized controlled trial. *Maternal & Child Nutrition*, 10 : 184–197.
- Koivusalo, S. B., Rönö, K., Klemetti, M. M., Roine, R. P., Lindström, J., Erkkola, M., Kaaja, R. J., Pöyhönen-Alho, M., Tiitinen, A., Huvinen, E., Andersson, S., Laivuori, H., Valkama, A., Meirilä, J., Kautiainen, H., Eriksson, J. G. et Stach-Lempinen, B. (2016). Gestational Diabetes Mellitus Can Be Prevented by Lifestyle Intervention: The Finnish Gestational Diabetes Prevention Study (RADIEL): A Randomized Controlled Trial. *Diabetes Care*, 39 : 24–30.
- Kominiarek, M. A., Gay, F. et Peacock, N. (2015). Obesity in Pregnancy: A Qualitative Approach to Inform an Intervention for Patients and Providers. *Maternal and Child Health Journal*. 19 : 1698–1712.
- Korpi-Hyövälti, E., Schwab, U., Laaksonen, D. E., Linjama, H., Heinonen, S. et Niskanen, L. (2012). Effect of intensive counselling on the quality of dietary fats in pregnant women at high risk of gestational diabetes mellitus. *The British Journal of Nutrition*, 108 : 910–917.
- Kovacs, C. S. (2016). Maternal Mineral and Bone Metabolism During Pregnancy, Lactation, and Post-Weaning Recovery. *Physiological Reviews*, 96 : 449–547.
- Krebs, P., Prochaska, J. O. et Rossi, J. S. (2010). Defining what works in tailoring: a meta-analysis of computer-tailored interventions for health behavior change. *Preventive medicine*, 51 : 214–221.
- Kroeze, W., Werkman, A. et Brug, J. (2006). A systematic review of randomized trials on the effectiveness of computer-tailored education on physical activity and dietary behaviors. *Annals of Behavioral Medicine*, 31 : 205–223.
- Krueger, R. A. et Casey, M. A. (2014). *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research - 5th Revised Edition* (5th Edition). Thousand Oaks, California : SAGE Publications Inc. 280p.
- Lairson, D. R., Newmark, G. R., Rakowski, W., Tiro, J. A. et Vernon, S. W. (2004). Development costs of a computer-generated tailored intervention. *Evaluation and Program Planning*, 27 : 161–169.

- Lara, J., Evans, E. H., O'Brien, N., Moynihan, P. J., Meyer, T. D., Adamson, A. J., Errington, L., Sniehotta, F. F., White, M. et Mathers, J. C. (2014). Association of behaviour change techniques with effectiveness of dietary interventions among adults of retirement age: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMC medicine*, 12 : 177.
- Lara, J., Turbett, E., Mckeivic, A., Rudgard, K., Hearth, H. et Mathers, J. C. (2015). The Mediterranean diet among British older adults: Its understanding, acceptability and the feasibility of a randomised brief intervention with two levels of dietary advice. *Maturitas*, 82 : 387–393.
- Laraia, B. A., Bodnar, L. M. et Siega-Riz, A. M. (2007). Pregravid body mass index is negatively associated with diet quality during pregnancy. *Public Health Nutrition*, 10 : 920–926.
- Larousse (2016). Grossesse. *Le petit Larousse illustré 2017*.
- de Lauzon, B., Volatier, J. L. et Martin, A. (2004). A Monte Carlo simulation to validate the EAR cut-point method for assessing the prevalence of nutrient inadequacy at the population level. *Public Health Nutrition*, 7 : 893–900.
- Ley, S. H., Hanley, A. J., Retnakaran, R., Sermer, M., Zinman, B. et O'Connor, D. L. (2011). Effect of macronutrient intake during the second trimester on glucose metabolism later in pregnancy. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94 : 1232–1240.
- Lucas, C., Charlton, K. E. et Yeatman, H. (2014). Nutrition advice during pregnancy: do women receive it and can health professionals provide it? *Maternal and Child Health Journal*, 18 : 2465–2478.
- Luoto, R., Kinnunen, T. I., Aittasalo, M., Kolu, P., Raitanen, J., Ojala, K., Mansikkamäki, K., Lamberg, S., Vasankari, T., Komulainen, T. et Tulokas, S. (2011). Primary prevention of gestational diabetes mellitus and large-for-gestational-age newborns by lifestyle counseling: a cluster-randomized controlled trial. *PLoS medicine*, 8 : e1001036.
- Maes, L., Vereecken, C. A., Gedrich, K., Rieken, K., Sichert-Hellert, W., De Bourdeaudhuij, I., Kersting, M., Manios, Y., Plada, M., Hagströmer, M., Dietrich, S., Matthys, C. et HELENA Study Group (2008). A feasibility study of using a diet optimization approach in a web-based computer-tailoring intervention for adolescents. *International Journal of Obesity (2005)*, 32 Suppl 5 : S76-81.
- Maillot, M., Issa, C., Vieux, F., Lairon, D. et Darmon, N. (2011). The shortest way to reach nutritional goals is to adopt Mediterranean food choices: evidence from computer-generated personalized diets. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94 : 1127–1137.
- Maillot, M., Vieux, F., Amiot, M. J. et Darmon, N. (2010). Individual diet modeling translates nutrient recommendations into realistic and individual-specific food choices. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91 : 421–430.
- Maillot, M., Vieux, F., Delaere, F., Lluch, A. et 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 : e0174679.
- Mariscal-Arcas, M., Rivas, A., Monteagudo, C., Granada, A., Cerrillo, I. et Olea-Serrano, F. (2009). Proposal of a Mediterranean diet index for pregnant women. *British Journal of Nutrition*, 102 : 744.
- Martin, C. L., Siega-Riz, A. M., Sotres-Alvarez, D., Robinson, W. R., Daniels, J. L., Perrin, E. M. et Stuebe, A. M. (2016). Maternal Dietary Patterns during Pregnancy Are Associated with Child Growth in the First 3 Years of Life. *The Journal of Nutrition*, 146 : 2281–2288.
- Mauriello, L. M., Van Marter, D. F., Umanzor, C. D., Castle, P. H. et de Aguiar, E. L. (2016). Using mHealth to Deliver Behavior Change Interventions Within Prenatal Care at Community Health Centers. *American Journal of Health Promotion*, 30 : 554–562.

- Meinila, J., Valkama, A., Koivusalo, S. B., Rönö, K., Kautiainen, H., Lindström, J., Stach-Lempinen, B., Eriksson, J. G. et Erkkola, M. (2017). Association between diet quality measured by the Healthy Food Intake Index and later risk of gestational diabetes—a secondary analysis of the RADIEL trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71 : 555–557.
- Meltzer, H. M., Brantsæter, A. L., Nilsen, R. M., Magnus, P., Alexander, J. et Haugen, M. (2011). Effect of dietary factors in pregnancy on risk of pregnancy complications: results from the Norwegian Mother and Child Cohort Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94 : 1970S–4S.
- de Mestral, C., Stringhini, S. et Marques-Vidal, P. (2016). Barriers to healthy eating in Switzerland: A nationwide study. *Clinical Nutrition*, 35 : 1490–1498.
- Michie, S., Ashford, S., Sniehotta, F. F., Dombrowski, S. U., Bishop, A. et French, D. P. (2011). A refined taxonomy of behaviour change techniques to help people change their physical activity and healthy eating behaviours: the CALO-RE taxonomy. *Psychology & Health*, 26 : 1479–1498.
- Millen, B. E. (2015). Part.D: Chapter 1: Food and Nutrient Intakes, and Health: Current Status and Trends. In: *Scientific Report of the 2015 Dietary Guidelines Advisory Committee*. Washington D.C : Department of Health and Human Services et USDA. <https://health.gov/dietaryguidelines/2015-scientific-report/06-chapter-1/>. Consulté le 30 mars 2017.
- Mills, J. L. et Dimopoulos, A. (2015). Folic acid fortification for Europe? *BMJ*, 351 : h6198.
- Morris, C. D., Jacobson, S.-L., Anand, R., Ewell, M. G., Hauth, J. C., Curet, L. B., Catalano, P. M., Sibai, B. M. et Levine, R. J. (2001). Nutrient intake and hypertensive disorders of pregnancy: Evidence from a large prospective cohort. *American Journal of Obstetrics & Gynecology*, 184 : 643–651.
- Muktabant, B., Lawrie, T. A., Lumbiganon, P. et Laopaiboon, M. (2015). Diet or exercise, or both, for preventing excessive weight gain in pregnancy. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 6 : CD007145.
- Mullan, B., Henderson, J., Kothe, E., Allom, V., Orbell, S. et Hamilton, K. (2016). The Role of Habit and Perceived Control on Health Behavior among Pregnant Women. *American Journal of Health Behavior*, 40: 291–301.
- Nash, D. M., Gilliland, J. A., Evers, S. E., Wilk, P. et Campbell, M. K. (2013). Determinants of diet quality in pregnancy: sociodemographic, pregnancy-specific, and food environment influences. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 45 : 627–634.
- Nature (2017). *Pregnancy outcome* (en ligne). <http://www.nature.com/subjects/pregnancy-outcome>. Consulté le 16 mars 2017.
- Naughton, F., Prevost, A. T., Gilbert, H. et Sutton, S. (2012). Randomized controlled trial evaluation of a tailored leaflet and SMS text message self-help intervention for pregnant smokers (MiQuit). *Nicotine & Tobacco Research*, 14 : 569–577.
- Obican, S. G., Finnell, R. H., Mills, J. L., Shaw, G. M. et Scialli, A. R. (2010). Folic acid in early pregnancy: a public health success story. *FASEB journal*, 24 : 4167–4174.
- O’Brien, C. M., Grivell, R. M. et Dodd, J. M. (2016). Systematic review of antenatal dietary and lifestyle interventions in women with a normal body mass index. *Acta Obstetrica Et Gynecologica Scandinavica*, 95 : 259–269.
- O’Brien, O. A., McCarthy, M., Gibney, E. R. et McAuliffe, F. M. (2014). Technology-supported dietary and lifestyle interventions in healthy pregnant women : a systematic review. *European Journal of Clinical Nutrition*, 68: 760–766.

- Ojha, S., Saroha, V., Symonds, M. E. et Budge, H. (2013). Excess nutrient supply in early life and its later metabolic consequences. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 40 : 817–823.
- Oken, E., Kleinman, K. P., Olsen, S. F., Rich-Edwards, J. W. et Gillman, M. W. (2004). Associations of Seafood and Elongated n-3 Fatty Acid Intake with Fetal Growth and Length of Gestation: Results from a US Pregnancy Cohort. *American journal of epidemiology*, 160 : 774–783.
- Opie, R. S., Neff, M. et Tierney, A. C. (2016). A behavioural nutrition intervention for obese pregnant women: Effects on diet quality, weight gain and the incidence of gestational diabetes. *The Australian & New Zealand Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 56 : 364–373.
- Osterhues, A., Ali, N. S. et Michels, K. B. (2013). The role of folic acid fortification in neural tube defects: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 : 1180–1190.
- Øverby, N. C., Hillesund, E. R., Sagedal, L. R., Vistad, I. et Bere, E. (2015). The Fit for Delivery study: rationale for the recommendations and test-retest reliability of a dietary score measuring adherence to 10 specific recommendations for prevention of excessive weight gain during pregnancy. *Maternal & Child Nutrition*, 11 : 20–32.
- Padmanabhan, U., Summerbell, C. D. et Heslehurst, N. (2015). A qualitative study exploring pregnant women's weight-related attitudes and beliefs in UK: the BLOOM study. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 15 : 99.
- Pasternak, Y., Aviram, A., Poraz, I. et Hod, M. (2013). Maternal nutrition and offspring's adulthood NCD's: a review. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 26 : 439–444.
- Pearce, E. N., Lazarus, J. H., Moreno-Reyes, R. et Zimmermann, M. B. (2016). Consequences of iodine deficiency and excess in pregnant women: an overview of current knowns and unknowns. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 104 : 918S–923S.
- Perignon, M., Masset, G., Ferrari, G., Barré, T., Vieux, F., Maillot, M., Amiot, M.-J. et 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 : 2662–2674.
- Philipps, C. et Johnson, N. E. (1977). The impact of quality of diet and other factors on birth weight of infants. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 30 : 215–225.
- Pick, M. E., Edwards, M., Moreau, D. et Ryan, E. A. (2005). Assessment of diet quality in pregnant women using the Healthy Eating Index. *Journal of the American Dietetic Association*, 105 : 240–246.
- Pinto, E., Barros, H. et dos Santos Silva, I. (2009). Dietary intake and nutritional adequacy prior to conception and during pregnancy: a follow-up study in the north of Portugal. *Public Health Nutrition*, 12 : 922–931.
- Pluye, P. et Hong, Q. N. (2014). Combining the power of stories and the power of numbers: mixed methods research and mixed studies reviews. *Annual Review of Public Health*, 35 : 29–45.
- Poston, L., Bell, R., Croker, H., Flynn, A. C., Godfrey, K. M., Goff, L., Hayes, L., Khazaezadeh, N., Nelson, S. M., Oteng-Ntim, E., Pasupathy, D., Patel, N., Robson, S. C., Sandall, J., Sanders, T. A. B., Sattar, N., Seed, P. T., Wardle, J., Whitworth, M. K., Briley, A. L. et UPBEAT Trial Consortium (2015). Effect of a behavioural intervention in obese pregnant women (the UPBEAT study): a multicentre, randomised controlled trial. *The Lancet. Diabetes & Endocrinology*, 3 : 767–777.
- Potier De Courcy, G., Deheeger, M., Chaveroux, F., Cornet, P., Fuchs, F., Guillard, J.-C. et Lecerf, J.-M. (1998). L'alimentation de femmes enceintes parisiennes et lilloises. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 33 : 29–40.

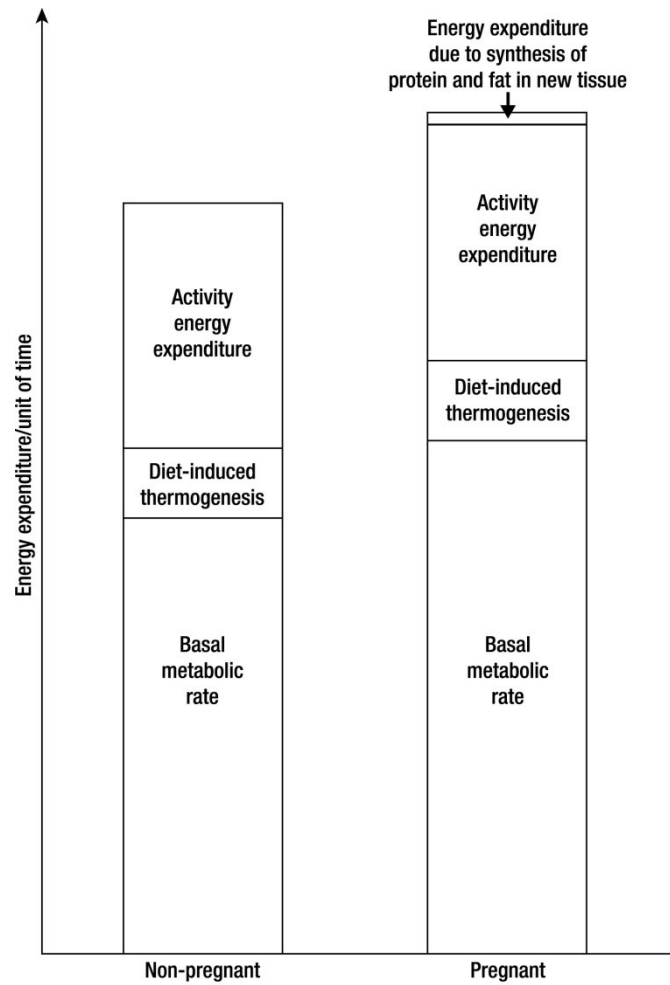
- Pouchieu, C., Lévy, R., Faure, C., Andreeva, V. A., Galan, P., Hercberg, S. et Touvier, M. (2013). Socioeconomic, Lifestyle and Dietary Factors Associated with Dietary Supplement Use during Pregnancy. *PLoS ONE*, 8 : e70733.
- Prentice, A. M., Spaaij, C. J., Goldberg, G. R., Poppitt, S. D., van Raaij, J. M., Totton, M., Swann, D. et Black, A. E. (1996). Energy requirements of pregnant and lactating women. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50 Suppl 1 : S82-110 ; discussion S10-11.
- QualiQuanti (2014). *Les book des études online - 7ème édition revue et augmentée*. Paris : QualiQuanti. <http://testconso.typepad.com/files/bookonlineeditionavril2014-2ppf1.pdf>. Consulté le 21 janvier 2016.
- Quinlan, J. D. et Hill, D. A. (2003). Nausea and Vomiting in Pregnancy. *Am Fam Physician*, 68 : 121-128.
- Quinlivan, J. A., Lam, L. T. et Fisher, J. (2011). A randomised trial of a four-step multidisciplinary approach to the antenatal care of obese pregnant women. *The Australian & New Zealand Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 51 : 141-146.
- Rauh, K., Günther, J., Kunath, J., Stecher, L. et Hauner, H. (2015). Lifestyle intervention to prevent excessive maternal weight gain: mother and infant follow-up at 12 months postpartum. *BMC pregnancy and childbirth*, 15 : 265.
- Rayman, M. P. et Bath, S. C. (2015). The new emergence of iodine deficiency in the UK: consequences for child neurodevelopment. *Annals of Clinical Biochemistry*, 52 : 705-708.
- Regnault, N., Salanave, B., Castetbon, K., Cosson, E., Vambergue, A., Barry, Y., Fosse Etorh, S. et Vernay, M. (2016). Diabète gestationnel en France en 2012 : dépistage, prévalence et modalités de prise en charge pendant la grossesse. *Bulletin Epidemiologique Hebdomadaire*, 9 : 164-73.
- Reyes, N. R., Klotz, A. A. et Herring, S. J. (2013). A qualitative study of motivators and barriers to healthy eating in pregnancy for low-income, overweight, African-American mothers. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 113 : 1175-1181.
- Richter, J. E. (2003). Gastroesophageal reflux disease during pregnancy. *Gastroenterology Clinics of North America*, 32 : 235-261.
- Rifas-Shiman, S. L., Rich-Edwards, J. W., Kleinman, K. P., Oken, E. et Gillman, M. W. (2009). Dietary Quality during Pregnancy Varies by Maternal Characteristics in Project Viva: A US Cohort. *Journal of the American Dietetic Association*, 109 : 1004-1011.
- Ristic-Medic, D., Piskackova, Z., Hooper, L., Ruprich, J., Casgrain, A., Ashton, K., Pavlovic, M. et Glibetic, M. (2009). Methods of assessment of iodine status in humans: a systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89 : 2052S-2069S.
- Rodríguez-Bernal, C. L., Rebagliato, M., Iñiguez, C., Vioque, J., Navarrete-Muñoz, E. M., Murcia, M., Bolumar, F., Marco, A. et Ballester, F. (2010). Diet quality in early pregnancy and its effects on fetal growth outcomes: the Infancia y Medio Ambiente (Childhood and Environment) Mother and Child Cohort Study in Spain. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91 : 1659-1666.
- Rosenstock, I. M. (1974). Historical Origins of the Health Belief Model. *Health Education Monographs*, 2 : 328-335.
- Ryan, R. M. et Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25 : 54-67.

- Sagedal, L. R., Sanda, B., Øverby, N. C., Bere, E., Torstveit, M. K., Lohne-Seiler, H., Hillesund, E. R., Pripp, A. H., Henriksen, T. et Vistad, I. (2017). The effect of prenatal lifestyle intervention on weight retention 12 months postpartum: results of the Norwegian Fit for Delivery randomised controlled trial. *BJOG: an international journal of obstetrics and gynaecology*, 124 : 111–121.
- Shapiro, A. L. B., Kaar, J. L., Crume, T. L., Starling, A. P., Siega-Riz, A. M., Ringham, B. M., Glueck, D. H., Norris, J. M., Barbour, L. A., Friedman, J. J. et Dabelea, D. (2016). Maternal diet quality in pregnancy and neonatal adiposity: The healthy start study. *International Journal of Obesity*, 40 : 1056–62.
- Sheeran, P. (2002). Intention—Behavior Relations: A Conceptual and Empirical Review. *European Review of Social Psychology*, 12 : 1–36.
- Shin, D., Bianchi, L., Chung, H., Weatherspoon, L. et Song, W. O. (2014). Is Gestational Weight Gain Associated with Diet Quality During Pregnancy? *Maternal and Child Health Journal*, 18: 1433–1443.
- Shuaibi, A. M., Sevenhuysen, G. P. et House, J. D. (2008). Validation of a food choice map with a 3-day food record and serum values to assess folate and vitamin B-12 intake in college-aged women. *Journal of the American Dietetic Association*, 108 : 2041–2050.
- Sioen, I., Lieshout, L. van, Eilander, A., Fleith, M., Lohner, S., Szommer, A., Petisca, C., Eussen, S., Forsyth, S., Calder, P. C., Campoy, C. et Mensink, R. P. (2017). Systematic Review on N-3 and N-6 Polyunsaturated Fatty Acid Intake in European Countries in Light of the Current Recommendations - Focus on Specific Population Groups. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 70 : 39–50.
- Skreden, M., Bere, E., Sagedal, L. R., Vistad, I. et Øverby, N. C. (2015). Changes in beverage consumption from pre-pregnancy to early pregnancy in the Norwegian Fit for Delivery study. *Public Health Nutrition*, 18 : 1187–1196.
- Skröder, H. M., Hamadani, J. D., Tofail, F., Persson, L. Å., Vahter, M. E. et Kippler, M. J. (2015). Selenium status in pregnancy influences children's cognitive function at 1.5 years of age. *Clinical Nutrition*, 34 : 923–930.
- Smith, A. D., Kim, Y.-I. et Refsum, H. (2008). Is folic acid good for everyone? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 87 : 517–533.
- Streuling, I., Beyerlein, A. et Kries, R. von (2010). Can gestational weight gain be modified by increasing physical activity and diet counseling? A meta-analysis of interventional trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 92 : 678–687.
- Sui, Z., Turnbull, D. A. et Dodd, J. M. (2013). Overweight and obese women's perceptions about making healthy change during pregnancy: a mixed method study. *Maternal and Child Health Journal*, 17 : 1879–1887.
- Suzuki, H., Watanabe, Y., Arima, H., Kobayashi, K., Ohno, Y. et Kanno, Y. (2008). Short- and long-term prognosis of blood pressure and kidney disease in women with a past history of preeclampsia. *Clinical and Experimental Nephrology*, 12 : 102–109.
- Szmeja, M. A., Cramp, C., Grivell, R. M., Deussen, A. R., Yelland, L. N. et Dodd, J. M. (2014). Use of a DVD to provide dietary and lifestyle information to pregnant women who are overweight or obese: a nested randomised trial. *BMC pregnancy and childbirth*, 14 : 409.
- Szwajcer, E., Hiddink, G. J., Maas, L., Koelen, M. et van Woerkum, C. (2012). Nutrition awareness before and throughout different trimesters in pregnancy: a quantitative study among Dutch women. *Family Practice*, 29 Suppl 1 : i82–i88.

- Szwajcer, E. M., Hiddink, G. J., Koelen, M. A. et van Woerkum, C. M. J. (2007). Nutrition awareness and pregnancy: implications for the life course perspective. *European Journal of Obstetrics, Gynecology, and Reproductive Biology*, 135 : 58–64.
- Szwajcer, E. M., Hiddink, G. J., Koelen, M. A. et van Woerkum, C. M. J. (2005). Nutrition-related information-seeking behaviours before and throughout the course of pregnancy: consequences for nutrition communication. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59 Suppl 1 : S57-65.
- Szwajcer, E. M., Hiddink, G. J., Maas, L., Koelen, M. A. et van Woerkum, C. M. J. (2008). Nutrition-related information-seeking behaviours of women trying to conceive and pregnant women: evidence for the life course perspective. *Family Practice*, 25 Suppl 1 : i99-104.
- Tabesh, Marjan, Salehi-Abargouei, A., Tabesh, Maryam et Esmailzadeh, A. (2013). Maternal vitamin D status and risk of pre-eclampsia: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 98 : 3165–3173.
- Tamura, T., Picciano, M. F. et McGuire, M. K. (2010). Folate in Pregnancy and Lactation. In: *Folate in Health and Disease. 2nd ed.* Boca Raton, Florida : CRC Press. pp.111–131.
- Thornton, Y. S., Smarkola, C., Kopacz, S. M. et Ishaof, S. B. (2009). Perinatal outcomes in nutritionally monitored obese pregnant women: a randomized clinical trial. *Journal of the National Medical Association*, 101 : 569–577.
- Tieu, J., Shepherd, E., Middleton, P. et Crowther, C. A. (2017). Dietary advice interventions in pregnancy for preventing gestational diabetes mellitus. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1 : CD006674.
- Tong, A., Sainsbury, P. et Craig, J. (2007). Consolidated criteria for reporting qualitative research (COREQ): a 32-item checklist for interviews and focus groups. *International Journal for Quality in Health Care*, 19 : 349–357.
- Turner, R. E., Langkamp-Henken, B., Littell, R. C., Lukowski, M. J. et Suarez, M. F. (2003). Comparing nutrient intake from food to the estimated average requirements shows middle- to upper-income pregnant women lack iron and possibly magnesium. *Journal of the American Dietetic Association*, 103 : 461–466.
- Vaiman, D. (2013). *Pré-éclampsie* (en ligne). <http://www.inserm.fr/thematiques/biologie-cellulaire-developpement-et-evolution/dossiers-d-information/pre-eclampsie>. Consulté le 16 mars 2017.
- Valkama, A., Koivusalo, S., Lindström, J., Meinilä, J., Kautiainen, H., Stach-Lempinen, B., Rönö, K., Klemetti, M., Pöyhönen-Alho, M., Tiitinen, A., Huvinen, E., Laivuori, H., Andersson, S., Roine, R. et Eriksson, J. G. (2016). The effect of dietary counselling on food intakes in pregnant women at risk for gestational diabetes: a secondary analysis of a randomised controlled trial RADIEL. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70 : 912–917.
- Vallerand, J. R. et Thill, E. (1993). *Introduction à la psychologie de la motivation*. Laval, Québec : Editions Etudes Vivantes. 674p.
- Vandelanotte, C., Bourdeaudhuij, I. D. et Brug, J. (2004). Acceptability and feasibility of an interactive computer-tailored fat intake intervention in Belgium. *Health Promotion International*, 19 : 463–470.
- Verger, E. O. (2013). Développement de méthodes d'analyse d'enquêtes alimentaires : évaluation de la qualité du régime et définition de conseils alimentaires personnalisés. Paris : AgroParisTech. 152p.
- Verger, E. O., Holmes, B. A., Huneau, J. F. et Mariotti, F. (2014). Simple changes within dietary subgroups can rapidly improve the nutrient adequacy of the diet of French adults. *The Journal of Nutrition*, 144 : 929–936.

- Verger, E. O., Mariotti, F., Holmes, B. A., Paineau, D. et 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 : e42155.
- Vidailhet, M., Bocquet, A., Bresson, J.-L., Briend, A., Chouraqui, J.-P., Dupont, C., Darmaun, D., Frelut, M.-L., Ghisolfi, J., Girardet, J.-P., Goulet, O., Putet, G., Rieu, D., Rigo, J. et Turck, D. (2008). Prévention par l'acide folique des défauts de fermeture du tube neural : la question n'est toujours pas réglée. *Archives de Pédiatrie*, 15 : 1223–1231.
- Vinter, C. A., Jensen, D. M., Ovesen, P., Beck-Nielsen, H. et Jørgensen, J. S. (2011). The LiP (Lifestyle in Pregnancy) study: a randomized controlled trial of lifestyle intervention in 360 obese pregnant women. *Diabetes Care*, 34 : 2502–2507.
- Völgyi, E., Carroll, K. N., Hare, M. E., Ringwald-Smith, K., Piyathilake, C., Yoo, W. et Tylavsky, F. A. (2013). Dietary Patterns in Pregnancy and Effects on Nutrient Intake in the Mid-South: The Conditions Affecting Neurocognitive Development and Learning in Early Childhood (CANDLE) Study. *Nutrients*, 5 : 1511–1530.
- de Vries, H. et Brug, J. (1999). Computer-tailored interventions motivating people to adopt health promoting behaviours: introduction to a new approach. *Patient Education and Counseling*, 36 : 99–105.
- Waijers, P. M. C. M., Feskens, E. J. M. et Ocké, M. C. (2007). A critical review of predefined diet quality scores. *The British Journal of Nutrition*, 97 : 219–231.
- Walsh, J. M., McGowan, C. A., Mahony, R., Foley, M. E. et McAuliffe, F. M. (2012). Low glycaemic index diet in pregnancy to prevent macrosomia (ROLO study): randomised control trial. *The BMJ*, 345 : e5605.
- Watson, P. E. et McDonald, B. W. (2009). Major influences on nutrient intake in pregnant New Zealand women. *Maternal and Child Health Journal*, 13 : 695–706.
- Weinrich, N. K. (2011). *Hands-On Social Marketing A Step-by-Step Guide to Designing Change for Good* (2nd Ed.). Los Angeles : SAGE Publishing. 328p.
- Weir, Z., Bush, J., Robson, S. C., McParlin, C., Rankin, J. et Bell, R. (2010). Physical activity in pregnancy: a qualitative study of the beliefs of overweight and obese pregnant women. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 10 : 18.
- Wennberg, A. L., Lundqvist, A., Högberg, U., Sandström, H. et Hamberg, K. (2013). Women's experiences of dietary advice and dietary changes during pregnancy. *Midwifery*, 29 : 1027–1034.
- Wethington, E. (2005). An overview of the life course perspective: implications for health and nutrition. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 37 : 115–120.
- Whitaker, K. M., Wilcox, S., Liu, J., Blair, S. N. et Pate, R. R. (2016a). African American and White women's perceptions of weight gain, physical activity, and nutrition during pregnancy. *Midwifery*, 34 : 211–220.
- Whitaker, K. M., Wilcox, S., Liu, J., Blair, S. N. et Pate, R. R. (2016b). Patient and Provider Perceptions of Weight Gain, Physical Activity, and Nutrition Counseling during Pregnancy: A Qualitative Study. *Women's Health Issues*, 26 : 116–122.
- Whitaker, K. M., Wilcox, S., Liu, J., Blair, S. N. et Pate, R. R. (2016c). Pregnant women's perceptions of weight gain, physical activity, and nutrition using Theory of Planned Behavior constructs. *Journal of Behavioral Medicine*, 39 : 41–54.
- WHO (2013). *Global nutrition policy review - What does it take to scale up nutrition action?* Geneva : World Health Organization. 122p.

- WHO (2014). *Fortification of food-grade salt with iodine for the prevention and control of iodine deficiency disorders*. Geneva : World Health Organization. 45p.
- WHO (2016). *WHO recommendations on antenatal care for a positive pregnancy experience*. Geneva : World Health Organization. 152p.
- WHO Secretariat, Andersson, M., de Benoist, B., Delange, F. et Zupan, J. (2007). Prevention and control of iodine deficiency in pregnant and lactating women and in children less than 2-years-old: conclusions and recommendations of the Technical Consultation. *Public Health Nutrition*, 10 : 1606–1611.
- WHO/FAO/UNU (2007). *Protein and amino acid requirements in human nutrition report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation*. Geneva : World Health Organization. 265p.
- Widga, A. C. et Lewis, N. M. (1999). Defined, in-home, prenatal nutrition intervention for low-income women. *Journal of the American Dietetic Association*, 99 : 1058–1062.
- Wolff, S., Legarth, J., Vangsgaard, K., Toubro, S. et Astrup, A. (2008). A randomized trial of the effects of dietary counseling on gestational weight gain and glucose metabolism in obese pregnant women. *International Journal of Obesity (2005)*, 32 : 495–501.
- Wu, G., Imhoff-Kunsch, B. et Girard, A. W. (2012). Biological Mechanisms for Nutritional Regulation of Maternal Health and Fetal Development. *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, 26 : 4–26.
- van der Wulp, N. Y., Hoving, C., Eijmael, K., Candel, M. J., van Dalen, W. et De Vries, H. (2014). Reducing Alcohol Use During Pregnancy Via Health Counseling by Midwives and Internet-Based Computer-Tailored Feedback: A Cluster Randomized Trial. *Journal of Medical Internet Research*, 16 : e274.




 Forsum E, Löf M. 2007.
 Annu. Rev. Nutr. 27:277-92

Figure 1. Répartition de la dépense énergétique totale chez la femme non enceinte en comparaison avec la femme enceinte

(Forsum et Löf, 2007)

Retour au paragraphe [1.1](#) de l'introduction bibliographique

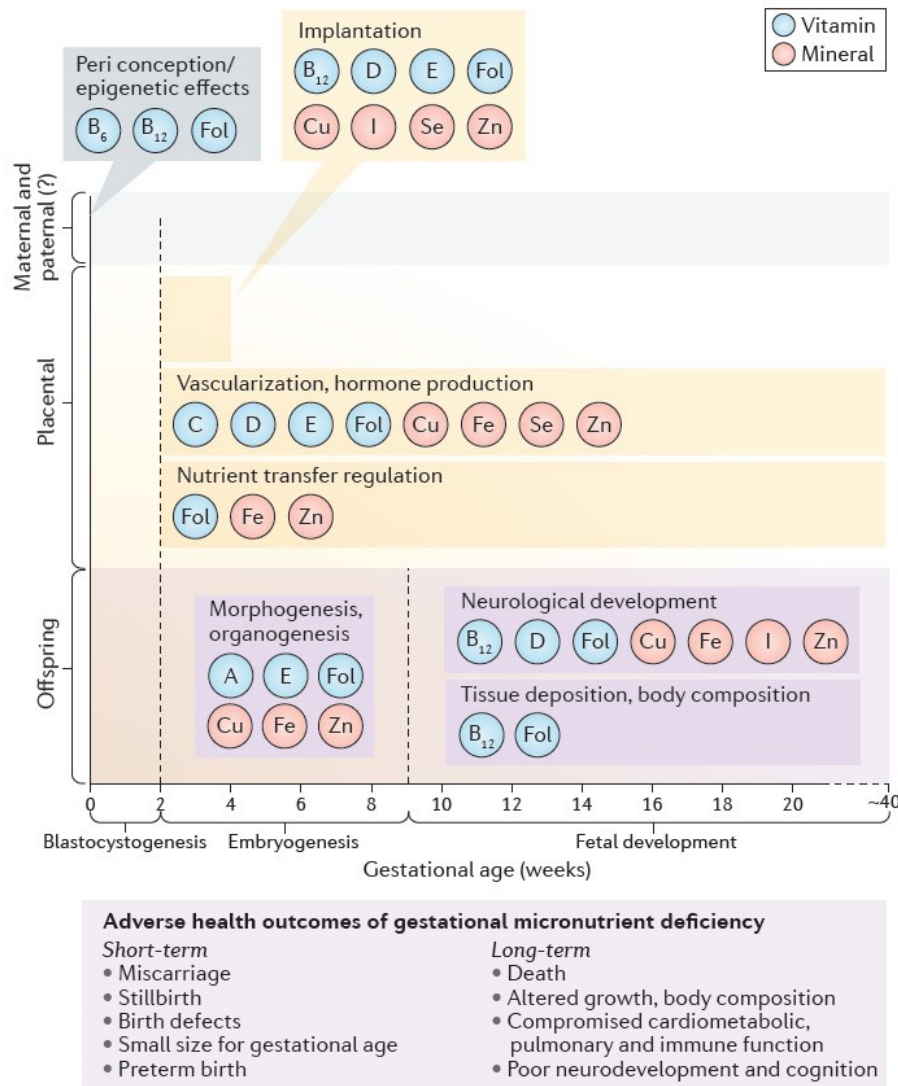


Figure 2. Fonction et période d'intervention des micronutriments dans le développement de l'enfant, selon l'âge gestationnel

Fol, folate.

Les auteurs notent que :

- les fonctions des micronutriments présentées sur cette figure ont été résumées à partir de données issues d'études *in vitro*, de modèles animaux, d'études observationnelles effectuées chez l'Homme et de quelques études interventionnelles ayant exploré les mécanismes métaboliques et leur impact sur le développement.
- seules la période d'intervention et la fonction des micronutriments sont présentées. Leur accumulation par le fœtus, qui est généralement dépendante du statut de la mère, n'est pas prise en compte. La disponibilité des micronutriments accumulés par le fœtus pour permettre sa croissance et son développement futur est donc ici considérée comme une voie implicite.

(Gernand *et al.*, 2016)

Retour au paragraphe [1.1](#) de l'introduction bibliographique

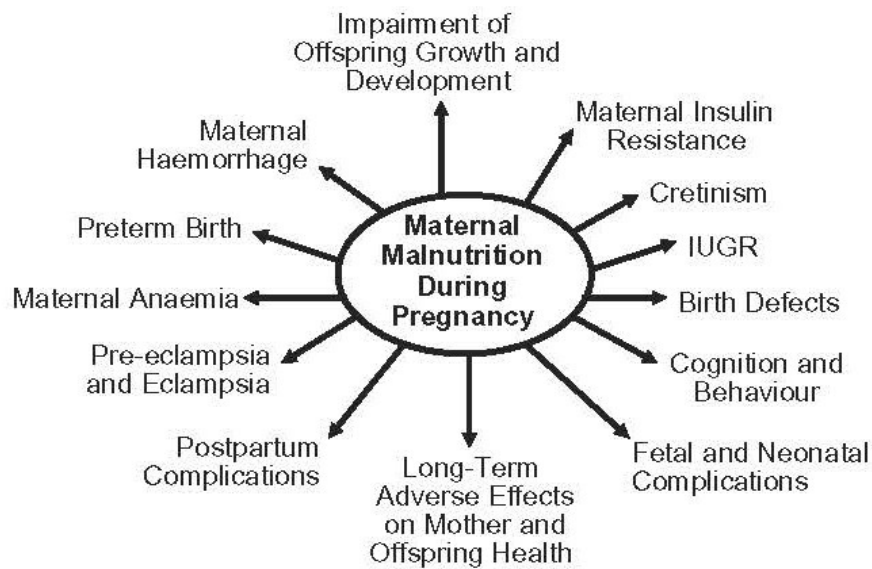


Figure 3. Schéma présentant les principaux effets négatifs de la malnutrition (réunissant à la fois la sous- et la surnutrition) de la mère sur sa santé et celle de l'enfant

IUGR, intrauterine growth restriction (ou en français : *retard de croissance intra-utérin*)

(Wu *et al.*, 2012)

Retour au paragraphe [1.2](#) de l'introduction bibliographique

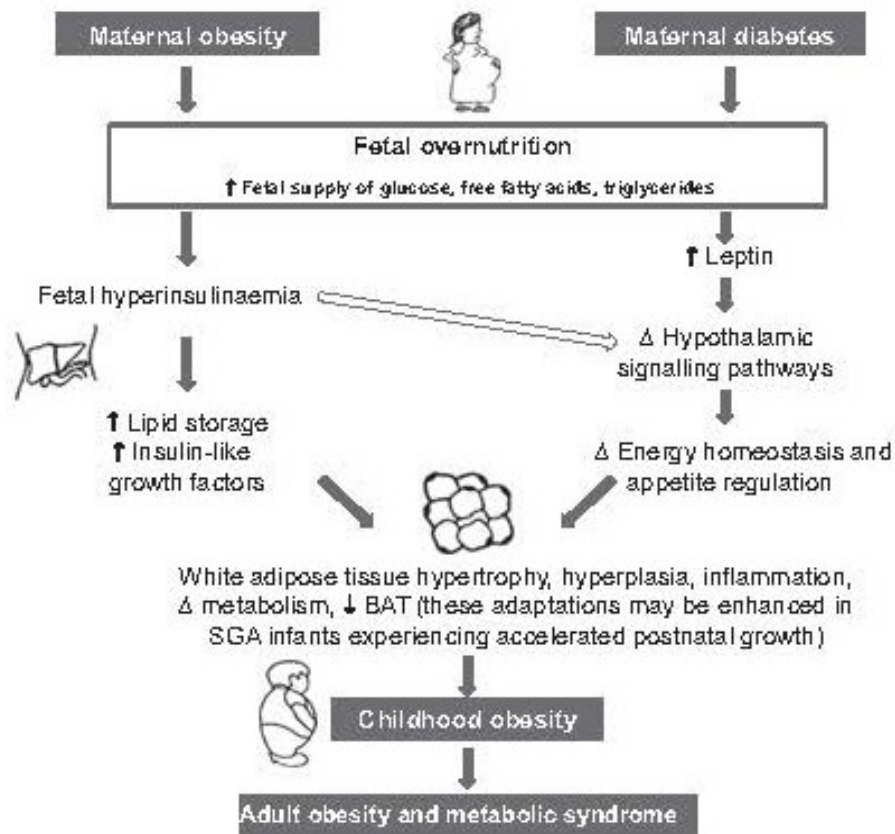


Figure 4. Relations entre obésité et diabète maternels et développement d’une obésité chez l’enfant dans sa vie future

BAT, brown adipose tissue

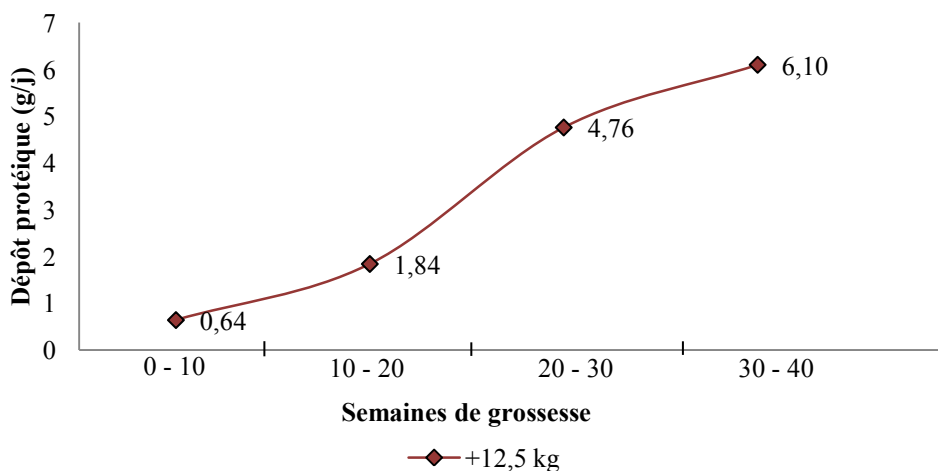
SGA, small for gestational age (ou en français *petit poids pour l’âge gestationnel*)

(Ojha *et al.*, 2013)

Retour au paragraphe [1.2.2](#) de l’introduction bibliographique

A

Dépôt protéique par dizaine de semaines de grossesse pour une prise de poids de 12,5kg
(d'après Hytten et Chamberlain, 1990)

**B**

Dépôt protéique par trimestre de grossesse selon la prise de poids
(d'après Butte et King, 2005)

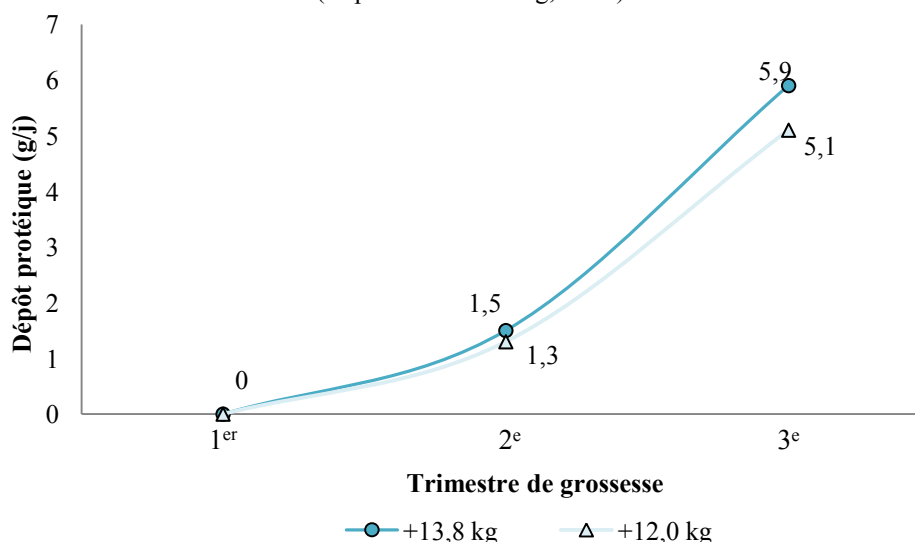


Figure 5. Evolution du dépôt protéique (en g/j) au cours de la grossesse en fonction de la prise de poids

Panneau A : Dépôt protéique (en g/j) déterminé d'après le modèle théorique développé par Hytten et Chamberlain en 1990 par dizaine de semaines de grossesse pour une prise de poids totale au cours de la grossesse de 12,5 kg pour des femmes ayant un poids pré-grossesse compris entre 60 et 65 kg et donnant naissance à un enfant de 3,4 kg. L'accrétion protéique totale au cours de la grossesse (266 jours) associée est de 925 g.

Panneau B : Dépôt protéique (en g/j) déterminé par Butte et King (2005) par trimestre de grossesse et pour deux prises de poids (13,8 et 12 kg) d'après plusieurs études effectuées chez des femmes enceintes bien nourries, ayant estimé indirectement le dépôt protéique au cours de la grossesse par la mesure de l'accrétion potassique totale. Les accrétions protéiques totales au cours de la grossesse (266 jours) associées sont de 686 g (prise de poids de 13,8 kg) et de 597 g (prise de poids de 12 kg).

Retour au paragraphe [1.3.1](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 1. Méthode de calcul basée sur l'approche factorielle utilisée par l'EFSA pour estimer l'apport nutritionnel conseillé supplémentaire pour les protéines pendant la grossesse selon le trimestre

Trimester	Mid-trimester weight gain (kg)	Additional protein for maintenance (g/d) ¹	Protein deposition (g/d)	Protein deposition, adjusted for efficiency ² (g/d)	Additional protein requirement (g/d)	PRI*, additional intake ³ (g/d)
1	0.8	0.5	0	0	0.5	1
2	4.8	3.2	1.9	4.0	7.2	9
3	11	7.3	7.4	15.7	23	28

¹ Mid-trimester increase in weight x average requirement (AR) for maintenance of protein for adults of 0.66 g/kg body weight per day

² Protein deposition adjusted for the efficiency of protein utilization during pregnancy: 47 %

³ Calculated as the average requirement plus allowance for estimated coefficient of variation of 12 %

**En France, le Population Reference Intake, noté PRI, correspond à la référence nutritionnelle de population. Les sigles marqués d'un astérisque (*) sont définis en annexe.*

(EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2012)

Retour au paragraphe [1.3.1](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 2. Absorption du fer durant la grossesse calculée à partir des données relatives à l'absorption du fer après un repas-test issues de l'étude de Barrett *et al.*

Time of gestation	12 weeks (weeks 0–23, days 1–161 = 161 days in total)	24 weeks (weeks 24–35, gestational days 162–245 = 84 days in total)	36 weeks (weeks 36–40, gestational days 246–280 = 35 days in total)
Geometric mean percentage non-haem iron absorption	7.2	36.3	66.1
Non-haem iron absorbed (mg/day) from a diet supplying 9 mg/day of non- haem iron	0.65	3.27	5.95
Haem iron absorbed (mg/day) from a diet supplying 4 mg/day of haem iron	1.0	1.0	1.0
Total amount of iron absorbed (mg) in each gestational period	265	358	243
Total iron absorbed (mg) throughout gestation			866

(EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2015b)

Retour au paragraphe [1.3.2](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 3. Synthèse des Apports Nutritionnels Conseillés* (Dietary Reference Values*) pour les folates durant la grossesse déterminés par différentes agences de santé publique

	D-A-CH (2013) ^(a)	NNR (2012)	WHO/FAO (2004) ^(a)	NL (2003) ^(b,c)	Afssa (2001)	IOM (1998) ^(a)	SCF (1993)	DH (1991)
Age (years)						14–50		
PRI (µg/day)	550 ^(d)	500	600	400 ^(d)	400	600 ^(e)	400 ^(f)	300

D-A-CH, German countries (Deutschland-Austria-Confoederatio Helvetica); NNR, Nordic Nutrition Recommendations; WHO/FAO, World Health Organization/Food and Agriculture Organization; NL, Health Council of the Netherlands; AFSSA, Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments; IOM, Institute of Medicine; SCF, Scientific Committee for Food (European Commission); DH, Department of Health (United Kingdom)

(a) : DFEs, Dietary Folate Equivalents (*équivalents folates alimentaires, en français*).

(b) : AI, Adequate Intake (*apport satisfaisant (AS), en français*).

(c) : Dietary folate (*folates alimentaires, en français*)

(d): Women capable of or willing to become pregnant should also take a daily supplement containing 400 µg of folic acid from four weeks prior to eight weeks after conception to prevent neural tube defects.

(e): Women capable of becoming pregnant are advised to take 400 µg of folic acid daily from fortified foods, supplements or both to reduce the risk of neural tube defects.

(f): Neural tube defects in the offspring have been shown to be prevented by periconceptional ingestion of 400 µg folic acid/day in the form of supplements.

* *Les termes marqués d'un astérisque (*) sont définis en annexe.*

(D'après EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA), 2014a)

Retour au paragraphe [1.3.4](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 4. Nombre d'études incluses, nombre total de femmes enceintes dans ces études et apports nutritionnels conseillés journaliers (en grammes ou en pourcentage de l'apport énergétique total) selon la région considérée dans la méta-analyse de Blumfield *et al.*

	United States/ Canada	United Kingdom	Europe	Australia/ New Zealand	Japan
Number of studies (number of subjects)	26 (12,765) / 5 (143)	19 (15,563)	27 (93,395)	5 (2,557) / 2 (291)	6 (1,438)
Daily dietary reference values for macronutrients					
Protein	10–35% E	10–35% E	10–35% E	15–25% E	<20% E
Total fat	20–35% E	15–30% E	15–30% E	20–35% E	20–30% E
Saturated fat	Minimize	<10% E	<10% E	≤10% E	4.5–7.0% E
Polyunsaturated fat					
N-6 fatty acids	5–10% E (13 g/day [AI*])	2% E	2% E	10 g/day (AI)	≤10% E (9 g/day [AI])
N-3 fatty acids	0.6–1.2% E (1.4 g/day [AI])	0.5% E	0.5% E	115 mg/day (AI)	2.1 g/day (AI)
Monounsaturated fat	–	–	–	–	–
Carbohydrate	45–65% E	55–75% E	55–75% E	45–65% E	50–70% E
Fiber	28 g/day (AI)	>25 g/day (AI)	>25 g/day (AI)	28 g/day (AI)	21 g/day (AI)

Abbreviations: AI, adequate intake; E, energy.

En France, l'adequate intake, noté AI, correspond à l'apport satisfaisant (AS). Les sigles marqués d'un astérisque () sont définis en annexe.

(D'après Blumfield *et al.*, 2012)

Retour au paragraphe [2.1.1](#) de l'introduction bibliographique

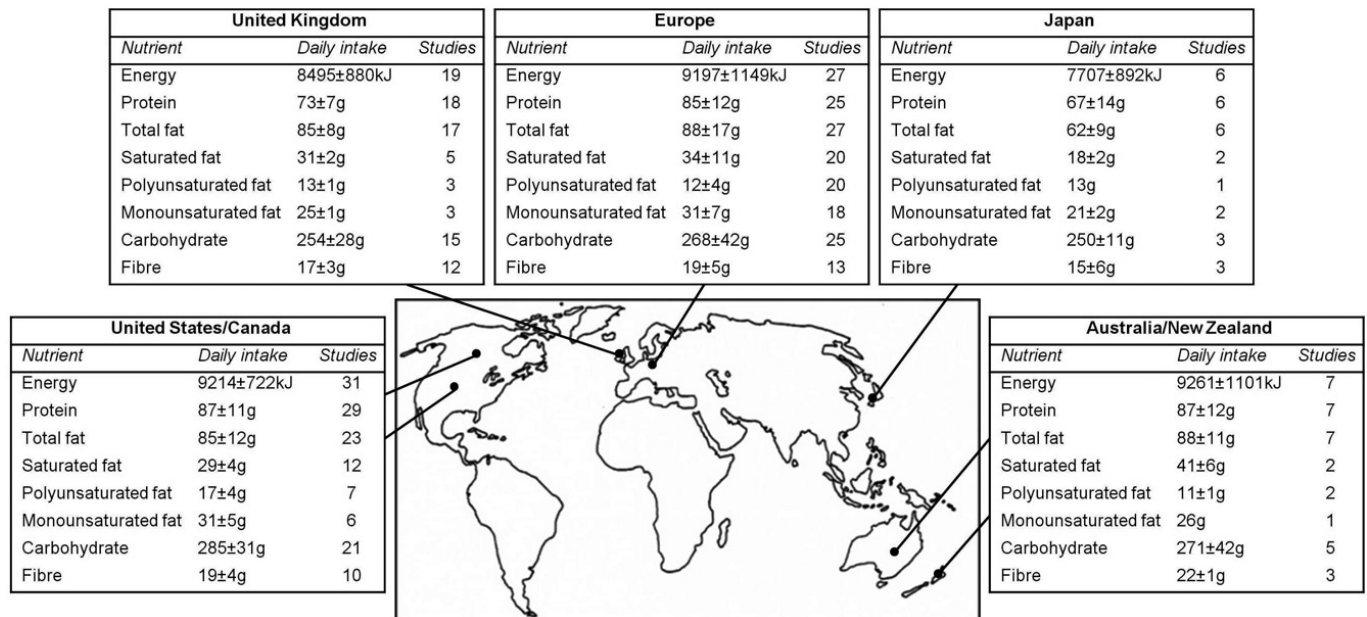


Figure 6. Apports journaliers en énergie et en macronutriments énergétiques (protéines, lipides totaux, acides gras saturés, acides gras polyinsaturés, acides gras mono-insaturés, glucides totaux et fibres) combinés pour plusieurs études par région ou pays (Royaume-Uni, Europe, Japon, Etats-nis et Canada, et Australie et Nouvelle-Zélande), selon la méta-analyse de Blumfiel *et al.*

Les données intégrées dans la méta-analyse de Blumfield et al. ont été recueillies entre 1961 et 2009.

Les cinq tableaux présentent les apports en énergie et en macronutriments combinés par région ou par pays : Royaume-Uni, Europe, Japon, Etats-nis et Canada, et Australie et Nouvelle-Zélande.

Chaque tableau présente dans la deuxième colonne les moyennes ± écarts-types pour les apports en nutriments (ou en énergie) identifiés dans la première colonne, obtenus après combinaison du nombre d'études pour lesquels les apports en ce nutriment ont été évalués, identifié dans la troisième colonne.

(Blumfield *et al.*, 2012)

Retour au paragraphe [2.1.1](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 5. Classification du niveau d'apports en protéines du régime des femmes enceintes en fonction de la valeur de référence utilisée dans l'étude de Burke *et al.*

DIETARY RATING FOR PROTEIN	PROTEIN (GM.)	NUMBER OF CASES	PER CENT OF CASES
Excellent	85 or more	22	10
Good	70 to 84	47	22
Fair	55 to 69	66	30
Poor	45 to 54	51	24
Very poor	Under 45	30	14

La première colonne correspond à la classe.

La deuxième colonne correspond à l'intervalle défini pour l'apport en protéines correspondant à la classe.

La troisième et la quatrième colonnes correspondent respectivement au nombre et au pourcentage de femmes participant à l'étude dans la classe de niveau d'apport protéique correspondante.

(Burke, Harding, *et al.*, 1943)

Retour au paragraphe [2.3.1](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 6. Scores de HEI et des items le composant (moyenne \pm erreur type et étendue) dans les groupes de femmes non enceintes (n = 49) et de femmes enceintes (n = 52)

Parameter	Control		Pregnant		P value
	Mean \pm SEM ^a	Range	Mean \pm SEM	Range	
Total HEI	72.6 \pm 1.52	39.7-88.6	75.0 \pm 0.99	52.0-92.4	NS ^b
Grains	7.46 \pm 0.30	3.11-10.0	8.40 \pm 0.21	3.94-10.0	.089
Vegetables	7.83 \pm 0.29	3.11-10.0	7.45 \pm 0.37	1.0-10.0	NS
Fruits	6.78 \pm 0.46	0-10.0	8.24 \pm 0.31	2.57-10.0	.038
Milk	7.06 \pm 0.41	1.0-10.0	8.04 \pm 0.33	1.67-10.0	.073
Meat	6.74 \pm 0.45	0.42-10.0	7.60 \pm 0.31	3.08-10.0	NS
Total fat (%)	9.10 \pm 0.30	0.67-10.0	9.10 \pm 0.23	3.33-10.0	NS
Saturated fat (%)	8.49 \pm 0.35	0-10.0	8.11 \pm 0.38	0-10.0	NS
Cholesterol (mg)	8.86 \pm 0.40	0-10.0	8.45 \pm 0.42	0-10.0	NS
Sodium (mg)	6.86 \pm 0.45	0-10.0	6.45 \pm 0.42	0-10.0	NS
Variety	3.70 \pm 0.28	0-8.5	4.26 \pm 0.22	1.0-8.5	NS

^aSEM=standard error of the mean.
^bNS=not significant.

La première colonne décrit les items composant le score.

Les deuxième et quatrième colonnes présentent les valeurs pour l'item correspondant (moyenne \pm erreur type) respectivement pour le groupe de femmes non enceintes (« control », n = 49) et pour le groupe de femmes enceintes (« pregnant », n = 51)

Les troisième et cinquième colonnes présentent l'étendue des valeurs pour l'item correspondant respectivement pour le groupe de femmes non enceintes et pour le groupe de femmes enceintes

La sixième colonne présente la probabilité issue du test t de Student visant à déterminer si le score total ou pour un item est différent selon le groupe. P < 0,05 est considérée comme significative.

(Pick *et al.*, 2005)

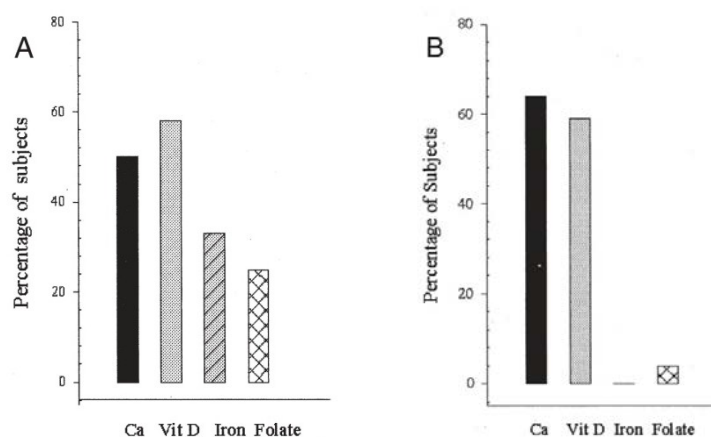


Figure 7. Pourcentage de femmes non enceintes (A) et enceintes (B) présentant un score de HEI supérieur ou égal à 80 et atteignant les recommandations nutritionnelles pour les apports en nutriments suivants : calcium, vitamine D, fer et folates, identifiés comme clés pendant la grossesse.

Ca, calcium.

Vit D, vitamine D.

(Pick *et al.*, 2005)

Retour au paragraphe [2.3.1](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 7. Items composant le Diet Quality Index for Pregnancy (DQI-P) (Bodnar et Siega-Riz, 2002) en comparaison avec le Diet Quality Index Revised (DQI-R) pour la population générale (Haines *et al.*, 1999)

Items	DQI-R ¹	DQI-P ¹	Justification des différences entre le DQI-P et le DQI-R ²
Nombre de portions consommées			
<i>Fruits</i>	+	+	
<i>Légumes</i>	+	+	
<i>Céréales</i>	+	+	
Adéquation des apports en nutriments par rapport aux recommandations			
<i>Lipides</i>	+	+	
<i>Acides gras saturés</i>	+	-	Le score reflète bien les apports en acides gras saturés sans inclure l'item (plus les apports sont faibles, plus le DQI-P est élevé)
<i>Cholestérol</i>	+	-	Apports en cholestérol et lipides totaux très fortement corrélés dans l'étude ($r=0,80$)
<i>Calcium</i>	+	+*	Prise en compte de la recommandation spécifique pour la grossesse
<i>Fer</i>	+	+*	
<i>Folates</i>	-	+	Nutriment essentiel pendant la grossesse (haut niveau de preuve, cf. paragraphe 1.1 de l'introduction bibliographique)
Autres items			
<i>Score de diversité</i>	+	-	Calcul complexe prenant en compte plusieurs paramètres qui limiteraient l'utilisation du DQI-P en santé publique
<i>Score de modération</i>	+	-	
<i>Répartition des prises alimentaires dans la journée</i>	-	+	Existence de recommandations pour la répartition des prises alimentaires dans la journée lors de la grossesse (3 repas et 2 collations)

¹ Le signes reportés dans les deuxième et troisième colonnes ont la signification suivante : « + », item présent dans l'indice ; « - », item absent dans l'indice ; « +* », item présent mais modifié dans l'indice DQI-P.

² La justification présentée est celle proposée par les auteurs (Bodnar et Siega-Riz, 2002)

Retour au paragraphe [2.3.1](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 8. Scores moyens pour le Diet Quality Index for Pregnancy (DQI-P) et ses items présentés en fonction des caractéristiques sociodémographiques maternelles

Maternal characteristic	n	Mean DQI-P score	% Recommended grain servings ¹	% Recommended vegetable servings ¹	% Recommended fruit servings ¹	% RDA for folate	% RDA for iron	% AI for calcium	% kcal from fat	Meal pattern score ²
Ethnicity										
White	1069	55.5	37.0	92.8	105.5	94.3	67.5	126.5	33.2	7.8
Black	858	56.2	40.9 ^a	96.8	149.8 ^a	116.3 ^a	81.7 ^a	125.7	34.5 ^a	8.0
% Poverty index ³										
<185%	1191	55.3	39.3	92.7	126.2	107.5 ^a	76.5 ^{a,b}	125.5	34.3 ^a	7.8
185–350%	393	55.6	38.3	93.7	122.6	99.1	70.0	122.8	33.6 ^a	7.6
>350%	331	59.8 ^{a,b}	37.5	109.2 ^{a,b}	130.0	99.7	68.0	129.9	30.0	7.5
Parity										
Nulliparous	585	57.0 ^a	39.7	93.1	137.1 ^a	109.7 ^a	77.1 ^a	130.0 ^a	33.1	8.1 ^a
Multiparous	1464	55.6	38.8	96.4	123.3	103.0	72.7	124.0	33.6	7.6
Age										
< 20 years	423	54.4	39.2	81.0	121.6	105.2	76.5 ^a	119.1	34.6 ^a	8.2 ^a
20–30 years	1217	55.8	39.5	95.0 ^a	126.8	106.1	75.0 ^a	126.5	33.7 ^a	7.7
>30 years	423	58.3 ^{a,b}	37.5	111.1 ^{a,b}	134.6	101.1	68.3	130.7	31.7	7.5
Education										
<12 years	433	52.9	37.6	85.6	117.7	102.7	74.0	116.7	35.3 ^{a,b}	7.9
12 years	667	55.3 ^a	40.1	93.7	124.2	108.0	76.6 ^a	123.9	34.3 ^a	8.0 ^a
> 12 years	766	58.5 ^{a,b}	39.2	103.3 ^{a,b}	136.3 ^a	103.8	71.5	130.7 ^a	31.5	7.5

RDA – Recommended Dietary Allowance; AI – Adequate Intake.

^aSignificantly greater than lowest value (P<0.05)

^bSignificantly greater than middle value (P<0.05)

¹Based on Food Guide Pyramid recommendations for diets containing ≤1600, 1601 – <1900, 1900 – <2500, 2500 – <2800 and ≥ 2800 kcal.

²Scoring based on the following categories: 3 meals/2 snacks=10 points; 3 meals/0–1 snack(s) or 2 meals/2 snacks = 5 points; 2 meals/0–1 snack(s) or 1 meal/snacks = 0 points.

³Income as a percentage of the 1996 poverty index.

Les première et deuxième colonnes présentent les caractéristiques sociodémographiques maternelles et le nombre de sujets concernés par chaque niveau (n). L'ensemble des données est présenté par niveau de chaque caractéristique sociodémographique maternelle.

La troisième colonne présente les valeurs moyennes de DQI-P.

Les huit items présentés dans les colonnes suivantes correspondent aux items inclus dans le calcul du DQI-P.

Les quatrième, cinquième et sixième colonnes présentent le pourcentage moyen de portions consommées sur la base des recommandations (établies par niveau d'apport énergétique total) respectivement pour les céréales, les légumes et les fruits.

Les septième, huitième et neuvième colonnes présentent le pourcentage moyen d'apports en nutriments sur la base des recommandations nutritionnelles respectivement pour les folates, le fer, le calcium et le pourcentage de calories apportées par les lipides.

La dixième colonne présente le score moyen pour l'adéquation aux recommandations pour la grossesse concernant la répartition des prises alimentaires pendant la journée.

(Bodnar et Siega-Riz, 2002)

Retour au paragraphe [2.3.2](#) de l'introduction bibliographique



Figure 8. Descriptif de l'adéquation des consommations alimentaires de femmes enceintes au regard des différentes recommandations PNNS (à destination de la population adulte ou spécifiques à la grossesse à destination des femmes enceintes)

Panneau A : Les recommandations présentées sont celles établies à destination de la population adulte. L'item sel ne tient compte que du sel contenu dans les aliments ou les plats (quiche, couscous) figurant dans les tables de consommation alimentaire.

Panneau B : Les recommandations présentées sont celles établies spécifiquement pour la grossesse.

Nuancier de gris : pourcentage des femmes qui atteignent un score = 1 score [0,75—1[, score [0,5—0,75[et score < 0,5 pour l'item considéré.

(D'après Kadawathagedara *et al.*, 2017)

Retour au paragraphe [2.3.3](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 9. Scores de conscience nutritionnelle (moyenne \pm erreur-type) de chacune des neuf recommandations alimentaires proposées aux Pays-Bas dans l'échantillon total ($n = 523$) et dans chaque groupe de femmes : n'essayant pas de concevoir ($n = 101$), essayant de concevoir ($n = 100$), enceintes dans le premier ($n = 102$), le deuxième ($n = 110$) ou le troisième trimestre de grossesse ($n = 110$)

Nine nutrition-related areas	Groups					
	Not trying to conceive $n = 101$	Trying to conceive $n = 100$	Pregnant first trimester $n = 102$	Pregnant second trimester $n = 110$	Pregnant third trimester $n = 110$	Total $N = 523$
Healthy eating	4.63 \pm 0.08	4.65 \pm 0.07	4.79 \pm 0.07	4.75 \pm 0.07	4.80 \pm 0.07	4.72 \pm 0.03
Vegetables	4.48 \pm 0.09 ^a	4.64 \pm 0.10	4.71 \pm 0.07	4.78 \pm 0.08	4.86 \pm 0.07 ^b	4.66 \pm 0.04
Fruit	4.35 \pm 0.10	4.35 \pm 0.10 ^a	4.78 \pm 0.09 ^b	4.95 \pm 0.08 ^b	4.88 \pm 0.07 ^b	4.67 \pm 0.04
Bread	3.00 \pm 0.11	3.07 \pm 0.10	3.09 \pm 0.12	4.15 \pm 0.09	3.15 \pm 0.11	3.09 \pm 0.05
Dairy	3.67 \pm 0.13	3.87 \pm 0.13 ^a	4.54 \pm 0.11 ^b	4.64 \pm 0.09 ^b	4.50 \pm 0.11 ^b	4.26 \pm 0.05
Calorie intake	3.46 \pm 0.14	3.36 \pm 0.15 ^a	2.84 \pm 0.12	2.90 \pm 0.11	2.79 \pm 0.12 ^b	3.06 \pm 0.06
Saturated and unsaturated fats	3.74 \pm 0.12	3.95 \pm 0.12	3.75 \pm 0.12	3.82 \pm 0.12	4.65 \pm 0.10	3.78 \pm 0.05
Soft drinks	4.30 \pm 0.15	4.37 \pm 0.14	4.62 \pm 0.13	4.52 \pm 0.12	4.56 \pm 0.13	4.47 \pm 0.06
Breakfast	5.09 \pm 0.12	4.92 \pm 0.13	4.99 \pm 0.11	5.33 \pm 0.08	5.29 \pm 0.09	5.13 \pm 0.05

Groups with different letters differ significantly from each other on nutrition awareness scores (*post hoc* test $P = 0.05$).

La première colonne présente les neuf recommandations nutritionnelles proposées aux Pays-Bas ayant été intégrées dans le score de conscience nutritionnelle.

Les six colonnes suivantes présentent les scores (moyenne \pm erreur-type) obtenus pour chaque recommandation respectivement pour les femmes n'essayant pas de concevoir, essayant de concevoir, dans leur premier trimestre de grossesse, dans leur deuxième trimestre de grossesse, dans leur troisième trimestre de grossesse et pour l'ensemble des femmes incluses dans l'étude.

(Szwajcer *et al.*, 2012)

Retour au paragraphe [3.1.1](#) de l'introduction bibliographique

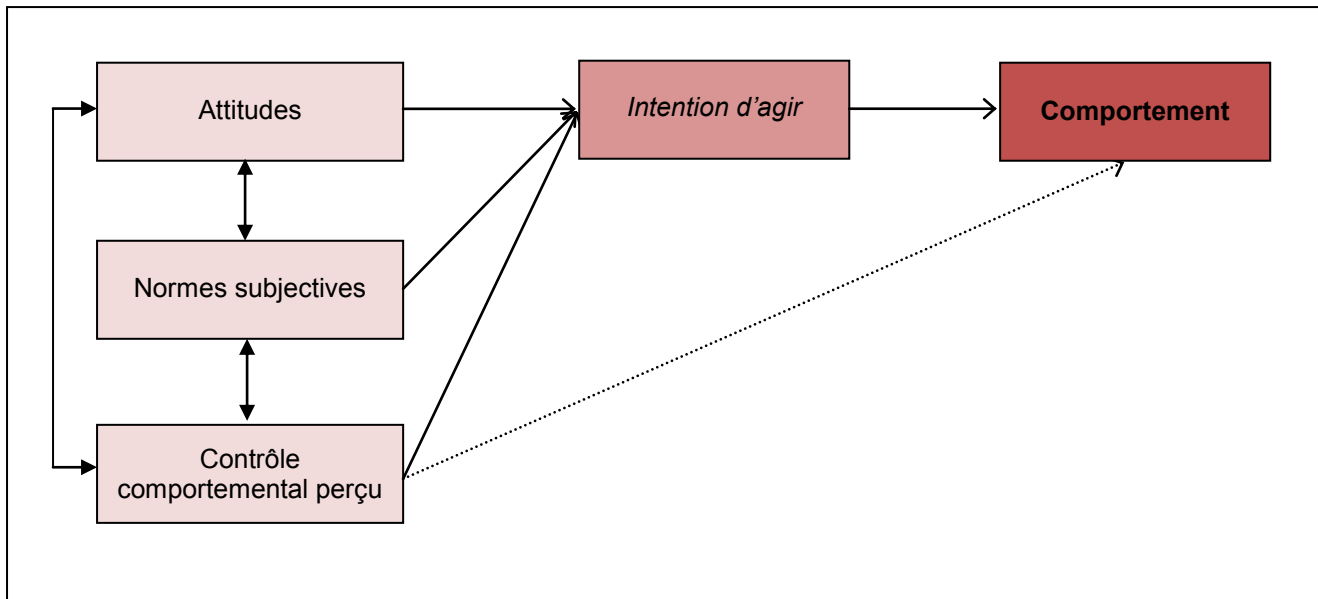


Figure 9. Schéma explicatif de la Théorie du Comportement Planifié proposé par Ajzen

Ce schéma est une synthèse simple de la théorie initialement proposée par Ajzen. Elle a depuis été enrichie par d'autres éléments intervenant en amont des attitudes, des normes subjectives et du contrôle comportemental perçu.

(D'après Ajzen, 1985, 1991)

Retour au paragraphe [3.2.1](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 10. Coefficients de corrélation de Pearson (r) entre les différents éléments de la Théorie du Comportement Planifié quant à l'adoption de recommandations nutritionnelles pendant la grossesse (n=189), et nombre d'observations (n), moyennes (M), écarts-types (SD) et étendues (range) observés pour chaque élément

Variable	r (p value)			n	M	SD	Range
	2	3	4				
Nutrition							
1. Intention	0.298 (<0.001)	0.376 (<0.001)	0.489 (<0.001)	189	1.841	1.075	-3.0 to 3.0
2. Attitude		0.363 (<0.001)	0.243 (<0.001)	186	14.618	7.860	-21.0 to 21.0
3. Subjective norm			0.377 (<0.001)	189	2.048	1.007	-3.0 to 3.0
4. PBC				189	4.762	2.709	-6.0 to 9.0

PBC, Perceived behavioral control

La première colonne présente les différents items de la Théorie du Comportement Planifié (TCP).

Les deuxième, troisième et quatrième colonnes présentent les coefficients de corrélation de Pearson entre les différents éléments de la TCP ainsi que la probabilité associée entre parenthèses. $P < 0,05$ est considérée comme significative.

(D'après Whitaker *et al.*, 2016c)

Retour au paragraphe [3.2.1](#) de l'introduction bibliographique

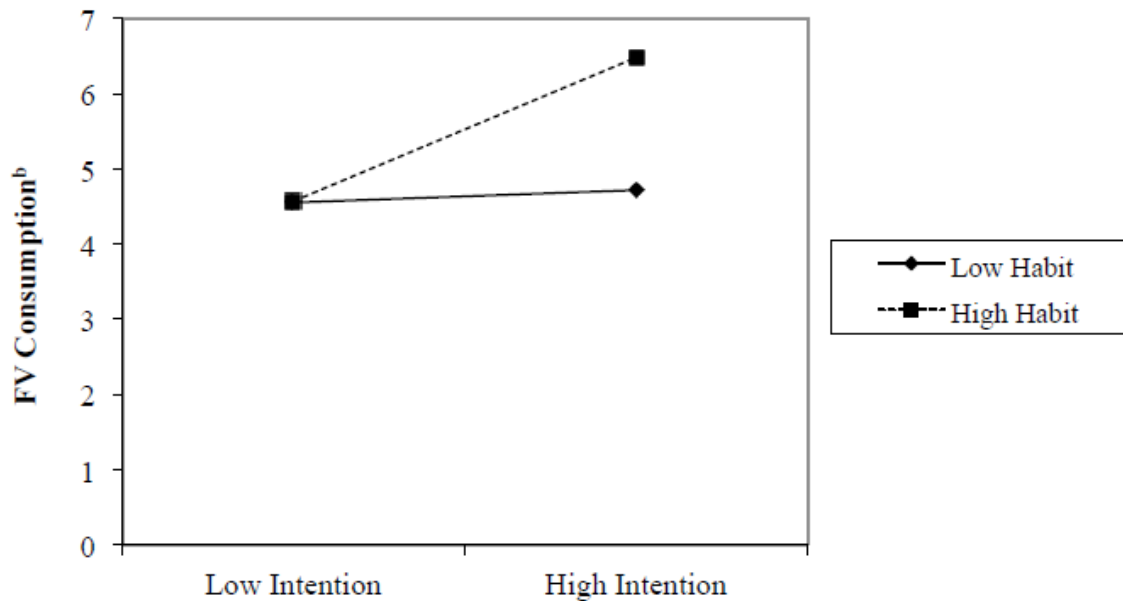


Figure 10. Effet de l'interaction entre l'habitude de consommation de fruits et légumes et l'intention de suivre la recommandation concernant la consommation de fruits et légumes sur la consommation effective de fruits et légumes

FV, Fruits and vegetables

La variable « habitudes (« habit ») » a été dichotomisée de la manière suivante : un niveau d'habitude élevé (« high habit ») correspondait aux valeurs supérieures à la moyenne plus un écart-type et un niveau d'habitude faible (« low habit ») correspondait aux valeurs inférieures à la moyenne moins un écart-type.

L'intention prédit de manière significative l'adoption du comportement à un niveau d'habitude élevé ($\beta = 0,955$, $P = 0,025$), mais pas à un niveau d'habitude faible ($\beta = 0,085$, $p = 0,752$)

(Mullan *et al.*, 2016)

Retour au paragraphe [3.2.1](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 11. Verbatim issus d'études qualitatives (entretiens¹ ou groupes de discussion²) portant sur le rapport à l'alimentation des femmes enceintes, illustrant trois catégories de motivations quant à l'adoption de comportements alimentaires sains : le bénéfice perçu pour l'enfant, le bénéfice perçu pour la mère et la réponse aux attentes de l'environnement social

Catégorie de motivations	Verbatim	Sources
Bénéfice perçu pour l'enfant	<i>"I'm now responsible for somebody else, so I have to be extra careful."</i>	Szwajcer ¹ et al., 2007
	<i>"I don't think they [the baby] would develop as well as they would if you were eating healthy, trying to give them all the food groups."</i>	Goodrich ¹ et al., 2013
	<i>"I would like to think that I have done everything possible to make sure that the baby is healthy and when it is born, has a healthy weight and is not being deprived of anything."</i>	Padmanabhan ¹ et al., 2015
	<i>"You are more engaged initially, since you don't want to do anything wrong."</i>	Wennberg ² et al., 2013
	<i>"I feel like I started off pregnancy very aware of the fact that if I wanted to have a healthy child, that I needed to take very good care of myself [...] And you know, a lot of people have very healthy children and do everything wrong, but I didn't want to take any risks."</i>	Copelton ¹ , 2007
	<i>"If you're not eating [fruits and vegetables], the baby won't be healthy."</i>	Hromi-Fiedler ¹ et al., 2016
Bénéfice perçu pour la mère	<i>"...long term, my own health as well. I'm quite aware of that... I don't want to die or have any lifestyle problem. I want to see my children grow up."</i>	Sui ¹ et al., 2013
	<i>"You can gain way too much weight, which is going to make you unhappy and unhealthy. Can give you high blood pressure, the hypertension, preeclampsia. You can get the diabetes from it. It's a very long list of things you can get from a really bad diet while you're pregnant."</i>	Whitaker ¹ et al., 2016a
	<i>"because I have to come back to my regular size when the baby comes out. That's constantly on my mind, like, don't overdo it because you want your figure back . I'm constantly just dwelling on that."</i>	Anderson ² et al., 2015
	<i>"it's gonna get to a point where I'm not gonna be a healthy person anymore. I'm gonna walk around always who knows, with asthma, diabetes, high cholesterol...and I'll be like oh my God, what did I do to myself? Because I did it to myself, nobody else did it to myself. So yeah, I do sit here and be like if I don't eat healthy and I'm constantly eating this junk food, what's gonna happen to me? I know in the long run, all that junk food affects you somehow."</i>	Hromi-Fiedler ¹ et al., 2016
	<i>"I like baking (instead of frying). I don't want heartburn. I don't want my stomach to feel like sharp pains to where I'm really, really hurt in the middle of the night. I don't wanna be so gassy."</i>	Reyes ¹ et al., 2013
	<i>"I feel healthier (now). My breathing is better, my vision is better . . . I just feel healthier."</i>	
Réponse aux attentes de l'environnement social	<i>"The list to me is so huge but like I was told a lot of things that a lot of other pregnant people don't follow but I follow. So if someone tells me no, I won't do it."</i>	Ferrari ² et al., 2013
	<i>"I did not know that I was supposed to take folic acid until she told me."</i>	Szwajcer ¹ et al., 2007
	<i>"I feel very guilty. I feel like a bad mom."</i>	Copelton ¹ , 2007
	<i>"Friends and those who have been pregnant before have told, yes, about all—air-dried ham and the unpasteurized cheese and the marinated salmon and such things you are not supposed to eat."</i>	Wennberg ² et al., 2013
	<i>"So I tasted a sip of wine from my friend, just a small sip, and a sip can't do any damage, I believe. And yes, it was at least five people that attacked me: 'How can you do that? Don't you understand you are hurting your baby?'"</i>	

Retour au paragraphe [3.2.2](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 12. Leviers et freins au suivi de recommandations alimentaires pendant la grossesse identifiés dans un échantillon de femmes enceintes vivant aux États-Unis et au Canada (n=189)

	N	%	Participant quote
Control beliefs—barriers			
Cravings	81	42.9	Cravings for unhealthy foods
Lack of time	66	34.9	Sometimes my schedule is hectic and I grab food that is convenient
Cost	37	19.6	Price of healthy foods
Lack of energy	22	11.6	Too tired to prep food and cook
Negative influence of others	19	10.1	Influence of others who think that because you are pregnant it's okay to eat unhealthy foods
Nausea	17	9.0	Morning sickness made it hard to eat most foods during the first trimester
Control beliefs—enablers			
Planning ahead	43	22.8	Keeping pantry stocked with healthy snacks
Support from others	35	18.5	Having someone else help out and cook healthy meals
Access	27	14.3	More access to healthy food options
Thinking about benefits to baby	20	10.6	Focusing on how eating healthy is the best thing to do for the baby
More money or cheaper cost	20	10.6	More affordable fresh foods
Enjoyment	20	10.6	I enjoy eating healthy foods

La première colonne présente les deux types de croyances relatives au contrôle du suivi de recommandations alimentaires durant la grossesse : les freins (« barriers ») et les leviers (« enablers »).

Les deuxième et troisième colonnes présentent le nombre et le pourcentage associé de femmes ayant cité cette croyance dans les questions ouvertes.

La quatrième colonne présente un extrait du discours d'une participante illustrant le frein ou le levier présenté dans la première colonne.

(D'après Whitaker *et al.*, 2016c)

Retour au paragraphe [3.2.2](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 13. Verbatim issus d'études qualitatives (entretiens¹ ou groupes de discussion²) portant sur le rapport à l'alimentation des femmes enceintes, illustrant les freins et les leviers à l'adoption d'une alimentation saine pendant la grossesse

	Verbatim	Sources	
FREINS	Envies	<i>“‘cause when you crave stuff it's like I've got to have that taste, so when I crave things, that's what makes it hard for me to stay to the vegetables and the fruits and things. And sometimes I slip and go get the bag of chips and the stuff and eat them 'cause I'm craving it.”</i>	Goodrich ¹ et al., 2013
	Troubles digestifs	<i>“I think honestly that's why I felt sick too, because I was eating things like, um, shredded wheat ... I just, I had to quit because I just, you know, how you, you're forcing yourself to eat something that grosses you out.”</i>	Copelton ¹ , 2007
	Manque d'énergie	<i>“When I get tired, I eat more of the fast food. 'Cause it's more of, 'I'm not cooking tonight, we're going to find something to eat outside.' ... a Chinese store, a pizza store. Or something quick, like a TV dinner.”</i>	Reyes ¹ et al., 2013
	Influence négative de l'entourage	<i>“She [mom] gave me the portion. I was like, 'Whoa, this is a lot.' She was like, 'Oh, you're eating for two! It's not that much.”</i>	Reyes ¹ et al., 2013
	Manque de temps	<i>“We tend to eat a lot of convenience food because I'm working full time and more things like fish fingers, chicken nuggets [...] its always just whatever is. Often women juggled work and family commitments during in the freezer type of things.”</i>	Padmanabhan ¹ et al., 2015
	Prix	<i>“In a perfect world this would be good for a family who has the financial income. But for a person that don't have financial income to eat like this, that won't happen. I mean it's very expensive to eat healthy.”</i>	Whitaker ¹ et al., 2016a
	Accès	<i>“at work it (healthy eating) is really hard because the kind of food they serve there is (not healthy)...”</i>	Sui ¹ et al., 2013
	Préférences et habitudes alimentaires non saines	<i>“I mean people are picky... Like they're so used to eating things from their culture that they won't go outside the box...”</i>	Hromi-Fiedler ¹ et al., 2016
	Préférences alimentaires des autres membres du foyer	<i>“You have to feed them (husband and children), and they don't want to eat a leafy salad with light dressing or none. They'll look at you like, 'No', where's my steak ... cheese.”</i>	Chang ² et al., 2008
Informations conflictuelles	<i>“There's lots of different information in terms of diet, what you can, can't eat. And I've got the basic information off the midwife, and after the midwife says, 'Oh, you're fine with most things as long as you avoid, you know, pates and the cheese'. But having gone on the N.H.S. website, there's a whole extra list of other things. Then you look at... you Google it and you come up with the Australian website, which has three times as many things on there.”</i>	Atkinson ¹ et al., 2016	

LEVIERS	Prévoir à l'avance	<i>"I try to eat at home before I go like places where I don't really know how the food's going to be. I try to either bring my own food, it depends, or try to eat something at home before I go to other places, so I won't be tempted to eat the bad food for me or whatever."</i>	Goodrich ¹ et al., 2013
	Soutien de l'entourage	<i>"Support of the family [to start eating fruits and vegetables again], I think. If I have a good family, as I have, I think it is the best thing to do. Call my mom or call someone. "Can you help me?" ...There's some ways so, "I want to start again. Can you come and help me? Can you give me a supper to try to begin everything again?"</i>	Hromi-Fiedler ¹ et al., 2016
	Se recentrer sur ses motivations : le bénéfice pour l'enfant	<i>"The reason why I say willpower is because right now I have willpower for my child, because like I said I want her to come into this world, at least have a fighting chance to come out and, you know, have her own eating habits instead of me killing her with mine."</i>	Whitaker ¹ et al., 2016a
	Le plaisir	<i>"I like baking (instead of frying)."</i>	Reyes ¹ et al., 2013
	Habitudes alimentaires déjà saines	<i>"I have never been one month without eating fruits, I don't think I could. If one day I have not eaten any fruits or vegetables I feel the need to eat it, so I think that after a month my body would feel strange. I would have to return to the habit of eating fruits."</i>	Hromi-Fiedler ¹ et al., 2016
	Montrer l'exemple à ses enfants	<i>"You got to lead by example. So I can't be over here eating on a big greasy corn dog and expect him to eat his little green leafy salad."</i>	Goodrich ¹ et al., 2013
	Constat d'une prise de poids non excessive par rapport à leurs attentes	<i>"I think it's more because of my diet and everything and the way I am eating and I can actually see that you know it is working, not eating too much, I mean I've put weight on obviously on your breast I mean because of your breast milk and tummy because of the baby, but other than that I've not really put much on in other areas and still have a waist."</i>	Padmanabhan ¹ et al., 2015
	Disponibilité d'informations crédibles sur l'alimentation pendant la grossesse	<i>"... Starting with the book they [healthcare providers] give you at your first visit, using that as a reference book throughout my pregnancy and afterwards. I kept going back."</i>	Anderson ² et al., 2015

Retour au paragraphe [3.2.2](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 14. Consommations alimentaires médianes (en g/j) de groupes d'aliments durant l'année précédant la grossesse et durant la grossesse de 249 femmes participant à la cohorte mère-enfant Geração XXI à Porto (Portugal) entre décembre 2004 et décembre 2005

Food group†	Preconceptional food intake (FFQ1)		Food intake during pregnancy (FFQ2)		Difference		P‡
	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	
Milk and dairy products	387.5	267.0, 735.0	691.8	384.7, 923.5	196.1	0.0, 423.4	<0.001
Eggs	22.2	7.4, 22.2	11.1	7.4, 22.2	0.0	-7.4, 0.0	0.014
White meat	51.4	25.7, 68.6	51.4	25.1, 59.4	0.0	-25.7, 8.3	0.016
Red meat	68.0	55.9, 84.6	62.4	51.4, 74.1	-4.7	-31.0, 9.9	<0.001
Fish	60.2	38.1, 94.4	65.1	40.8, 98.0	0.0	-21.9, 27.9	0.544
Fats	12.7	8.2, 17.6	13.6	7.8, 21.5	0.0	0.0, 0.0	0.032
Bread	123.3	91.0, 157.6	131.4	92.3, 179.7	8.1	-42.9, 64.2	0.046
Rice, pasta, potatoes	172.1	132.9, 214.3	161.4	118.6, 199.1	-4.3	-62.3, 35.7	0.047
Sweets	65.2	37.8, 97.0	54.3	29.5, 93.1	-4.3	-39.6, 27.5	0.121
Vegetables	126.5	76.9, 188.2	124.8	69.5, 221.1	4.2	-52.0, 66.2	0.325
Fruits	313.3	226.5, 434.5	336.2	233.0, 498.9	21.5	-83.4, 159.8	0.029
Fast food	25.1	8.0, 48.1	17.1	8.0, 38.4	-3.3	-20.6, 9.1	0.001
Soup	231.8	65.8, 295.0	295.0	126.4, 295.0	0.0	0.0, 168.6	<0.001
Alcoholic beverages	0.0	0.0, 22.0	0.0	0.0, 0.0	0.0	-17.9, 0.0	<0.001
Coffee and tea	101.6	19.3, 128.3	45.0	0.0, 60.8	-15.8	-101.6, 0.0	<0.001
Soft drinks and fruit juices	258.0	106.6, 519.2	131.5	29.7, 285.5	-85.7	-206.7, 43.7	0.122

IQR, interquartile range.

†Food groups as defined by Erkkola *et al.*⁽³⁹⁾.

‡P values calculated using the Wilcoxon signed-rank test.

La première colonne présente les groupes d'aliments considérés dans l'analyse.

Les deuxième et troisième colonnes présentent respectivement la médiane et l'écart interquartile des consommations pour le groupe d'aliments considéré durant la période préconceptionnelle.

Les quatrième et cinquième colonnes présentent respectivement la médiane et l'écart interquartile des consommations pour le groupe d'aliments considéré durant la grossesse.

Les sixième et septième colonnes présentent respectivement la médiane et l'écart interquartile des différences de consommations entre la période préconceptionnelle et la grossesse pour le groupe d'aliments.

La huitième colonne présente la probabilité issue du test des rangs signés de Wilcoxon visant à déterminer si la différence entre les médianes est différente de 0 (ce test a été utilisé car les observations sont appariées et non-normalement distribuées). $P < 0,05$ est considérée comme significative.

(Pinto *et al.*, 2009)

Retour au paragraphe [3.3.1](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 15. Verbatim issus d'études qualitatives (entretiens¹ ou groupes de discussion²) portant sur le rapport à l'alimentation des femmes enceintes, illustrant les modifications individuelles de l'alimentation pendant la grossesse réparties en trois grands thèmes : les modifications alimentaires engendrées par les changements physiologiques liés à la grossesse, les modifications alimentaires contraintes par les restrictions alimentaires spécifiques de la grossesse et les modifications alimentaires mises en place pour adopter une alimentation saine

Modifications alimentaires...		Verbatim	Sources
Engendrées par les changements physiologiques liés à la grossesse	Choisir des aliments limitant les troubles digestifs	<i>"[The midwife] told me when I had nausea, 'Well, better to eat a hamburger or a pizza, [than nothing]. The main thing is that you can eat something. "</i>	Wennberg ² et al., 2013
		<i>"[I used to eat] a lot of processed foods, fried foods, but now, I can't even take fried foods. I'll have heartburn for hours, and it's just horrible. "</i>	Reyes ¹ et al., 2013
	Satisfaire des envies irrésistibles	<i>"My thing is macaroni and cheese. I could eat macaroni and cheese with anything. Breakfast, lunch, dinner—macaroni and cheese. I crave it. I think this is my body craving for proteins and whatever I am not getting from other foods. "</i>	Groth et Morrisson-Beedy ² , 2013
Contraintes par les restrictions alimentaires spécifiques de la grossesse	Arrêt de la consommation d'alcool	<i>"And I also obviously stopped drinking because I was still drinking because I didn't know I was pregnant. "</i>	Atkinson ¹ et al., 2016
	Limiter la consommation de boissons contenant de la caféine	<i>"and I thought I should have to sacrifice something, you know. So I thought well, I'll give up my caffeine..."</i>	Copelton ¹ , 2007
	Arrêt de la consommation de produits animaux crus ou peu cuits et de fromages au lait cru	<i>"about all — air-dried ham and the unpasteurised cheese and the marinated salmon and such things you are not supposed to eat. "</i>	Wennberg ² et al., 2013
Mises en place pour adopter une alimentation saine	Augmentation de la consommation de fruits et légumes	<i>"I've been watching what I eat. I've been trying more fresh fruits and vegetables. "</i>	Anderson ² et al., 2015
	Augmentation de la consommation de produits laitiers	<i>"Well I drink a lot of milk [now] and I don't like milk. "</i>	Copelton ¹ , 2007
	Diminution de la consommation d'aliments gras	<i>"I used to eat eggs, bacon, home fries for breakfast, but it's a lot of grease and oil. Now, I just don't wanna eat it . . . I think it might be bad for the baby. "</i>	Reyes ¹ et al., 2013
	Choix d'aliments sains pour leurs collations	<i>"My partner also eats healthier snacks because of my being pregnant. "</i>	Szwajcer ¹ et al., 2007
	Diminution de la consommation de plats préparés	<i>"I'll make my own lunch. I'll bring soup or something cooked from the night before. "</i>	Reyes ¹ et al., 2013

Retour au paragraphe [3.3.2](#) de l'introduction bibliographique

Tableau 16. Quelques interventions proposant des conseils alimentaires pendant la grossesse : population incluse, nature des conseils alimentaires, critère(s) d'évaluation et effet(s) de l'intervention sur l'alimentation et le(s) autres critère(s) d'évaluation

Retour aux paragraphes [4.1](#), [4.2](#), ou [4.3](#) de l'introduction bibliographique

Étude	Population		Conseils alimentaires		Critère(s) d'évaluation ³	Effet(s) de l'intervention sur...	
	Nombre ¹	Caractéristiques ²	Type et contenu	Moyen(s) employés		l'alimentation	Autres critère(s) d'évaluation ⁴
Asbee, 2009 (États-Unis)	144 (-44) [I : 57/ T : 43]	IMC (moyenne) : surpoids	Conseils alimentaires génériques individualisés : choix alimentaires spécifiques pour la grossesse, conseils donnés pour atteindre un apport énergétique, spécifique à chaque femme, équilibré entre glucides, protéines et lipides (40 %, 30 % et 30 % respectivement)	1 session unique à l'inclusion (14 SG en moyenne) (diététicien)	Prise de poids de la mère Mode d'accouchement Poids de l'enfant Incidence pré-éclampsie, diabète gestationnel, lacérations périnéales ou vaginales, et dystocies des épaules	Pas de données alimentaires collectées	I : Moindre prise de poids de la mère que T ($\Delta=-3,1$ kg)
Briley, 2002 (États-Unis)	27 [I : 15(-3) /T : 12(-2)]	<i>Faible revenu Afro-Américaine</i> IMC (moyenne) : normal	Conseils génériques individualisés (pyramide alimentaire, prise de poids cible, discussion apports et besoins nutritionnels spécifiques de grossesse)	6 à 10 sessions (5 obligatoires) en face-à-face à domicile (diététicien)	Poids de l'enfant Prise de poids de la mère	I : augmentation des apports en fer (2 x 3 rappels de 24h (1 ^{ère} et 5 ^e sessions))	I : Poids de l'enfant supérieur à T (+480g)
Dodd, 2014, 2016 (Australie)	2 212 [I : 1108(-163) /T : 1104 (-176)]	<i>Obèse ou en surpoids</i>	I : Conseils alimentaires génériques individualisés selon les recommandations australiennes : équilibre entre glucides, protéines et lipides, limiter la consommation d'aliments riches en sucres raffinés et AGS, augmenter la consommation d'aliments riches en fibres, manger 2 portions de fruits, 5 de légumes et 3 de produits laitiers par jour. Programme alimentaire avec recettes saines et rapides et modes de préparation sains. Conseils sur l'activité physique ⁵	I (I ₁ + I ₂) : 2 sessions en face-à-face à l'inclusion (14 SG en moyenne) et à 28 SG (diététicien) + 4 sessions à 22, 24 et 32 SG par téléphone et à 36 SG en face-à-face (assistant de recherche formé)	Consommation de groupes d'aliments Apports nutritionnels Qualité de l'alimentation (HEI) Index et charge glycémiques du régime Activité physique Poids et taille de l'enfant Périmètre crânien, brachial, abdominal et thoracique de l'enfant Épaisseurs des plis cutanés Pourcentages de masse maigre et grasse	I ⁶ : augmentation des consommations de fruits [†] et de légumes [†] supérieure à T. Augmentation apports en fibres [†] , calcium [†] , potassium [†] , vitamines A [†] , B2 [†] , C [†] et folates [†] et diminution énergie apportée par AGS [†] supérieure à T. Augmentation du HEI [†] supérieure à T. (4 QFA à l'inclusion, 28 et 36 SG et 4 mois après accouchement)	

Tableau 16 (suite)

Étude	Population		Conseils alimentaires		Critère(s) d'évaluation ³	Effet(s) de l'intervention sur...	
	Auteur, date (Pays)	Nombre ¹	Caractéristiques ²	Type et contenu		Moyen(s) employés	l'alimentation
Hawkins, 2015 (États-Unis)	68 [I : 33(-9)/ T : 35(-6)]	Obèse ou en surpoids Hispanique	Conseils alimentaires génériques selon les recommandations de l' <i>American Dietetic Association</i> : diminution des apports en AGS et augmentation apports en fibres Conseils sur l'activité physique Personnalisation selon le rapport au changement de comportement	6 sessions mensuelles de conseils (face-à-face) et 5 sessions de motivation (téléphone)	Activité physique Apport énergétique, énergie apportée par les lipides, apports en fibres Prise de poids de la mère Poids de la mère 6 semaines post-partum Biomarqueurs résistance à l'insuline chez la mère	I : apports en fibres augmentés entre inclusion et milieu de grossesse (3x3 rappels de 24h : inclusion (20 SG env), milieu de grossesse (24-28 SG) et 6 semaines post-partum)	I : augmentation de l'activité physique d'intensité vigoureuse supérieure à T
Hui, 2014 (Canada)	113 [I : 57/ T : 56]	Tout IMC mais stratification de l'analyse par catégories d'IMC (normal et supérieur à 25kg/m ²)	Programme alimentaire personnalisé aux choix alimentaires et aux apports en énergie et macronutriments selon les recommandations canadiennes pour la grossesse. Conseils sur l'activité physique	2 sessions en face-à-face entre 20 et 26 SG puis 2 mois plus tard (diététicien) Entraînements collectifs (1/semaine, facultatif)	Prise de poids de la mère Activité physique Apports nutritionnels Poids de l'enfant Incidence diabète gestationnel Incidence césarienne	I (IMC normal) : apports en énergie, glucides, lipides, AGS et cholestérol inférieurs à T (2x3 enregistrements de 24h à l'inclusion et 2 mois plus tard) I (IMC>25kg/m ²) : mêmes résultats sauf pour les glucides	I (IMC normal) : prise de poids ($\Delta=-3,3$ kg) et poids de naissance ($\Delta=-277$ g) inférieurs à T (IMC normal) I (IMC>25kg/m ²) : aucun effet
Jackson, 2011 (Etats-Unis)	321 [I : 158 (-24)/ T : 163 (-10)]	IMC (moyenne) : surpoids	I : Conseils alimentaires génériques visant à augmenter la consommation de F&L, de produits céréaliers complets et de MG identifiées comme « saines » et à diminuer celle de produits sucrés. Conseils adaptés aux consommations alimentaires déclarées (18 sous-groupes d'aliments) et à la motivation. Conseils sur l'activité physique	2 sessions : - 1 à l'inclusion (15 min) avec un programme informatique générant des vidéos de conseils sur le mode de vie adaptés en fonction des réponses à 41 questions (dont 18 sur l'alimentation) - 1 session de motivation avec le même programme 4 semaines plus tard.	Consommation de groupes d'aliments Activité physique (fréquence et durée) Connaissances en alimentation Connaissances des recommandations sur la prise de poids Prise de poids de la mère	I : Augmentation des consommations de F&L, céréales complètes, « poisson, avocat et noix », et diminution de celles de MG solides et aliments frits supérieures à T. Diminution de la consommation de repas de restauration rapide, viandes grasses, céréales raffinées et aliments sucrés (pas différent de T) (2 QFA renseigné à chaque session)	I : Prévalence de la connaissance des recommandations sur la prise de poids supérieure à T. Augmentation de la durée de l'activité physique. Augmentation de la connaissance des recommandations alimentaires supérieure à T.

Tableau 16 (suite)

Étude	Population		Conseils alimentaires		Critère(s) d'évaluation ³	Effet(s) de l'intervention sur...	
	Auteur, date (Pays)	Nombre ¹	Caractéristiques ²	Type et contenu		Moyen(s) employés	l'alimentation
Khoury, 2005 (Norvège)	290 [I : 141 (-14)/ T : 149 (-7)]	<i>Non fumeuse depuis au moins 5 ans</i>	<p>I + T : Conseils alimentaires génériques individualisés proposant un programme alimentaire avec un apport énergétique (défini pour chaque patiente pour une prise de poids de 8-14kg) réparti entre 32% de lipides, 16-17% de protéines et 50-51% de glucides.</p> <p>I : <8% de l'énergie apportée par les AGS, 8-9% par les AGPI, 16-17% par les AGMI et <150mg/j de cholestérol.</p> <p>Encouragement à la consommation de F&L (6/j), poissons gras, MG végétales, au choix de produits laitiers et viandes maigres, à la limitation de la consommation de viande rouge.</p>	<p>I + T : 4 sessions : inclusion (17-20 SG) et 24, 30 et 36 SG.</p> <p>I : Cours de cuisine</p>	<p>Apports nutritionnels</p> <p>Cholestérolémie maternelle, néonatale et dans le cordon ombilical</p> <p>Complications de grossesse : RCIU, accouchement prématuré, hypertension</p> <p>Prise de poids de la mère</p> <p>Poids de l'enfant</p>	<p>I : Apport énergétique, pourcentage d'énergie apporté par les lipides, les AGS et les sucres et apport en cholestérol moins élevés et pourcentage d'énergie apportée par les protéines, les AGPI, les AGMI et les glucides et apports en vitamines C, D et E et magnésium plus élevés que pour T.</p> <p>(16 jours enregistrements des consommations avec pesée : 4 à 19-24 SG, 6 à 24-30 SG et 6 à 30-36 SG)</p>	<p>I : Taux de cholestérol total, LDL et HDL maternels inférieurs à T.</p> <p>Incidence accouchement prématuré inférieure à T.</p>
Korpi-Hyövälti, 2012 (Finlande)	54 [I : 27 (-10)/ T : 27 (-9)]	<i>Au moins un facteur de risque de diabète gestationnel</i>	<p>I : Conseils alimentaires génériques individualisés selon les recommandations finlandaises (diabète): régime avec un apport énergétique 25-30kcal/kg/j (selon IMC) réparti entre 50% de glucides, 30% de lipides, 15-20% de protéines, <10% d'AGS, et 15g de fibres /1000kcal.</p> <p>Incitation à la consommation de F&L, de produits laitiers et viandes maigres, de MG végétales et de produits céréaliers complets.</p> <p>Conseils sur l'activité physique</p> <p>T : Informations très générales sur le mode de vie dans le cas du diabète gestationnel.</p>	<p>I : 6 sessions en face-à-face (4 au 1^{er} et 2^e trimestre et 2 au 3^e trimestre) (diététicien)</p> <p>T : 1 session (infirmière)</p>	<p>Consommation de groupes d'aliments</p> <p>Apports nutritionnels</p> <p>Rapport à l'alimentation de la mère (Three Factor Eating Questionnaire)</p> <p>Prise de poids de la mère</p> <p>Poids de l'enfant</p>	<p>I : Augmentation du pourcentage d'énergie apportée par les AGPI supérieure à T.</p> <p>Augmentation de la consommation de MG végétales (3 x 1 enregistrement des consommations à 7-12 SG, 26-28 SG et 36-40 SG)</p>	<p>I : Poids de l'enfant supérieur à T (+380 g)</p>

Tableau 16 (suite)

Étude	Population		Conseils alimentaires		Critère(s) d'évaluation ³	Effet(s) de l'intervention sur...	
	Auteur, date (Pays)	Nombre ¹	Caractéristiques ²	Type et contenu		Moyen(s) employés	l'alimentation
Opie, 2016 (Australie)	217 [I : 92/ T : 125]	<i>Obèse (IMC = 30-35 kg/m² sauf si origine asiatique > 27kg/m²)</i>	Conseils alimentaires génériques individualisés selon les recommandations du <i>Australian Guide to Healthy Eating</i> : consommation des portions normales lors des repas et collations, remplacement d'aliments « pauvres en nutriments et riches en énergie » par des options plus saines, nutriments-clés pendant la grossesse.	1 session (1h) en face-à-face entre 13 et 21 SG puis entretiens par téléphone toutes les 3-4 semaines pour réaffirmer/ modifier les objectifs alimentaires (diététicien)	Incidence du diabète gestationnel Prise de poids de la mère Qualité de l'alimentation (évaluée par l'augmentation de la consommation de certains groupes d'aliments et la diminution d'autres)	I : augmentation du nombre de femmes consommant le nombre de portions recommandé de F&L. Diminution de la consommation d'aliments « pauvres en nutriments et riches en énergie » (2 x histoire alimentaire : inclusion (13-21 SG) et 36 SG)	I : prévalence moins importante du diabète gestationnel dans la population totale (plus d'effet après ajustement sur l'origine ethnique et l'IMC)
Poston, 2015 (Royaume-Uni)	1555 [I : 772 (-1)/ T : 783]	<i>Obèse</i>	I : Conseils alimentaires génériques avec objectifs individualisés visant à réduire la charge glycémique du régime (remplacer les aliments riches en glucides à fort IG par d'autres à faible IG) et à diminuer la consommation d'aliments riches en AGS. Adaptation à la motivation quant au changement de comportement alimentaire et aux habitudes alimentaires. Conseils sur l'activité physique	I : 1 session individuelle obligatoire en face-à-face (1h, formateur en santé) + 8 sessions individuelles ou en groupe 1 fois/semaine facultatives (1h, formateur en santé)	Incidence du diabète gestationnel Tolérance au glucose Poids de l'enfant Prise de poids de la mère Apports nutritionnels (macronutriments) Activité physique Glycémie, insulinémie, cholestérolémie (total, HDL, LDL) et triglycéridémie à jeun	I : Apport calorique, IG et charge glycémique du régime, et pourcentage d'énergie apportée par les glucides, les lipides et les AGS inférieurs à T en post-intervention. Pourcentage d'énergie apporté par les protéines et des apports en fibres supérieurs à T en post-intervention. (2 QFA à 15-18 SG et à 27-28 SG)	I : Prise de poids ($\Delta=-0,6$ kg) inférieure à T. Épaisseur des plis cutanés inférieure à T (27-28 SG et 34-36 SG seulement) Durée activité physique hebdomadaire supérieure à T en post-intervention
Quinlivan, 2011 (Australie)	132 [I : 67(-4) /T : 65 (-4)]	<i>Obèse ou en surpoids</i>	Pas d'informations spécifiques sur le contenu	Informations diététiques brèves (5min) avant chaque visite prénatale (ingénieur agro-alimentaire)	Tolérance au glucose et incidence diabète gestationnel Poids de l'enfant Prise de poids de la mère	I : augmentation du nombre de femmes consommant des F&L et plats faits maison et diminution de celles consommant des sodas, jus de fruits et plats de restauration rapide (énumération des consommations de la veille : 1^{ère} et dernière visites prénatales (I seul)	I : Diminution du risque de présenter une intolérance au glucose et un diabète gestationnel de 83% par rapport à T Prise de poids inférieure à T ($\Delta=-6,7$ kg)

Tableau 16 (suite)

Étude	Population		Conseils alimentaires		Critère(s) d'évaluation ³	Effet(s) de l'intervention sur...	
	Auteur, date (Pays)	Nombre ¹	Caractéristiques ²	Type et contenu		Moyen(s) employés	l'alimentation
Sagedal, 2017 (Norvège)	606 [I : 303(-100)/ T : 303(-115)]	IMC (moyenne) : normal	Conseils alimentaires génériques basés sur 10 recommandations : manger régulièrement les repas habituels – boire de l'eau – privilégier les F&L pour les collations – manger des légumes à chaque dîner – manger des confiseries rarement – acheter des aliments « non-sains » en petite portion – limiter les apports en sel – en sucres ajoutés – ne pas manger plus que sa faim – lire les étiquettes avant d'acheter des aliments. Conseils sur l'activité physique	2 sessions téléphoniques espacées de 4 à 6 semaines (médecin, diététicien ou étudiant en santé publique) Entraînements collectifs (2/semaine, facultatif)	Prise de poids de la mère Poids de l'enfant Proportion d'enfants de poids de naissance > 4kg Glycémie maternelle à jeun (30SG) Pourcentage de masse grasse maternelle (36SG) Incidence de césariennes Poids supplémentaire conservé après la grossesse Activité physique (score IPAQ) Qualité de l'alimentation (Nordic Fit For Delivery score)	I : Score de qualité de l'alimentation supérieur à T en fin de grossesse seulement (5 QFA : inclusion (14 SG), fin de grossesse (36 SG) et 2, 6 et 12 mois post-partum)	I : Prise de poids inférieure à T (Δ=-1,3 kg)
Thornton, 2009 (États-Unis)	257 [I : 133 (-17)/ T : 124 (-8)]	Obèse	I + T : conseils alimentaires génériques. I : Conseils plus détaillés et individualisés pour un programme alimentaire selon les recommandations pour le traitement diététique du diabète gestationnel : 18-24kcal/kg avec 30%, 40% et 30% de l'énergie apportée par les protéines, les glucides et les lipides.	I + T : 1 session au minimum (diététicien)	Prise de poids de la mère Perte de poids après l'accouchement Incidence diabète gestationnel, cétonurie, prééclampsie, hypertension, césarienne, déclenchement et accouchement prématuré Poids de l'enfant Score APGAR I : Adhérence au régime prescrit (évalué par carnet alimentaire)	Pas de données alimentaires collectées	I : Poids de la mère en fin de grossesse inférieur à T (Δ=-9,1 kg) Incidence de l'hypertension inférieure à T. I (« adhérentes ») : Poids de l'enfant, prise de poids de la mère, incidence de l'hypertension, du diabète gestationnel, de la césarienne, du déclenchement, et de la macrosomie inférieurs à I (« non-adhérentes »)

Tableau 16 (suite)

Étude	Population		Conseils alimentaires		Critère(s) d'évaluation ³	Effet(s) de l'intervention sur...	
	Auteur, date (Pays)	Nombre ¹	Caractéristiques ²	Type et contenu		Moyen(s) employés	l'alimentation
Vinter, 2011 (Danemark)	360 [I : 180(-30)/ T : 180 (-30)]	<i>Obèse</i>	Conseils alimentaires génériques basés sur les recommandations danoises. Conseils sur l'activité physique	4 sessions en face-à-face à 15, 20, 28 et 35 SG (diététicien) Entraînements collectifs (1/semaine, facultatif)	Prise de poids de la mère Incidence hypertension, pré-éclampsie, diabète gestationnel Poids de l'enfant Admission de l'enfant dans un service de néonatalogie	Pas de données alimentaires collectées. I : 85% déclarent une alimentation plus saine depuis leur participation contre 21% dans T	
Walsh, 2012 (Irlande)	800 [I : 394 (-11)/ T : 406 (-8)]	<i>Femme enceinte de leur 2^e enfant et dont le 1^{er} enfant avait un poids de naissance >4kg</i>	I : Conseils génériques selon les recommandations irlandaises (pyramide alimentaire) et pour un régime avec un faible IG (incitation au choix d'aliments ayant un faible IG et au remplacement d'aliments à fort IG par d'autres à faible IG) Incitation à la non-diminution des apports énergétiques.	I : 2 sessions : - 1 session (2h) par groupe de 2 à 6 femmes à inclusion (16 SG en moyenne) - 1 session à 28 SG (pas de précision sur la durée et le nombre de femmes) (diététicien)	Poids de l'enfant Prise de poids de la mère Tolérance au glucose	I : IG et charge glycémique du régime et apport énergétique inférieurs à T au 2 ^e et 3 ^e trimestres. Apports en fibres supérieurs à T au 3 ^e trimestre. (3 x 3 jours carnet alimentaire inclusion, 2 ^e et 3 ^e trimestre)	I : Prise de poids inférieure à T ($\Delta=-1,3$ kg) Meilleure tolérance au glucose à 28 SG
Wolff, 2008 (Danemark)	66 [I : 28 (-5)/ T : 38 (-11)]	<i>Obèse</i>	Conseils alimentaires génériques individualisés selon les recommandations danoises avec un apport énergétique (défini pour chaque patiente pour une prise de poids de 6-7kg) réparti entre 15-20% de protéines, 50-55% de glucides et 30% de lipides maximum.	10 sessions (1h) au cours de la grossesse (diététicien)	Prise de poids de la mère Insulinémie, leptinémie et glycémie à jeun Apports nutritionnels (macronutriments) Poids conservé 4 semaines post-partum	I : augmentation du pourcentage d'énergie apportée par les glucides et les protéines et diminution de celui apporté par les lipides supérieure à T (3 x 7 jours d'enregistrement des consommations avec pesée à l'inclusion et à 27 et 36 SG)	I : Prise de poids inf. à T ($\Delta=-6,7$ kg) Poids conservé 4 semaines post-partum inférieur à T. Augmentation des concentrations en s-leptine et s-insuline (27 et 36 SG) et de la glycémie à jeun (36 SG) inférieure à T.

AGPI : Acides Gras Polyinsaturés ; AGS : Acides Gras Saturés ; F&L : Fruits et Légumes ; HEI : Healthy Eating Index ; I : groupe intervention ; IG : Index Glycémique ; IMC : Indice de Masse Corporelle ; MG : matières grasses ; QFA : Questionnaire de Fréquence Alimentaire ; RCIU : Retard de Croissance Intra-Utérin ; SG : semaine(s) de gestation ; T : groupe témoin.

¹ Nombre total (I : nombre de participantes incluses dans le groupe intervention (nombre de perdues de vue) / T : nombre de participantes incluses dans le groupe témoin (nombre de perdues de vue))

² Les caractéristiques présentées en italique font partie des critères d'inclusion.

³ Le critère d'évaluation principal, s'il a été défini, est présenté en gras.

⁴ Dans le cas où aucun effet (variation au sein du groupe ou différence entre le groupe I et le groupe T) n'a été observé, rien n'est mentionné dans cette case.

⁵ Les conseils relatifs à l'activité physique ne sont pas détaillés dans ce tableau. Cependant, tout comme pour les conseils alimentaires, l'implication nécessaire et l'intensité de l'intervention pour la partie « activité physique » est très variable selon les études.

⁶ Les différences observées entre les groupes mentionnées dans cette case sont soit globales (†), c'est-à-dire incluant les 4 temps d'évaluation, soit observées à 28 et 36SG (*).



Figure 11. Exemple d'une semaine alimentaire « habituelle » renseignée par un individu sur le tableau proposé par l'outil Food Choice Map

(Shuaibi *et al.*, 2008)

Retour au paragraphe [4.3.2](#) de l'introduction bibliographique

$$PA = F \left(\frac{\bar{y} - r}{\sqrt{SDr^2 + (SDy^2/n)}} \right)$$

<p>F : fonction « probnorm » utilisée dans SAS \bar{y} : apport moyen en un nutriment donné r : valeur de la recommandation nutritionnelle utilisée pour ce nutriment SDr^2 : variabilité inter-individuelle définie pour ce nutriment SDy^2 : variabilité journalière de l'apport pour ce nutriment n : nombre de jours de recueil alimentaire</p>
--

Figure 12. Formule de calcul d'une probabilité d'adéquation nutritionnelle (PA) utilisée dans le calcul du PANDiet

Dans le cas des probabilités d'adéquation nutritionnelle composant le sous-score d'Adéquation, la formule utilisée pour chaque nutriment est celle présentée ci-dessus.

Dans le cas des probabilités d'adéquation nutritionnelle composant le sous-score de Modération, la formule utilisée pour chaque nutriment est égale à $1 - PA$.

(D'après Verger *et al.*, 2012)

Retour au paragraphe [1.1.1](#) de la justification des travaux

PANDiet score			
Average of Adequacy and Moderation sub-scores			
Adequacy Sub-score		Moderation Sub-score	
Item	Reference value	Variability	Ref.
Protein	0,66 g/kg	12,50%	26
Total Carbohydrate	45 % EIEA	0%	30
Total Fat	30 % EIEA	0%	27
PUFA	5 % EIEA	15%	27
Fibre	25 g	15%	25
Vitamin A	615,4 or 461,5 µg	15%	25
Thiamin	1 or 0,8 mg	15%	25
Riboflavin	1,23 or 1,15 mg	15%	25
Niacin	10,8 or 8,5 mg	15%	25
Vitamin B-6	1,5 or 1,3 mg	10%	25
Folate	235,7 or 214,3 µg	20%	25
Vitamin B-12	2 µg	10%	25
Vitamin C	85,4 or 85,9 mg	15%	25
Vitamin D	3,8 or 7,7 µg	15%	25
Vitamin E	9,23 mg	15%	25
Calcium	690 or 930 mg	15%	25
Magnesium	5 mg/kg	10%	25
Zinc	9,2 or 8,5 or 7,7 mg	15%	25
Phosphorus	580 mg	15%	25
Potassium	2385 mg	15%	28
Iron	based on tables provided by the IoM		33

Tolerable Upper Intake Limits			
Item	Reference value	Variability	Ref.
Retinol	3000 µg		25
Niacin	900 mg		25
Vitamin B-6	25 mg		25
Folate	1000 µg		25
Vitamin C	500 mg		25
Vitamin D	50 µg		25
Vitamin E	300 mg		25
Calcium	2500 mg		25
Magnesium	700 mg		25
Zinc	25 mg		25
Phosphorus	2500 mg		25
Iron	28 mg		25

Figure 13. Calcul du PANDiet pour la population adulte française¹ : nutriments, valeurs des références nutritionnelles et variabilités inter-individuelles utilisées pour le sous-score d'Adéquation et le sous-score de Modération²

¹Les références utilisées dans le calcul pour la population adulte française présentées dans la figure sont identifiées dans la publication telles que ci-dessous :

25. Martin A (2001) Apports nutritionnels conseillés pour la population Française. Paris, France.

26. AFSSA (2007) Apport en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations. Available: <http://www.anses.fr/Documents/NUT-Ra-Proteines.pdf>. Accessed 2012 January 18.

27. AFSSA (2010) Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. Available: <http://www.anses.fr/Documents/NUT2006sa0359.pdf>. Accessed 2012 January 18.

28. Commission of the European Communities (1993) Nutrient and energy intakes for the European Community. Available: <http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out89.pdf>. Accessed 2012 January 18.

29. Pietinen P, Valsta LM, Hirvonen T, Sinkko H (2008) Labelling the salt content in foods: a useful tool in reducing sodium intake in Finland. *Public Health Nutr* 11: 335–340

30. EFSA Panel on Dietetic Products NDA (2010) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. Available: <http://www.efsa.europa.eu/fr/efsajournal/doc/1462.pdf>. Accessed 2012 Jan 18.

33. Institute of Medicine Food and Nutrition Board (2001) Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington, DC: National Academy Press.

²La probabilité d'adéquation pour les sucres libres ajoutée au sous-score de Modération dans un second temps utilise la valeur de 10% de l'apport énergétique sans alcool comme recommandation nutritionnelle et une variabilité de 0% (Verger *et al.*, 2014), selon la référence suivante :

Joint WHO/FAO Expert Consultation. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. World Health Organ Tech Rep Ser. 2003;916:i–viii.

(D'après Verger *et al.*, 2012)

Retour au paragraphe [1.1.1](#) de la justification des travaux



Figure 14. Collations proposées dans le guide nutrition de la grossesse édité par l'INPES

(INPES, 2015)

Retour au paragraphe [1.1.2](#) de la justification des travaux

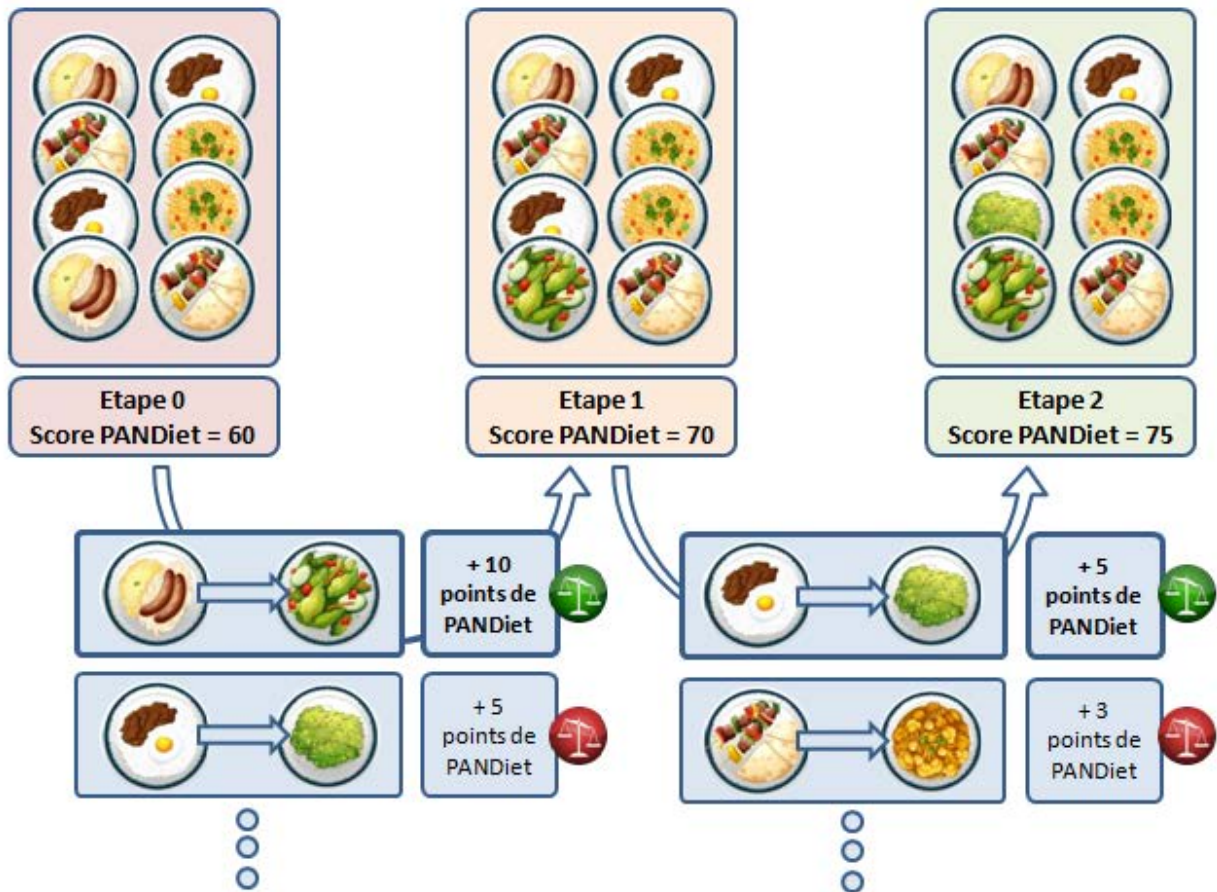


Figure 15. Schéma illustrant les deux premières étapes de la méthode d'optimisation de la qualité nutritionnelle de l'alimentation telle que mesurée par le PANDiet

Chaque étape induit la substitution d'un aliment présent dans le régime généré à l'étape précédente par un aliment non-nécessairement présent dans le régime observé. La nature de la substitution à chaque étape est contrainte par le type de scénario choisi.

(Verger, 2013)

Retour au paragraphe [1.1.3](#) de la justification des travaux

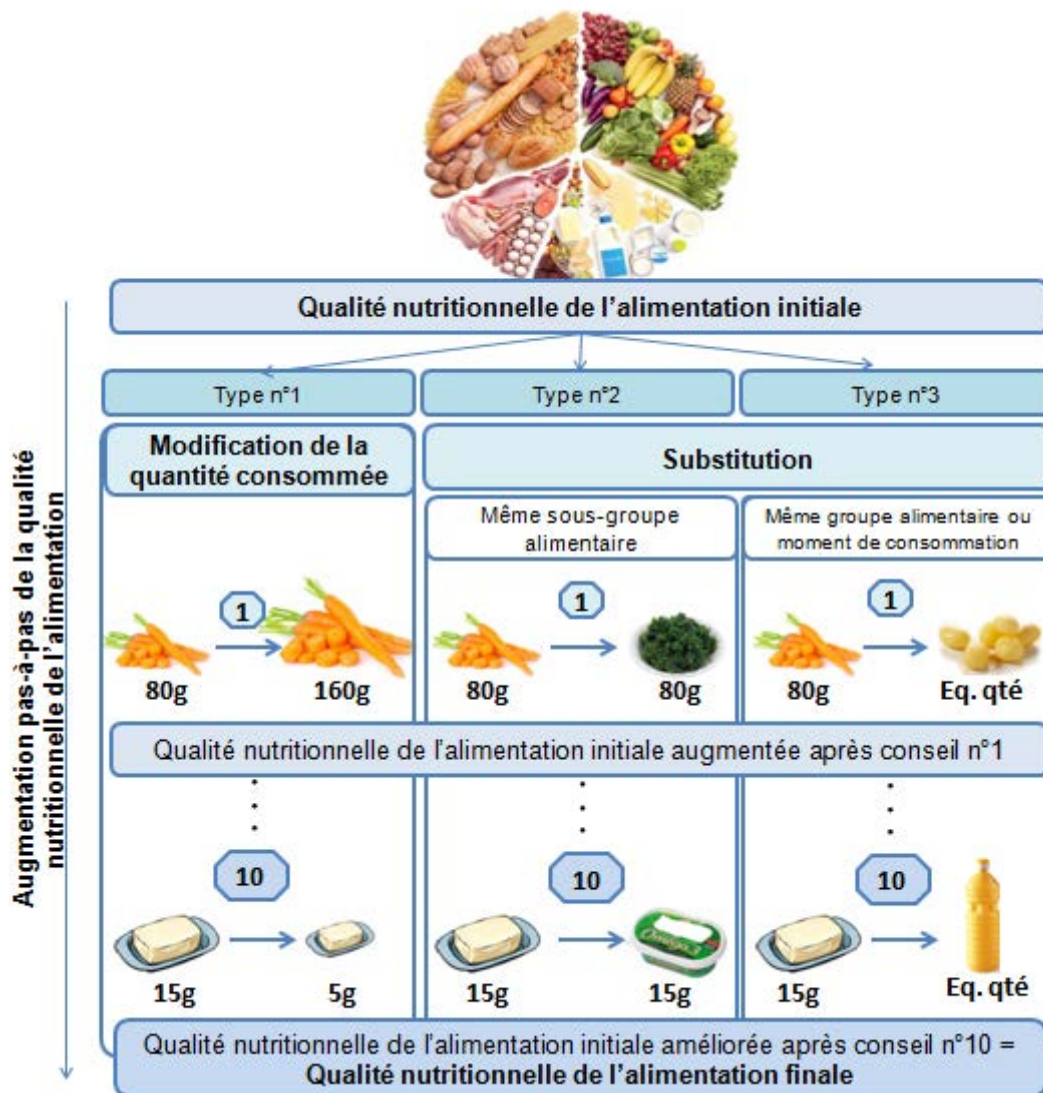


Figure 16. Schéma illustrant la succession des conseils alimentaires de chaque type pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation pendant la grossesse (telle que mesurée par le PANDiet) en 10 étapes en fonction de leur type

Les exemples présentés sont donnés à titre indicatif et ne correspondent pas à un régime réellement observé.

Eq. qté : quantité équivalente définie à l'aide du rapport entre la portion moyenne observée dans le sous-groupe « portions » de l'aliment à remplacer et celle observée dans le sous-groupe « portions » de l'aliment remplacé. Durant ces travaux de thèse, les aliments consommés en quantités équivalentes ont été regroupés en sous-groupe « portions » (cf. matériel supplémentaire du travail personnel n°2, partie 2.2.3 des travaux personnels)

Retour au paragraphe [1.1.3](#) de la justification des travaux

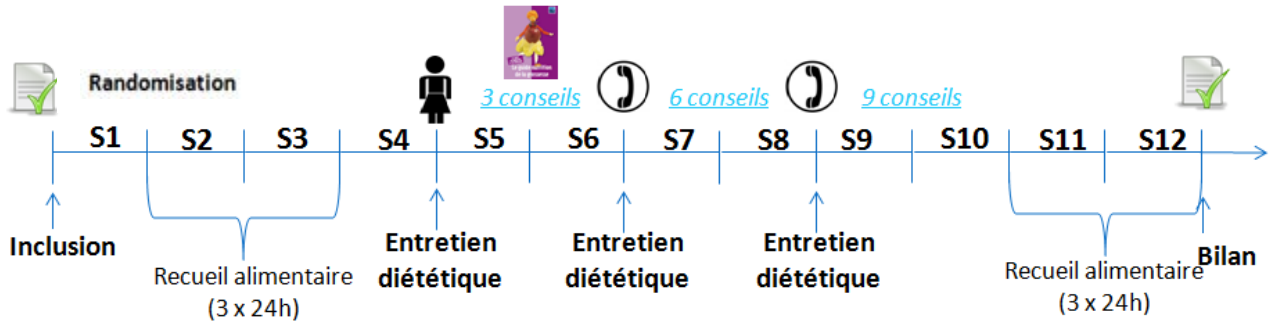






Figure 17. Schéma illustrant le déroulé de l'étude pour une femme enceinte incluse dans l'essai randomisé contrôlé durant les douze semaines de suivi diététique

SX : semaine n°X du suivi dans l'étude

Le pictogramme  correspond au remplissage de questionnaires.

Le pictogramme  correspond à un entretien en face-à-face.

Le pictogramme  correspond à un entretien téléphonique.

L'image  est celle de la couverture du guide nutrition de la grossesse, édité par l'INPES (INPES, 2015), donné et expliqué à chaque femme incluse.

Les mentions en [bleu turquoise](#) ne concernent que les femmes du groupe « intervention ».

Retour au paragraphe [1.3](#) de la justification des travaux

Titre : Élaboration et évaluation d'une méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas visant à améliorer l'adéquation nutritionnelle des régimes de femmes enceintes en France.

Mots clés : grossesse, adéquation nutritionnelle, conseils alimentaires, personnalisation, intervention diététique, modification du comportement alimentaire

Résumé : La grossesse est une période de la vie d'une femme qui s'accompagne d'une augmentation des besoins nutritionnels dont la satisfaction est nécessaire à la bonne santé de la mère et de l'enfant à naître. Durant cette période, les femmes seraient plus enclines à l'adoption de pratiques alimentaires plus saines. L'objectif de ce travail de thèse était d'étudier ces différents aspects de la nutrition pendant la grossesse puis d'élaborer et d'évaluer une méthode de conseils alimentaires personnalisés et pas-à-pas afin d'améliorer l'adéquation nutritionnelle des femmes enceintes en France. Un indice de qualité nutritionnelle de l'alimentation existant : le PANDiet, a été adapté à la période de la grossesse en tenant compte des références nutritionnelles spécifiquement définies pour cette période. Il a été montré qu'en l'absence de modifications qualitatives du régime en début de grossesse, l'adéquation nutritionnelle ne pouvait pas être maintenue. Trois types de conseils alimentaires personnalisés ont alors été élaborés et se sont révélés efficaces pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation. Cependant, plus les conseils étaient efficaces moins ils étaient acceptables par les femmes enceintes. Un compromis a donc été trouvé pour sélectionner les deux types de conseils les plus acceptables par les femmes enceintes tout en étant efficaces pour améliorer la qualité nutritionnelle de leur alimentation. Ces deux types de conseils alimentaires personnalisés, fondés respectivement sur des modifications des quantités consommées d'aliments et sur des substitutions au sein du même sous-groupe d'aliments, ont été proposés à des femmes enceintes françaises lors d'un essai randomisé contrôlé. Par ailleurs, des données qualitatives, ont permis d'identifier que ces dernières étaient à la recherche d'informations positives et crédibles concernant l'alimentation pour contribuer au bien-être de leur bébé mais aussi au leur. Durant l'essai randomisé contrôlé, l'approche proposant des recommandations alimentaires génériques associées aux conseils alimentaires personnalisés, générés pas-à-pas par notre algorithme, s'est révélée plus efficace pour améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation de femmes enceintes qu'une approche proposant uniquement les recommandations génériques. Par ailleurs, selon l'étude qualitative menée auprès de participantes à l'essai randomisé contrôlé, il apparaît que proposer des conseils alimentaires pendant la grossesse permet de résoudre la cacophonie informationnelle.

Title: Elaboration and evaluation of a stepwise and tailored dietary advice method to improve the nutrient adequacy of the diets of pregnant women in France.

Keywords : pregnancy, nutrient adequacy, dietary advice, personalization, dietary intervention, eating behavior change

Abstract: Pregnancy is a specific period in life characterized by an increase in nutrient needs that should be met for the health of both the mother and her baby. During this period, women would be keener on adopting healthier dietary practices. The objective of this thesis was to study these different aspects of nutrition during pregnancy and to design and evaluate a tailored, stepwise dietary advice method which aims to improve the nutrient adequacy of the diet of French pregnant women. The PANDiet score, a diet quality index, has been adapted to pregnancy by using the nutrient requirements established for this period. It has been shown that the absence of qualitative changes in a woman's diet in the beginning of pregnancy prevented the maintenance of the nutrient adequacy. Three types of tailored dietary changes were then designed. They proved to be efficient in improving the nutrient adequacy of the diet. The more efficient the type of dietary changes was, the less acceptable it was by pregnant women. Thus, a trade-off has been considered to select the two types of dietary changes that were the most acceptable by pregnant women while showing efficiency in the improvement of the nutrient adequacy of their diet. These two types of tailored dietary changes, which respectively involved modifications of the amount consumed of foods and substitutions of foods within the same food subgroup, have been proposed to French pregnant women during a randomized controlled trial. Furthermore, qualitative data revealed that pregnant women sought for positive and trustworthy information about nutrition-related in order to contribute towards the well-being of both their baby and themselves. In the randomized controlled trial, the approach proposing tailored dietary advice, generated in a stepwise process, in addition to generic dietary guidelines proved to be more efficient in improving the nutrient adequacy of the diet of pregnant women than the approach using only generic dietary guidelines. Furthermore, according to semi-directive interviews led with some women included in the randomized controlled trial, it appeared that dietary counseling during pregnancy resulted in solving the confusion related to nutrition issues.