

Depuis quelques années, on s'intéresse de plus en plus à la malnutrition par carence en micronutriments. L'une des principales raisons de cet intérêt réside dans le fait que l'on s'est aperçu que cette forme de malnutrition contribuait de façon importante à la charge de morbidité dans le monde. De plus, même si les carences en micronutriments sont sans aucun doute plus fréquentes et plus graves parmi les populations défavorisées, elles constituent également un problème de santé publique dans certains pays industrialisés. Les mesures destinées à corriger les carences en micronutriments visent à assurer la consommation d'un régime alimentaire équilibré contenant des quantités suffisantes de chaque élément nutritif. Malheureusement, cet idéal est loin d'être atteignable en tous lieux car il serait pour cela nécessaire d'assurer un accès universel à une alimentation suffisante ainsi que des habitudes alimentaires appropriées. L'enrichissement des aliments présente le double avantage de permettre d'apporter des éléments nutritifs à de vastes segments de population sans nécessiter de changements radicaux des modes de consommation alimentaire.

En s'appuyant sur plusieurs publications de qualité récemment consacrées à ce sujet et sur l'expérience des programmes déjà réalisés, les auteurs ont procédé à l'analyse critique des informations sur l'enrichissement des aliments en micronutriments et les ont traduites en directives scientifiquement fondées en vue de leur application dans la pratique. Les Directives ont pour principal objet d'aider les pays dans l'élaboration et la mise en œuvre de programmes appropriés d'enrichissement des aliments. Elles s'adressent aux gouvernements et aux organismes qui envisagent ce type de programmes ou qui les ont déjà mis en œuvre, et serviront de source d'information pour les secteurs scientifiques et technologiques ainsi que dans l'industrie agroalimentaire. Les Directives ont été rédigées dans une perspective de nutrition et de santé publique de façon à offrir un guide pratique pour la mise en œuvre, la surveillance et l'évaluation des programmes d'enrichissement des aliments. Elles sont principalement destinées aux responsables des programmes de santé publique axés sur les questions nutritionnelles, mais seront également utiles pour tous les acteurs de la lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments, y compris dans l'industrie agroalimentaire.

Le texte des Directives se divise en quatre sections complémentaires. La Partie I présente le concept d'enrichissement des aliments en tant que stratégie potentielle de lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments. La Partie II décrit la prévalence, les causes et les conséquences des carences en micronutriments et les effets bénéfiques de la lutte contre cette forme de malnutrition sur la santé publique. Elle fournit aux personnels de santé publique les données de base pour évaluer l'ampleur du problème et les bénéfices potentiels de l'intervention dans leur propre contexte. Dans la Partie III sont présentées des informations techniques sur les différentes formes chimiques des micronutriments qui peuvent être utilisées pour enrichir les aliments et les données tirées de l'expérience de leur utilisation dans divers véhicules alimentaires. La Partie IV décrit les principales étapes de l'élaboration, de la mise en œuvre et du suivi des programmes d'enrichissement des aliments, avec la détermination des quantités d'éléments nutritifs à ajouter aux aliments, puis la mise en œuvre de systèmes de surveillance et d'évaluation, y compris les procédures d'assurance et de contrôle de la qualité, avant de passer à l'estimation des rapports coût-efficacité et coût-bénéfice. L'importance de la réglementation et de son harmonisation au niveau national et international, de la communication, des activités de sensibilisation des consommateurs, du marketing social et de l'éducation du public, avec les stratégies appropriées, est également examinée en détail.

## DIRECTIVES SUR L'ENRICHISSEMENT DES ALIMENTS EN MICRONUTRIMENTS



# Directives sur l'enrichissement des aliments en micronutriments

Sous la direction de Lindsay Allen,  
Bruno de Benoist, Omar Dary et Richard Hurrell

ISBN 978-9-242-59401-0



9 789242 594010



Organisation  
mondiale de la Santé



Organisation  
mondiale de la Santé



Organisation des Nations Unies  
pour l'alimentation et l'agriculture

# *DIRECTIVES SUR L'ENRICHISSEMENT DES ALIMENTS EN MICRONUTRIMENTS*



**Organisation  
mondiale de la Santé**



**Organisation des Nations Unies  
pour l'alimentation et l'agriculture**



# Directives sur l'enrichissement des aliments en micronutriments

Sous la direction de

Lindsay Allen

*University of California,  
Davis, CA, États-Unis d'Amérique*

Bruno de Benoist

*Organisation mondiale de la Santé,  
Genève, Suisse*

Omar Dary

*A2Z Outreach – The USAID Micronutrient  
Leadership and Support and Child Blindness Activity,  
Washington, DC, États-Unis d'Amérique*

Richard Hurrell

*École Polytechnique fédérale,  
Zurich, Suisse*



**Organisation  
mondiale de la Santé**



**Organisation des Nations Unies  
pour l'alimentation et l'agriculture**

Catalogage à la source: Bibliothèque de l'OMS:

Directives sur l'enrichissement des aliments en micronutriments / édité par Lindsay Allen... [et al].

1. Aliments enrichis. 2. Micronutriment. 3. Besoins nutritifs. 4. Carences nutritionnelles – prévention et contrôle. 5. Ligne directrice. I. Allen, Lindsay H. II. Organisation mondiale de la Santé.

ISBN 978 92 4 259401 0

(NLM classification: QU 145)

*Cette publication a bénéficié du soutien financier de GAIN, l'Alliance mondiale pour une meilleure nutrition (Global Alliance for Improved Nutrition). Si GAIN soutient le travail de cette publication, il ne garantit pas l'exhaustivité et l'exactitude des informations contenues dans les présentes Directives et ne saurait en aucun cas être tenu responsable de tout préjudice subi à la suite de leur utilisation.*

**© Organisation mondiale de la Santé et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture 2011**

Tous droits réservés. Il est possible de se procurer les publications de l'Organisation mondiale de la Santé auprès des Éditions de l'OMS, Organisation mondiale de la Santé, 20 avenue Appia, 1211 Genève 27 (Suisse) (téléphone: +41 22 791 3264; télécopie: +41 22 791 4857; adresse électronique: [bookorders@who.int](mailto:bookorders@who.int)). Les demandes relatives à la permission de reproduire ou de traduire des publications de l'OMS – que ce soit pour la vente ou une diffusion non commerciale – doivent être envoyées aux Éditions de l'OMS, à l'adresse ci-dessus (télécopie: +41 22 791 4806; adresse électronique: [permissions@who.int](mailto:permissions@who.int)), ou au Chef du Service des publications et du multimédia, Division de l'information, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie ou, par courrier électronique, à [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org)

Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation mondiale de la Santé et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les lignes en pointillé sur les cartes représentent des frontières approximatives dont le tracé peut ne pas avoir fait l'objet d'un accord définitif.

La mention de firmes et de produits commerciaux n'implique pas que ces firmes et ces produits commerciaux sont agréés ou recommandés par l'Organisation mondiale de la Santé et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, de préférence à d'autres de nature analogue. Sauf erreur ou omission, une majuscule initiale indique qu'il s'agit d'un nom déposé.

L'Organisation mondiale de la Santé et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ont pris toutes les précautions raisonnables pour vérifier les informations contenues dans la présente publication. Toutefois, le matériel publié est diffusé sans aucune garantie, expresse ou implicite. La responsabilité de l'interprétation et de l'utilisation dudit matériel incombe au lecteur. En aucun cas, l'Organisation mondiale de la Santé et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ne sauraient être tenues responsables des préjudices subis du fait de son utilisation.

Tiré de l'ouvrage "Guidelines on food fortification with micronutrients" publié en 2006 (ISBN 92 4 159401 2)

Illustration de couverture par Victoria Menezes Miller  
Composé par Toppan Best-set Premedia Limited  
Imprimé en Italie

# Table des matières

Liste des tableaux	x
Liste des figures	xiv
Avant-propos	xv
Préface	xix
Liste des auteurs	xxii
Remerciements	xxiv
Abréviations	xxv
Glossaire	xxvii
<b>Partie I. Le rôle de l'enrichissement des aliments dans la lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 La malnutrition par carence en micronutriments : un problème de santé publique</b>	<b>3</b>
1.1 Prévalence mondiale de la malnutrition par carence en micronutriments	3
1.2 Stratégies de lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments	12
1.2.1 Diversification de l'alimentation	13
1.2.2 Enrichissement des aliments	14
1.2.3 Supplémentation	14
1.2.4 Mesures de santé publique	15
1.3 L'enrichissement des aliments dans la pratique	15
1.3.1 Essais d'efficacité en conditions contrôlées	16
1.3.2 Évaluations de l'efficacité en conditions réelles	18
1.4 Avantages et limites de l'enrichissement des aliments en tant que stratégie de lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments	22
<b>Chapitre 2 L'enrichissement des aliments : principes de base</b>	<b>27</b>
2.1 Terminologie	27
2.1.1 Enrichissement des aliments	27
2.1.2 Terminologie utilisée par le Codex Alimentarius	29
2.2 Types d'enrichissement des aliments en micronutriments	30
2.2.1 Enrichissement universel de certains aliments en micronutriments	31
2.2.2 Enrichissement ciblé en micronutriments	31
2.2.3 Enrichissement en micronutriments dans un but commercial	32

2.2.4	Autres types d'enrichissement des aliments en micronutriments	33
2.3	Législation de l'enrichissement obligatoire et de l'enrichissement volontaire des aliments	35
2.3.1	Enrichissement obligatoire des aliments	35
2.3.2	Enrichissement volontaire des aliments	37
2.3.3	Enrichissement volontaire spécial	39
2.3.4	Critères de choix entre l'enrichissement obligatoire et l'enrichissement volontaire des aliments	40
<b>Partie II. Évaluation de l'importance de la malnutrition par carence en micronutriments sur le plan de la santé publique</b>		<b>43</b>
<b>Introduction</b>		<b>45</b>
<b>Chapitre 3 Fer, vitamine A et iode</b>		<b>47</b>
3.1	Carence en fer et anémie	47
3.1.1	Prévalence de la carence	47
3.1.2	Facteurs de risque	48
3.1.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	52
3.2	Vitamine A	53
3.2.1	Prévalence de la carence	53
3.2.2	Facteurs de risque	55
3.2.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	56
3.3	Iode	57
3.3.1	Prévalence de la carence	57
3.3.2	Facteurs de risque	59
3.3.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	59
<b>Chapitre 4 Zinc, acide folique, vitamine B12 et autres vitamines du groupe B, vitamine C, vitamine D, calcium, sélénium et fluor</b>		<b>61</b>
4.1	Zinc	61
4.1.1	Prévalence de la carence	61
4.1.2	Facteurs de risque	63
4.1.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	65
4.2	Acide folique	66
4.2.1	Prévalence de la carence	66
4.2.2	Facteurs de risque	68
4.2.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	68
4.3	Vitamine B12	70
4.3.1	Prévalence de la carence	70
4.3.2	Facteurs de risque	72
4.3.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	72

4.4	Autres vitamines du groupe B (thiamine, riboflavine, niacine et vitamine B6)	73
4.4.1	Thiamine	74
4.4.2	Riboflavine	77
4.4.3	Niacine	80
4.4.4	Vitamine B6	83
4.5	Vitamine C	85
4.5.1	Prévalence de la carence	85
4.5.2	Facteurs de risque	87
4.5.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	88
4.6	Vitamine D	88
4.6.1	Prévalence de la carence	89
4.6.2	Facteurs de risque	90
4.6.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	91
4.7	Calcium	92
4.7.1	Prévalence de la carence	92
4.7.2	Facteurs de risque	93
4.7.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	94
4.8	Sélénium	94
4.8.1	Prévalence de la carence	95
4.8.2	Facteurs de risque	95
4.8.3	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	97
4.9	Fluor	98
4.9.1	Prévalence de la carie dentaire	98
4.9.2	Facteurs de risque d'apport insuffisant	99
4.9.3	Conséquences des faibles apports sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	99
4.10	Carences multiples en micronutriments	99
4.10.1	Prévalence et facteurs de risque	99
4.10.2	Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention	100

**Partie III. Composés utilisés pour l'enrichissement : propriétés physiques, sélection et utilisation avec divers véhicules alimentaires** **103**

<b>Introduction</b>	<b>105</b>
<b>Chapitre 5 Fer, vitamine A et iode</b>	<b>108</b>
5.1 Fer	108
5.1.1 Choix du composé d'enrichissement en fer	108
5.1.2 Méthodes utilisées pour augmenter la quantité de fer absorbée à partir des composés d'enrichissement	112
5.1.3 Nouveaux composés d'enrichissement en fer	113
5.1.4 Modifications organoleptiques	116
5.1.5 Expérience de l'enrichissement en fer de certains aliments	116
5.1.6 Questions d'innocuité	123

5.2	Vitamine A et $\beta$ -carotène	124
5.2.1	Choix du composé d'enrichissement en vitamine A	124
5.2.2	Expérience de l'enrichissement en vitamine A de certains aliments	125
5.2.3	Questions d'innocuité	131
5.3	Iode	132
5.3.1	Choix du composé d'enrichissement en iode	132
5.3.2	Expérience de l'enrichissement en iode de certains aliments	133
5.3.3	Questions d'innocuité	137
<b>Chapitre 6 Zinc, acide folique et autres vitamines du groupe B, vitamine C, vitamine D, calcium, sélénium et fluor</b>		<b>139</b>
6.1	Zinc	139
6.1.1	Choix du composé d'enrichissement en zinc	139
6.1.2	Biodisponibilité du zinc	139
6.1.3	Méthodes utilisées pour augmenter l'absorption du zinc à partir du composé d'enrichissement	140
6.1.4	Expérience de l'enrichissement en zinc de certains aliments	140
6.2	Acide folique et autres vitamines du groupe B	141
6.2.1	Choix des composés d'enrichissement en vitamines du groupe B	141
6.2.2	Expérience de l'enrichissement de certains aliments en vitamines du groupe B	143
6.2.3	Questions d'innocuité	144
6.3	Vitamine C (acide ascorbique)	145
6.3.1	Choix du composé d'enrichissement en vitamine C	145
6.3.2	Expérience de l'enrichissement en vitamine C de certains aliments	146
6.4	Vitamine D	146
6.4.1	Choix du composé d'enrichissement en vitamine D	146
6.4.2	Expérience de l'enrichissement en vitamine D de certains aliments	146
6.5	Calcium	147
6.5.1	Choix du composé d'enrichissement en calcium	147
6.5.2	Expérience de l'enrichissement en calcium	148
6.6	Sélénium	149
6.6.1	Choix du composé d'enrichissement en sélénium	149
6.6.2	Expérience de l'enrichissement en sélénium de certains aliments	149
6.7	Fluor	150
6.7.1	Choix du composé d'enrichissement en fluor	150
6.7.2	Expérience de la fluoration	150

<b>Partie IV. Mise en œuvre de programmes efficaces et durables d'enrichissement des aliments</b>	<b>153</b>
<b>Introduction</b>	<b>155</b>
<b>Chapitre 7 Définition et fixation des objectifs du programme</b>	<b>158</b>
7.1 Besoins en matière d'information	158
7.1.1 Données biochimiques et cliniques attestant l'existence de carences spécifiques en micronutriments	158
7.1.2 Modes de consommation alimentaire	160
7.1.3 Apports alimentaires habituels	161
7.2 Définition des objectifs nutritionnels: notions de base	162
7.2.1 La méthode du seuil des besoins moyens estimés	162
7.2.2 Valeurs nutritionnelles de référence: besoins moyens estimés, apports nutritionnels recommandés et limites supérieures d'apport	164
7.3 Utilisation de la méthode du seuil des BME pour fixer les objectifs et évaluer l'impact et l'innocuité de l'enrichissement des aliments en micronutriments	167
7.3.1 Définition d'une prévalence acceptable des faibles apports nutritionnels en micronutriments	170
7.3.2 Calcul des quantités de micronutriments à ajouter	172
7.3.3 Adaptation de la méthodologie du seuil des BME à divers micronutriments	177
7.3.4 Biodisponibilité	182
7.4 Autres facteurs à prendre en compte lors du choix des niveaux d'enrichissement	183
7.4.1 Limites imposées par des considérations d'innocuité	185
7.4.2 Limites technologiques	185
7.4.3 Limites imposées par les coûts	185
7.5 Adaptation de la méthode du seuil des BME aux interventions d'enrichissement universel, ciblé ou à but commercial	187
7.5.1 Enrichissement universel de certains aliments	187
7.5.2 Enrichissement ciblé	191
7.5.3 Enrichissement des aliments dans un but commercial	193
<b>Chapitre 8 Surveillance et évaluation</b>	<b>201</b>
8.1 Principes de base et définitions	201
8.2 Surveillance réglementaire	204
8.2.1 Surveillance interne (contrôle et assurance de la qualité)	206
8.2.2 Surveillance externe (inspection et audits techniques)	212
8.2.3 Surveillance commerciale	214

8.3	Surveillance au niveau des ménages	215
8.3.1	Buts et objectifs	216
8.3.2	Méthodologie	217
8.4	Évaluation de l'impact du programme	219
8.4.1	Méthodologie de l'évaluation d'impact	220
8.4.2	Questions de méthodologie	224
8.5	Système minimum de surveillance et d'évaluation dont doit disposer tout programme d'enrichissement des aliments	229
<b>Chapitre 9 Estimation des rapports coût-efficacité et coût-bénéfice de l'enrichissement des aliments</b>		<b>232</b>
9.1	Principes de base et définitions	232
9.1.1	Coût-efficacité	232
9.1.2	Analyse de coût-bénéfice	235
9.2	Besoins en matière d'information	236
9.2.1	Estimation des coûts unitaires	236
9.2.2	Analyses de coût-efficacité	239
9.2.3	Analyse de coût-bénéfice	240
9.3	Estimation des rapports coût-efficacité et coût-bénéfice des interventions portant sur la vitamine A, l'iode et le fer: exemples	242
9.3.1	Supplémentation en vitamine A: calcul de coût-efficacité	242
9.3.2	Iode: analyse de coût-bénéfice	245
9.3.3	Enrichissement en fer: analyse de coût-bénéfice	246
9.3.4	Supplémentation en fer: calcul de coût-efficacité	249
<b>Chapitre 10 Communication, marketing social et activités de sensibilisation à l'appui des programmes d'enrichissement des aliments</b>		<b>251</b>
10.1	Stratégies de communication: les options	252
10.1.1	Éducation	253
10.1.2	Législation, politiques et sensibilisation: communication avec les responsables de l'élaboration des politiques	255
10.1.3	Marketing social	257
10.2	La communication à l'appui des programmes de marketing social	258
10.2.1	Construire des partenariats en collaboration	260
10.2.2	Élaborer des messages à l'intention des dirigeants politiques	263
10.2.3	Élaborer des messages à l'intention des dirigeants de l'industrie	264
10.2.4	Élaborer des stratégies de marketing et d'éducation à l'intention des consommateurs	265
10.3	Pérenniser le programme	268
<b>Chapitre 11 Législation nationale sur les denrées alimentaires</b>		<b>270</b>
11.1	Le contexte international	270
11.2	Législation nationale sur les denrées alimentaires et enrichissement des aliments	271

11.2.1	Formes de législation sur les denrées alimentaires: lois, règlements et mesures complémentaires	272
11.2.2	Réglementation de l'enrichissement des aliments: généralités	273
11.3	Enrichissement obligatoire des aliments	274
11.3.1	Composition	275
11.3.2	Étiquetage et publicité	279
11.3.3	Commerce	281
11.4	Enrichissement volontaire des aliments	282
11.4.1	Composition	283
11.4.2	Étiquetage et publicité	288
11.4.3	Commerce	291
	Références bibliographiques	292
	Pour en savoir plus	313
	<b>Annexes</b>	<b>317</b>
<b>Annexe A</b>	<b>Indicateurs pour l'évaluation des progrès sur la voie de l'élimination durable des troubles dus à la carence en iode</b>	<b>319</b>
<b>Annexe B</b>	<b>Le réseau international de laboratoires pour l'iode</b>	<b>321</b>
<b>Annexe C</b>	<b>Facteurs de conversion pour le calcul des besoins moyens estimés (BME) à partir des apports nutritionnels recommandés (RNI) de la FAO/OMS</b>	<b>325</b>
<b>Annexe D</b>	<b>Exemple de procédure d'estimation des niveaux d'enrichissement réalisables dans le cadre d'un programme d'enrichissement universel de certains aliments en micronutriments</b>	<b>328</b>
<b>Annexe E</b>	<b>Système de contrôle de la qualité pour les huiles végétales enrichies: l'exemple du Maroc</b>	<b>349</b>
<b>Annexe F</b>	<b>Le Codex Alimentarius et les accords de l'Organisation mondiale du Commerce</b>	<b>354</b>
	<b>Index</b>	<b>368</b>

# Liste des tableaux

Tableau 1.1	Prévalence des trois principales carences en micronutriments, par Région OMS	4
Tableau 1.2	Carences en micronutriments : prévalence, facteurs de risque et conséquences pour la santé	6
Tableau 2.1	Programmes d'enrichissement ciblé des aliments	32
Tableau 2.2	Produits pour l'enrichissement des aliments à domicile	34
Tableau 3.1	Indicateurs pour l'évaluation du statut martial à l'échelle de la population	49
Tableau 3.2	Critères d'évaluation de la gravité de l'anémie sur le plan de la santé publique	51
Tableau 3.3	Classification des régimes alimentaires usuels en fonction de la biodisponibilité de leur contenu en fer	52
Tableau 3.4	Indicateurs pour l'évaluation du statut vitaminique A à l'échelle de la population	54
Tableau 3.5	Critères d'évaluation de la gravité de la carence en vitamine A sur le plan de la santé publique	55
Tableau 3.6	Indicateurs pour l'évaluation du statut en iode à l'échelle de la population	58
Tableau 3.7	Critères d'évaluation de la gravité de la carence en iode sur le plan de la santé publique	59
Tableau 3.8	Spectre des troubles dus à la carence en iode	60
Tableau 4.1	Indicateurs pour l'évaluation du statut en zinc à l'échelle de la population	62
Tableau 4.2	Classification des régimes alimentaires usuels en fonction de la biodisponibilité potentielle de leur contenu en zinc	64
Tableau 4.3	Indicateurs pour l'évaluation du statut en folates (vitamine B9) à l'échelle de la population	67
Tableau 4.4	Indicateurs pour l'évaluation du statut en vitamine B12 (cobalamine) à l'échelle de la population	71
Tableau 4.5	Indicateurs pour l'évaluation du statut en thiamine (vitamine B1) à l'échelle de la population	75
Tableau 4.6	Critères proposés pour l'évaluation de la gravité de la carence en thiamine sur le plan de la santé publique	76
Tableau 4.7	Indicateurs pour l'évaluation du statut en riboflavine (vitamine B2) à l'échelle de la population	79
Tableau 4.8	Indicateurs pour l'évaluation du statut en niacine (acide nicotinique) à l'échelle de la population	81
Tableau 4.9	Critères proposés pour l'évaluation de la gravité de la carence en niacine sur le plan de la santé publique	82

Tableau 4.10	Indicateurs pour l'évaluation du statut en vitamine B6 (pyridoxine) à l'échelle de la population	84
Tableau 4.11	Indicateurs pour l'évaluation du statut en vitamine C à l'échelle de la population	86
Tableau 4.12	Critères proposés pour l'évaluation de la gravité de la carence en vitamine C sur le plan de la santé publique	87
Tableau 4.13	Indicateurs pour l'évaluation du statut en vitamine D à l'échelle de la population	90
Tableau 4.14	Indicateurs pour l'évaluation du statut en calcium à l'échelle de la population	93
Tableau 4.15	Indicateurs pour l'évaluation du statut en sélénium à l'échelle de la population	96
Tableau 4.16	Indicateurs pour l'évaluation du statut en fluor à l'échelle de la population	98
Tableau 5.1	Caractéristiques principales des composés de fer utilisés pour l'enrichissement des aliments: solubilité, biodisponibilité et coût	109
Tableau 5.2	Composés de fer proposés pour l'enrichissement de divers véhicules alimentaires	117
Tableau 5.3	Formes de vitamine A disponibles dans le commerce, leurs caractéristiques et leurs principales applications	126
Tableau 5.4	Composés utilisés pour l'enrichissement en vitamine A et leur stabilité dans différents véhicules alimentaires	127
Tableau 5.5	Exemples de programmes d'enrichissement en vitamine A	128
Tableau 5.6	Composés utilisés pour l'enrichissement en iode: formule chimique et teneur en iode	132
Tableau 5.7	Progrès sur la voie de l'iodation universelle du sel dans les Régions OMS (situation en 1999)	135
Tableau 6.1	Composés utilisés pour l'enrichissement en vitamines du groupe B: propriétés physiques et stabilité	142
Tableau 6.2	Composés utilisés pour l'enrichissement en calcium: propriétés physiques	148
Tableau 7.1	Apports nutritionnels recommandés (RNI) établis par la FAO/OMS pour divers sous-groupes de population	165
Tableau 7.2	Besoins moyens estimés (valeurs calculées) basés sur les apports nutritionnels recommandés (RNI) de la FAO/OMS	168
Tableau 7.3	Apports maximaux tolérables (UL)	169
Tableau 7.4	Effet prévu de l'enrichissement de la farine de blé par différents niveaux de vitamine A sur la distribution des apports alimentaires chez les femmes adultes	175
Tableau 7.5	Probabilité d'apports en fer insuffisants dans certains sous-groupes de population pour diverses fourchettes d'apports alimentaires habituels (mg/jour)	179
Tableau 7.6	Prévalence des apports en fer insuffisants chez des femmes réglées ayant un régime alimentaire dont la biodisponibilité du fer est de 5%: exemple de calcul	180
Tableau 7.7	Exemples de micronutriments pour lesquels la biodisponibilité de la forme utilisée pour l'enrichissement est sensiblement différente de sa biodisponibilité dans le régime habituel	183

Tableau 7.8	Facteurs pouvant limiter la quantité de micronutriments ajoutée à un même véhicule alimentaire	184
Tableau 7.9	Coût estimé de certains composés utilisés pour l'enrichissement des aliments	186
Tableau 7.10	Exemples de taux de micronutriments actuellement ajoutés aux denrées alimentaires de base et condiments dans le monde entier (mg/kg)	189
Tableau 7.11	Valeurs nutritionnelles de référence (VNR) du Codex pour divers micronutriments	195
Tableau 7.12	Densité énergétique de quelques présentations de denrées alimentaires	196
Tableau 7.13	Teneur maximale calculée en micronutriments par portion de 40 kcal, en supposant l'absence d'autres sources de micronutriments dans l'alimentation	199
Tableau 7.14	Facteurs de conversion des quantités maximales de micronutriments par portion de 40 kcal en quantités maximales pour différentes présentations et tailles de portions	199
Tableau 8.1	Objet et fonction des divers éléments des systèmes de surveillance et d'évaluation pour les programmes d'enrichissement des aliments	205
Tableau 8.2	Critères proposés pour mesurer les succès à divers stades de la surveillance pour les programmes d'enrichissement des aliments	206
Tableau 8.3	Activités de surveillance réglementaire proposées pour un programme d'enrichissement des aliments	207
Tableau 8.4	Activités de surveillance au niveau des ménages proposées pour un programme d'enrichissement des aliments	218
Tableau 8.5	Évaluation de l'impact des programmes d'enrichissement des aliments sur l'état nutritionnel: diverses approches	222
Tableau 8.6	Évaluation de l'impact d'un programme d'enrichissement des aliments: mesures de résultats proposées	225
Tableau 9.1	Coûts annuels hypothétiques de l'enrichissement de la farine de blé en fer et en zinc	237
Tableau 9.2	Estimations du coût unitaire de certaines interventions portant sur les micronutriments	238
Tableau 9.3	Données nationales nécessaires pour les calculs de coût-efficacité et de coût-bénéfice: pays P	243
Tableau 9.4	Hypothèses de départ pour l'estimation des rapports coût-efficacité et coût-bénéfice de l'enrichissement des aliments en certains micronutriments	243
Tableau 10.1	Méthodes de promotion nutritionnelle: définitions	252
Tableau 11.1	Relation entre le niveau minimal et le niveau maximal légal pour le fer compte tenu de sa biodisponibilité relative à partir de divers composés d'enrichissement	278
Tableau A.1	Indicateurs pour l'évaluation des progrès vers l'élimination durable de la carence en iode en tant que problème de santé publique	319

Tableau C.1	Facteurs de conversion pour le calcul des besoins moyens estimés à partir des apports nutritionnels recommandés par la FAO/OMS	326
Tableau D.1	Profil de consommation de certaines denrées de base produites industriellement	336
Tableau D.2	Composition recommandée des suppléments alimentaires utilisés en complément des aliments enrichis	337
Tableau D.3	Limites de sécurité pour la vitamine A	338
Tableau D.4	Analyse du coût de l'enrichissement en vitamine A aux limites de sécurité estimées pour le sucre, l'huile et la farine de blé	339
Tableau D.5	Apport additionnel de vitamine A pour divers niveaux de consommation d'aliments enrichis	339
Tableau D.6	Paramètres de production pour l'enrichissement en vitamine A	340
Tableau D.7	Paramètres de réglementation pour l'enrichissement en vitamine A	341
Tableau D.8	Limites technologiques, de sécurité et de coût pour l'enrichissement de la farine de blé	342
Tableau D.9	Répercussions nutritionnelles de l'enrichissement de la farine de blé	343
Tableau D.10	Paramètres de production et de réglementation pour l'enrichissement de la farine de blé	345
Tableau D.11	Formulation finale pour l'enrichissement de la farine de blé raffinée et estimations des coûts associés pour un pays hypothétique	346
Tableau D.12	Estimation du coût global du programme d'enrichissement proposé et de l'investissement annuel nécessaire	347

# Liste des figures

Figure 1.1	Effet de l'enrichissement en fer de la sauce de poisson sur le statut en fer d'ouvrières vietnamiennes anémiques non enceintes	17
Figure 1.2	Effet du sel doublement enrichi (en fer et en iode) sur le statut en fer d'écoliers marocains	20
Figure 1.3	Effet de l'enrichissement de la farine en acide folique sur le statut en folates de Canadiennes âgées	21
Figure 2.1	Relations entre les niveaux de couverture et d'observance et les différents types d'enrichissement des aliments	30
Figure 7.1	Exemple de distribution des apports habituels dans laquelle l'apport médian se situe à la valeur de l'apport nutritionnel recommandé (RNI ou RDA) (approche anciennement adoptée)	163
Figure 7.2	Exemple de distribution des apports habituels dans laquelle seuls 2,5% des sujets du groupe ont des apports inférieurs au RNI (ou au RDA)	170
Figure 7.3	Exemple de distribution des apports habituels dans laquelle 2,5% des sujets du groupe ont des apports inférieurs au BME (approche recommandée)	170
Figure 8.1	Exemple de système de surveillance et d'évaluation pour les programmes d'enrichissement des aliments	203
Figure 8.2	Exemples de fréquence et d'intensité de l'échantillonnage pour la surveillance de la conformité aux normes	211
Figure 9.1	Coût-efficacité de la supplémentation et de l'enrichissement en micronutriments	234
Figure 9.2	Coût-efficacité de diverses interventions visant les enfants	234
Figure 10.1	Relation entre la prise de décision individuelle et les coûts et bénéfices perçus de tout nouveau comportement, concept ou produit	253
Figure D.1	Relation entre les divers paramètres de production et de réglementation associés à l'enrichissement universel de certains aliments	330

# Avant-propos

Depuis quelques années, on s'intéresse de plus en plus à la malnutrition par carence en micronutriments. L'une des principales raisons de cet intérêt réside dans le fait que l'on s'est aperçu que cette forme de malnutrition contribuait de façon importante à la charge de morbidité dans le monde. En 2000, le *Rapport sur la Santé dans le Monde*<sup>1</sup> a identifié les carences en iode, en fer, en vitamine A et en zinc comme figurant parmi les plus importants facteurs de risque pour la santé au niveau mondial. Outre ses manifestations cliniques les plus évidentes, la malnutrition par carence en micronutriments est à l'origine d'une vaste gamme de troubles physiologiques non spécifiques conduisant à une diminution de la résistance aux infections, à des troubles métaboliques et à des retards ou des anomalies du développement physique et psychomoteur. Ses conséquences sur la santé publique sont potentiellement graves et prennent toute leur signification lorsqu'il s'agit de définir des stratégies de prévention et de lutte face à des maladies comme le VIH/SIDA, le paludisme et la tuberculose ou à des maladies chroniques liées à l'alimentation.

Une autre raison pour laquelle on s'intéresse de plus en plus au problème de la malnutrition par carence en micronutriments est que, contrairement à ce qu'on avait pensé jusqu'alors, elle ne se limite pas aux pays pauvres. Même si les carences en micronutriments sont sans aucun doute plus fréquentes et plus sévères parmi les populations défavorisées, elles constituent également un problème de santé publique dans certains pays industrialisés. Cela est particulièrement vrai de la carence en iode dans les pays d'Europe, où l'on pensait l'avoir éradiquée, et de la carence en fer, actuellement la carence en micronutriments la plus répandue dans le monde. De plus, la consommation accrue, dans les pays industrialisés (et de plus en plus dans les pays en transition socio-économique), de produits alimentaires hautement transformés, riches en énergie mais pauvres en micronutriments, est susceptible d'influer défavorablement sur les apports et donc sur le statut en micronutriments.

Les mesures destinées à corriger les carences en micronutriments – ou du moins les principales d'entre elles – sont toutefois bien connues, et de plus relativement peu coûteuses et faciles à mettre en œuvre. La lutte contre les

---

<sup>1</sup> *Rapport sur la Santé dans le Monde*, 2000. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2000.

troubles dus à la carence en iode grâce à l'iodation du sel, par exemple, a été l'une des réalisations majeures de la santé publique nutritionnelle au cours des trente dernières années.

Le meilleur moyen de prévention de la malnutrition par carence en micronutriments est d'assurer la consommation d'un régime alimentaire équilibré contenant des quantités adéquates de chaque élément nutritif. Malheureusement, cet idéal est loin d'être atteignable en tous lieux car il serait pour cela nécessaire d'assurer un accès universel à une alimentation en quantité suffisante ainsi que des habitudes alimentaires appropriées. De ce point de vue, l'enrichissement des aliments présente le double avantage de permettre d'apporter des éléments nutritifs à de vastes segments de population sans nécessiter de changements radicaux des modes de consommation alimentaire. De fait, l'enrichissement des aliments est pratiqué depuis plus de 80 ans dans les pays industrialisés comme moyen de restituer les micronutriments perdus lors de la transformation des denrées alimentaires, notamment certaines vitamines du groupe B, et a grandement contribué à l'éradication des maladies associées à des carences en ces vitamines. Comme l'étendue de la prévalence et les effets défavorables des carences en micronutriments sont de plus en plus largement reconnus, et compte tenu des modifications des systèmes alimentaires (une proportion de plus en plus grande d'aliments étant transformés de façon centralisée) et de l'expérience réussie d'enrichissement des aliments dans d'autres parties du monde, un nombre de plus en plus grand de pays en développement se sont engagés dans de tels programmes ou envisagent de le faire.

Grâce à cette vaste expérience, on connaît mieux aujourd'hui les conditions dans lesquelles l'enrichissement des aliments peut être recommandé en tant qu'option stratégique de lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments. On connaît également les limites de cette stratégie : à lui seul, l'enrichissement des aliments ne peut corriger les carences en micronutriments lorsqu'une grande partie de la population cible, du fait de la pauvreté ou de l'éloignement, ne peut avoir au mieux qu'un accès limité aux aliments enrichis, lorsque la carence est trop sévère, ou lorsque la présence concomitante de maladies infectieuses ou parasitaires augmente la demande métabolique en micronutriments. Par ailleurs, diverses considérations d'innocuité, de technologie et de coût peuvent imposer des limites aux interventions. Par conséquent, la planification d'un programme approprié d'enrichissement des aliments exige non seulement une évaluation de son impact potentiel sur l'état nutritionnel de la population, mais également de sa faisabilité dans un contexte déterminé.

Le succès d'un programme d'enrichissement des aliments peut être mesuré par son impact sur la santé publique et par l'obtention de résultats durables. Cette dernière condition suppose une approche intersectorielle dans laquelle, outre les autorités nationales de santé publique, les secteurs de la recherche, du droit, de l'éducation, du commerce ainsi que les organisations non

gouvernementales sont impliqués dans la planification et la mise en œuvre du programme. Il a fallu du temps pour reconnaître le rôle du secteur privé, notamment de l'industrie, dans ce processus, de même que celui de la société civile. C'est actuellement chose faite et la prise en compte de tous ces acteurs permettra de renforcer la capacité des interventions de lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments.

Les présentes Directives ont pour principal objectif d'aider les pays à concevoir et mettre en œuvre des programmes appropriés d'enrichissement des aliments (selon les pays, aussi appelés programmes de fortification alimentaire). En s'appuyant sur plusieurs publications de qualité récemment consacrées à ce sujet et sur l'expérience des programmes déjà réalisés, les auteurs ont procédé à l'analyse critique des informations sur l'enrichissement des aliments en micronutriments et les ont traduites en directives scientifiquement fondées en vue de leur application dans la pratique. En particulier, les Directives fournissent des informations sur les effets bénéfiques, les limites, l'élaboration, la mise en œuvre, la surveillance, l'évaluation, l'analyse coût-bénéfice et la réglementation des programmes d'enrichissement des aliments, notamment dans les pays en développement. Elles s'adressent aux gouvernements et aux organismes qui envisagent ce type de programmes ou qui les ont déjà mis en œuvre, et serviront de source d'information pour les secteurs scientifiques et technologiques ainsi que dans l'industrie agroalimentaire. Les Directives ont été rédigées dans une perspective de nutrition et de santé publique et constituent un guide pratique pour la mise en œuvre, la surveillance et l'évaluation des programmes d'enrichissement des aliments dans le contexte général de la lutte à mener contre la malnutrition par carence en micronutriments dans une population. Elles sont principalement destinées aux responsables des programmes de santé publique axés sur les questions nutritionnelles, mais seront également utiles pour tous les acteurs de la lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments, y compris dans l'industrie agroalimentaire.

Le texte des Directives se divise en quatre sections complémentaires. La Partie I présente le concept d'enrichissement des aliments en tant que stratégie potentielle de lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments. La Partie II décrit la prévalence, les causes et les conséquences des carences en micronutriments et les effets bénéfiques de la lutte contre cette forme de malnutrition sur la santé publique. Elle fournit aux personnels de santé publique les données de base qui leur permettront d'évaluer l'ampleur du problème et les bénéfices potentiels de l'intervention dans leur propre contexte. Dans la Partie III sont présentées des informations techniques sur les différentes formes chimiques des micronutriments qui peuvent être utilisées pour enrichir les aliments et les données tirées de l'expérience de leur utilisation dans divers véhicules alimentaires. La Partie IV décrit les principales étapes de l'élaboration, de la mise en œuvre et du suivi des programmes d'enrichissement des aliments,

avec la détermination des quantités d'éléments nutritifs à ajouter aux aliments, puis la mise en œuvre de systèmes de surveillance et d'évaluation, y compris les procédures d'assurance et de contrôle de la qualité, avant de passer à l'estimation des rapports coût-efficacité et coût-bénéfice. L'importance de la réglementation et de son harmonisation au niveau national et international, de la communication, des activités de sensibilisation, du marketing social et de l'éducation du public, avec les stratégies appropriées, est également examinée en détail.

La production des Directives est le résultat d'un processus de longue haleine dont le début remonte à 2002. Sous l'égide de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), un groupe d'experts a été constitué dans le but de préparer un ensemble de lignes directrices sur les pratiques en matière d'enrichissement des aliments. Une version préliminaire des Directives a été soumise en 2003 à un tableau pluridisciplinaire d'experts représentant collectivement tous les domaines de compétences et d'expérience requis pour la préparation d'un tel document. Les membres du tableau d'experts appartenaient aux domaines de la santé publique, des sciences de la nutrition et de la technologie alimentaire, dans le secteur public comme dans le secteur privé. Ensuite, le projet de Directives a été communiqué à des nutritionnistes de terrain et à des praticiens de santé publique et a été testé dans un certain nombre de pays. Tous les commentaires reçus au cours de ce processus ont été examinés et pris en compte lors de la rédaction de la version définitive des Directives.

Tous engagés dans la lutte pour l'élimination de la malnutrition par carence en micronutriments, nous espérons que les présentes Directives aideront les pays à atteindre cet objectif et à permettre ainsi à leur population de déployer pleinement son potentiel social et économique.

Lindsay Allen  
Bruno de Benoist  
Omar Dary  
Richard Hurrell

# Préface

Actuellement, plus de deux milliards de personnes de par le monde souffrent de carences en micronutriments provoquées pour la plupart par un défaut d'apport alimentaire de vitamines et de minéraux. L'importance de ces carences sur le plan de la santé publique est conditionnée par leur ampleur et par leurs conséquences sur la santé, en particulier chez les femmes enceintes et les jeunes enfants, car elles affectent la croissance du fœtus et de l'enfant, le développement cognitif et la résistance aux infections. Bien que ces carences puissent toucher tous les groupes de population dans le monde entier, leurs conséquences les plus répandues et les plus graves se rencontrent dans les pays en développement parmi les foyers vulnérables, manquant de ressources et chez qui la sécurité alimentaire n'est pas assurée. La pauvreté, le manque d'accès à une alimentation variée, l'ignorance des pratiques nutritionnelles appropriées et l'incidence élevée des maladies infectieuses et parasitaires sont les principaux facteurs de cette situation. La malnutrition par carence en micronutriments est donc un obstacle majeur au développement socio-économique, qui contribue au cercle vicieux du sous-développement au détriment de groupes déjà défavorisés. Elle a des effets d'une grande portée sur la santé, la capacité d'apprentissage et la productivité, et entraîne des coûts sociaux et publics élevés en réduisant la capacité de travail du fait des taux élevés de maladie et d'incapacité.

La lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments est donc une condition préalable à toute perspective de développement national rapide et approprié. Tel était le consensus atteint lors de la Conférence internationale FAO/OMS sur la nutrition (décembre 1992), où 159 pays ont approuvé la Déclaration mondiale sur la nutrition, selon laquelle il était instamment demandé aux États Membres de faire tous les efforts pour éliminer les carences en iode et en vitamine A et pour réduire sensiblement les autres carences importantes en micronutriments, y compris en fer. Depuis lors, la FAO et l'OMS ont poursuivi leurs travaux en vue de la réalisation de cet objectif et ont à cet effet adopté quatre stratégies principales d'amélioration des apports alimentaires en éléments nutritifs : augmentation de la production, de la conservation et de la commercialisation d'aliments riches en micronutriments, en association avec des activités d'éducation nutritionnelle ; enrichissement des aliments (ou fortification alimentaire) ; supplémentation ; mesures globales de santé publique et autres

mesures de lutte contre la maladie. Chacune de ces stratégies a un rôle à jouer dans l'élimination de la malnutrition par carence en micronutriments, et elles se renforcent mutuellement. Pour un impact maximal, il faudra mettre en place une combinaison appropriée de ces stratégies afin d'assurer l'accès de tous les peuples du monde à la consommation et à l'utilisation d'une quantité et d'une variété suffisantes d'aliments sains et de bonne qualité. À la base de ces stratégies, il faut savoir que lorsqu'il existe une carence alimentaire en un élément nutritif donné, il existe probablement aussi d'autres carences alimentaires. Par conséquent, sur le long terme, les mesures de prévention et de lutte axées sur les carences en micronutriments devront reposer sur la diversification alimentaire et sur l'éducation des consommateurs quant au choix d'aliments composant un régime équilibré, y compris en vitamines et minéraux.

Les présentes Directives sont destinées à aider les pays à élaborer et mettre en œuvre des programmes appropriés d'enrichissement des aliments dans le cadre d'une stratégie globale de lutte contre les carences en micronutriments reposant sur l'alimentation. L'enrichissement des aliments peut contribuer de manière importante à réduire la malnutrition par carence en micronutriments lorsque les aliments disponibles et leur accessibilité ne permettent pas d'apporter des quantités suffisantes de certains éléments nutritifs. Pour assurer que la population cible tirera profit d'un programme d'enrichissement des aliments, il faudra choisir un véhicule alimentaire approprié, qui soit largement consommé tout au long de l'année par une grande partie de la population exposée au risque de carence considéré. Pour atteindre les différents groupes de population qui peuvent avoir des habitudes alimentaires différentes, il pourra être nécessaire de choisir plus d'un véhicule alimentaire. L'enrichissement d'un aliment de base en éléments nutritifs bénéficie à tous, qu'il s'agisse des personnes défavorisées, des femmes enceintes, des jeunes enfants ou de populations qui ne peuvent jamais être totalement couvertes par les services sociaux. De plus, l'enrichissement des aliments permet d'atteindre des groupes à risque secondaires, comme les personnes âgées et les personnes ayant un régime alimentaire déséquilibré. Cette stratégie est en général socialement acceptable, ne nécessite pas de changement des habitudes alimentaires, ne modifie pas les qualités organoleptiques des aliments, peut être rapidement mise en œuvre et produire rapidement des effets nutritionnels favorables dans la population cible, ne comporte aucun danger, et peut constituer un moyen de bon rapport coût-efficacité pour atteindre de vastes populations (les populations cibles) exposées au risque de carence en micronutriments.

Les effets bénéfiques de l'enrichissement des aliments peuvent toutefois être limités et on peut se heurter à des difficultés lors de sa mise en œuvre, avec des conséquences défavorables sur son efficacité. Il peut s'agir de craintes quant à un éventuel surdosage, ou d'une réticence à enrichir les aliments en arguant du droit du consommateur au libre choix de son alimentation. L'industrie

agroalimentaire peut émettre des réserves par crainte d'une demande commerciale insuffisante pour les produits enrichis ou de perceptions négatives des consommateurs face à des produits qu'ils pensent modifiés. L'enrichissement des aliments augmente en outre les coûts de production du fait de l'achat et de l'entretien de nouveaux équipements, des besoins accrus en personnel et des moyens nécessaires pour le contrôle et l'assurance de la qualité. Les ménages économiquement faibles risquent de ne pas avoir accès à ces aliments et d'autres groupes vulnérables, comme les enfants de moins de cinq ans, peuvent être dans l'incapacité de consommer des quantités suffisantes d'un aliment enrichi pour couvrir leurs besoins journaliers. Toutes ces questions doivent faire l'objet d'une évaluation soigneuse et sont exposées en détail dans les Directives.

La présente publication constitue un guide utile pour aider les décideurs à assurer que les populations vulnérables et à risque sur le plan nutritionnel tireront profit des programmes d'enrichissement des aliments, et la FAO et l'OMS souhaitent exprimer ici leurs remerciements à tous ceux qui ont participé à son élaboration. Nous réaffirmons notre engagement vis-à-vis des Objectifs du Millénaire pour le Développement fixés par les gouvernements pour l'amélioration globale de la nutrition et notre collaboration suivie avec les organismes nationaux et internationaux en vue d'accélérer la planification et la mise en œuvre de programmes complets et durables d'enrichissement des aliments en tant qu'élément des politiques, plans et programmes nationaux d'amélioration de la nutrition.

Kraisid Tontisirin  
Directeur,  
Division de la Nutrition et de la Protection des Consommateurs  
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

Denise C. Coitinho,  
Directeur,  
Département Nutrition pour la Santé et le Développement  
Organisation mondiale de la Santé

# Liste des auteurs

## **Lindsay Allen**

Center Director  
USDA, Agricultural Research Service  
Western Human Nutrition Research Center  
University of California  
Davis, California 95616, États-Unis d'Amérique

## **Bruno de Benoist**

Coordonnateur, Unité Micronutriments  
Département Nutrition pour la santé et le développement  
Organisation mondiale de la Santé  
1211 Genève 27, Suisse

## **Omar Dary**

Food fortification specialist  
A2Z Outreach/The USAID Micronutrient Leadership and Support and Child  
Blindness Activity  
Academy for Educational Development (AED)  
Washington D.C. 20009-5721, États-Unis d'Amérique

## **Richard Hurrell**

Chef, Laboratoire de Nutrition humaine  
Science alimentaire et Nutrition, Nutrition humaine  
École polytechnique fédérale (EPFZ)  
8092 Zurich, Suisse

## **Sue Horton**

Professor and Chair Division of Social Sciences  
Department of Economics  
Munk Center for International Studies  
University of Toronto (UTSC)  
Toronto, Ontario M5S 3K7, Canada

**Janine Lewis**

Principal Nutritionist, Nutrition and Labelling programme  
Food Standards Australia New Zealand  
PO Box 7186  
Canberra BC ACT 2610, Australie

**Claudia Parvanta**

Chair and Professor  
Department of Social Sciences  
University of the Sciences in Philadelphia  
Philadelphia, Pennsylvania, États-Unis d'Amérique

**Mohammed Rahmani**

Département des sciences alimentaires et nutritionnelles  
Institut agronomique et vétérinaire Hassan II  
BP 6202-Instituts  
10101 Rabat, Maroc

**Marie Ruel**

Division Director  
Food Consumption and Nutrition Division  
International Food Policy Research Institute  
Washington D.C. 20006, États-Unis d'Amérique

**Brian Thompson**

Division de la Nutrition et de la protection des consommateurs  
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture  
Via delle Terme di Caracalla  
00100 Rome, Italie

# Remerciements

Nous remercions tout particulièrement Jack Bagriansky, Rune Blomhoff, François Delange, Sean Lynch, Basil Mathioudakis et Suzanne Murphy pour leur contribution à la préparation du texte et à la mise en forme du manuscrit.

Les présentes Directives ont également bénéficié des remarques et conseils formulés par les participants à la Consultation technique d'experts organisée par l'OMS à Genève en avril 2003 dans le but d'examiner le manuscrit : Maria Andersson, Douglas Balentine, Denise Bienz, André Briend, Rolf Carriere, Ian Darnton-Hill, Jose Chavez, Jose Cordero, Hector Cori, Ines Egli, Dana Faulkner, Olivier Fontaine, Wilma Freire, Cutberto Garza, Rosalind Gibson, Joyce Greene, Graeme Clugston, Michael Hambidge, Pieter Jooste, Venkatesh Mannar, Reynaldo Martorell, Penelope Nestel, Ibrahim Parvanta, Poul Petersen, Peter Ranum, Beatrice Rogers, Richard Smith, Aristide Sagbohan, Bahi Takkouche, Tessa Tan Torres, Robert Tilden, Barbara Underwood, Tina Van Den Briel, Anna Verster, Emorn Wasantwisut, et Trudy Wijnhoven. Leurs conseils ont permis d'améliorer grandement la clarté du texte. Nous exprimons également toute notre gratitude à Irwin Rosenberg, dont le travail en tant que président de la réunion a permis de susciter des débats fructueux sur le contenu des Directives.

Nous remercions vivement Sue Hobbs, Erin McLean, Grace Rob et Afrah Shakori, dont la patience et la persévérance ont permis de mener à bien la production des Directives, ainsi que Victoria Menezes Miller qui a réalisé avec talent l'illustration de la couverture.

Nous souhaitons également exprimer toute notre reconnaissance au gouvernement du Luxembourg pour son généreux soutien financier à l'élaboration des présentes Directives. Grâce à cette contribution, il a été possible de mettre en place étape par étape le processus nécessaire à l'établissement des critères normatifs appropriés pour servir de guide aux États Membres de l'OMS et de la FAO dans la mise en œuvre de leurs programmes d'enrichissement des aliments. Ce processus a comporté entre autres l'organisation de plusieurs réunions d'experts consacrées à l'élaboration des Directives et d'une consultation technique destinée à leur examen et leur finalisation.

Enfin, nous souhaitons remercier ici l'Alliance mondiale pour une meilleure nutrition (Global Alliance for Improved Nutrition) pour son soutien à la publication des Directives.

## Abréviations

AI	Apport adéquat
BME	Besoin moyen estimé. <i>Voir</i> EAR
BPF	Bonnes pratiques de fabrication
CDC	Centers for Disease Control (États-Unis d'Amérique)
DALY	Année de vie ajustée sur l'incapacité
DFE	Équivalent folate alimentaire
DRI	<i>Dietary Recommended Intake</i>
DRV	<i>Dietary Reference Value</i>
EAR	<i>Estimated Average Requirement</i>
EDTA	Acide éthylènediamine tétracétique
FAO	Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture
FFL	Niveau d'enrichissement réalisable
FNB	Food and Nutrition Board
GAIN	Alliance mondiale pour une meilleure nutrition
HACCP	Analyse des risques – points critiques pour leur maîtrise
ICCIDD	International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders
INACG	International Nutritional Anemia Consultative Group
IOM	Institute of Medicine
IRLI	International Resource Laboratory for Iodine
IVACG	International Vitamin A Consultative Group
IZiNCG	International Zinc Nutrition Consultative group
LmL	Niveau minimum légal
mFL	Niveau minimum d'enrichissement
MI	Initiative pour les micronutriments
MTL	Niveau maximum tolérable
OIT	Organisation internationale du Travail
OMC	Organisation mondiale du Commerce
OMS	Organisation mondiale de la Santé
ONG	Organisation non gouvernementale
OPS	Organisation panaméricaine de la Santé
OTC	Obstacles techniques au commerce
PAM	Programme alimentaire mondial
PAR	Risque attribuable en population

PIB	Produit intérieur brut
PM	Poids moléculaire
RDA	Apport nutritionnel recommandé ( <i>Recommended Dietary Allowance</i> )
RE	Équivalent rétinol
RNI	Apport nutritionnel recommandé ( <i>Recommended Nutrient Intake</i> )
RR	Risque relatif
SPS	Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires
SUSTAIN	Sharing United States Technology to Aid in the Improvement of Nutrition
UL	Apport maximal tolérable ( <i>Tolerable Upper Intake Level</i> )
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'enfance
USD	Dollars des États-Unis d'Amérique
VNR	Valeur nutritionnelle de référence

# Glossaire

**Aliments transformés** : Aliments dans lesquels les denrées alimentaires brutes ont été transformées par un processus industriel pour en permettre la conservation. Certains peuvent être formulés en mélangeant plusieurs ingrédients différents.

**Apport adéquat (AI)** : Valeur d'apport recommandée, basée sur des approximations ou des estimations, observées ou déterminées de façon expérimentale, des apports nutritionnels dans un groupe ou des groupes de personnes apparemment en bonne santé et supposés adéquats.

**Apport alimentaire recommandé (DRI)** : Estimation quantitative d'un apport en éléments nutritifs utilisée comme valeur de référence pour la planification et l'évaluation de régimes alimentaires pour les personnes apparemment en bonne santé. Exemples : AI, EAR, RDA et UL.

**Apport habituel** : Apport moyen chez un individu sur une période relativement longue.

**Apport maximal tolérable (UL)** : Le plus grand apport journalier moyen d'un élément nutritif qui ne risque pas de créer un risque d'effets indésirables sur la santé chez la quasi-totalité (97,5 %) des individus apparemment en bonne santé d'un groupe d'âge et de sexe spécifique.

**Apport nutritionnel recommandé (RNI)** : Apport journalier qui couvre les besoins en éléments nutritifs de la quasi-totalité des individus apparemment en bonne santé d'un groupe d'âge et de sexe spécifique. Il se calcule en ajoutant deux écarts types au besoin moyen estimé.

**Apports nutritionnels recommandés (RDA)** : Définis par le Food and Nutrition Board des États-Unis d'Amérique, et identiques dans leur principe aux RNI, mais qui peuvent avoir une valeur légèrement différente pour certains micronutriments.

**Assurance de la qualité** : Mise en œuvre des activités planifiées et systématiques nécessaires pour assurer que des produits ou des services satisfont aux normes de qualité. La performance de l'assurance qualité peut être exprimée sous forme numérique par les résultats des procédures de contrôle de la qualité.

**Besoin en élément nutritif:** Apport régulier le plus faible d'un élément nutritif qui maintiendra chez un individu un niveau de nutrition défini pour un critère spécifique d'adéquation nutritionnelle.

**Besoin moyen estimé (BME, en anglais EAR):** Apport nutritionnel journalier moyen (médian) considéré comme couvrant les besoins de la moitié des individus en bonne santé d'un groupe d'âge et de sexe spécifique. Le BME sert à déterminer l'apport nutritionnel recommandé (RDA).

**Biodisponibilité relative:** Utilisée pour classer l'absorbabilité d'un élément nutritif en la comparant avec celle d'un élément nutritif de référence considéré comme ayant l'absorbabilité la plus efficiente.

**Contrôle de la qualité:** Techniques et évaluations utilisées pour documenter la conformité du produit à des normes techniques établies, et faisant appel à des indicateurs objectifs et mesurables.

**Efficacité en conditions contrôlées (ou efficacité théorique):** Capacité d'une intervention telle que l'enrichissement des aliments à obtenir l'impact souhaité dans des conditions idéales. Cette notion se rapporte habituellement aux essais d'intervention expérimentaux réalisés dans des conditions bien contrôlées.

**Efficacité en conditions réelles (ou efficacité pratique):** Impact d'une intervention dans la pratique. Par rapport à l'efficacité en conditions contrôlées, l'efficacité pratique d'un programme d'enrichissement des aliments sera limitée par des facteurs tels que l'absence de consommation, ou la faible consommation, de l'aliment enrichi.

**Enrichissement ciblé:** Enrichissement d'aliments destinés à des sous-groupes de population spécifiques, comme les aliments complémentaires pour nourrissons.

**Enrichissement des aliments dans un but commercial:** Situation dans laquelle le fabricant de produits alimentaires prend l'initiative d'ajouter un ou plusieurs micronutriments aux aliments transformés, habituellement dans les limites fixées par la réglementation, dans le but d'augmenter les ventes et de réaliser davantage de profit.

**Enrichissement des aliments:** Adjonction de micronutriments dans un aliment ou une denrée alimentaire, que ces éléments nutritifs soient originellement présents ou non dans l'aliment avant sa transformation. Synonyme : fortification alimentaire.

**Enrichissement universel (de certains aliments):** Adjonction de micronutriments à des aliments de consommation courante dans le grand public comme les céréales, les condiments et le lait.

**Équivalence nutritionnelle** : S'obtient lorsqu'un élément nutritif essentiel est ajouté à un produit élaboré de façon à ressembler à un aliment de consommation courante par son aspect, sa texture, sa saveur et son odeur, de telle sorte que le produit de substitution ait une valeur nutritive similaire en termes de quantité et de biodisponibilité de l'élément nutritif essentiel ajouté.

**Évaluation** : Évaluation de l'efficacité en conditions réelles et de l'impact du programme sur la population cible. L'évaluation a pour but d'apporter la preuve que le programme atteint ses objectifs nutritionnels.

**Fortification alimentaire** : Synonyme d'enrichissement des aliments. Action qui consiste à augmenter délibérément la teneur d'un aliment en un micronutriment essentiel (vitamines et minéraux, y compris oligo-éléments), de façon à améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation et à apporter un bénéfice sur le plan de la santé publique avec un risque minimal pour la santé.

**Iodation universelle du sel** : Adjonction d'iode à la totalité du sel destiné à la consommation humaine et animale.

**Limite de coût** : Augmentation maximale acceptable du prix d'une denrée alimentaire due à son enrichissement en micronutriments.

**Limite de sécurité** : La plus grande quantité d'un micronutriment qui peut être ajoutée sans danger à des aliments spécifiques. Elle prend en compte l'apport maximal tolérable (UL) pour l'élément nutritif considéré et le 95<sup>e</sup> centile de la consommation de l'aliment enrichi, et aussi le fait que l'élément nutritif est également consommé avec des aliments non enrichis, et peut subir des pertes pendant le stockage, la distribution et/ou la cuisson.

**Limite technologique** : Niveau maximal d'adjonction d'un micronutriment qui ne modifie pas les propriétés organoleptiques ou physiques de l'aliment.

**Micronutriment essentiel** : Tout micronutriment nécessaire pour la croissance et le développement et pour le maintien d'une vie en bonne santé, normalement consommé en tant que constituant des aliments et qui ne peut être synthétisé en quantités suffisantes par l'organisme humain.

**Niveau d'enrichissement réalisable (FFL)** : Niveau qui est déterminé, sous réserve des contraintes technologiques et de coût, comme celui qui fournit au plus grand nombre de personnes à risque un apport adéquat sans créer un risque inacceptable d'apport excessif dans l'ensemble de la population.

**Niveau maximal tolérable (MTL)** : Teneur maximale en micronutriment qu'un aliment enrichi peut contenir selon la législation sur les denrées alimentaires, afin de réduire au minimum le risque d'apport excessif. Cette valeur doit être égale ou inférieure à la limite de sécurité.

**Niveau minimal d'enrichissement (mFL) :** Valeur calculée en diminuant le niveau d'enrichissement réalisable de trois écarts types (ou coefficients de variation) du processus d'enrichissement, de façon que la moyenne soit égale ou inférieure à la valeur calculée du niveau d'enrichissement réalisable.

**Niveau minimal légal (LmL) :** Quantité minimale d'un micronutriment qu'un aliment enrichi doit contenir conformément à la réglementation et aux normes nationales. Cette valeur s'obtient en ajoutant la teneur intrinsèque de l'aliment en un micronutriment au niveau d'enrichissement choisi.

**Prémélange (ou prémix) :** Mélange d'un ou plusieurs micronutriments et d'un autre ingrédient, souvent de même nature que l'aliment à enrichir, ajouté au véhicule alimentaire pour améliorer la répartition du mélange de micronutriments au sein de l'aliment et pour réduire la séparation (ségrégation) entre l'aliment et les particules de micronutriments.

**Produits alimentaires :** Aliments de base, condiments et lait.

**Restitution :** Adjonction d'éléments nutritifs essentiels à des aliments pour reconstituer les quantités présentes à l'origine dans le produit naturel, mais perdues de façon inévitable lors de sa transformation (mouture), de son stockage ou de sa manutention.

**Surveillance :** Processus continu de collecte et d'examen d'informations sur les activités de mise en œuvre du programme dans le but d'identifier des problèmes (comme la non-conformité) et de prendre des mesures correctrices pour que le programme atteigne ses objectifs déclarés.

**Valeurs nutritionnelles de référence (VNR) :** Valeurs de référence définies par la Commission du Codex Alimentarius dans le but d'harmoniser l'étiquetage des aliments transformés. Ces valeurs sont applicables à tous les membres de la famille âgés de trois ans et plus. Elles sont constamment révisées à la lumière des nouvelles avancées des connaissances scientifiques.

## **PARTIE I**

Le rôle de l'enrichissement  
des aliments dans la lutte  
contre la malnutrition par  
carence en micronutriments



## CHAPITRE 1

# La malnutrition par carence en micronutriments : un problème de santé publique

### 1.1 Prévalence mondiale de la malnutrition par carence en micronutriments

La malnutrition par carence en micronutriments est largement répandue dans les pays industrialisés, mais plus encore dans les régions en développement. Elle peut toucher tous les groupes d'âge, mais ce sont les jeunes enfants et les femmes en âge de procréer qui tendent à figurer parmi les groupes les plus exposés au risque. La malnutrition par carence en micronutriments a de nombreux effets indésirables sur la santé humaine, qui ne sont pas tous apparents sur le plan clinique. Même des carences modérées (détectables par des mesures biochimiques ou cliniques) peuvent nuire gravement au fonctionnement de l'organisme humain. Par conséquent, outre ses effets visibles et directs sur la santé humaine, la malnutrition par carence en micronutriments a des répercussions profondes sur le développement économique et sur la productivité, notamment en termes de coûts potentiellement élevés pour la santé publique et de pertes au niveau de la formation du capital humain.

À l'échelle mondiale, les trois formes les plus communes de malnutrition par carence en micronutriments concernent les carences en fer, en vitamine A et en iode. À elles trois, elles touchent au moins un tiers de la population mondiale, essentiellement dans les pays en développement. C'est la carence en fer qui possède la plus forte prévalence. On estime à un peu plus de deux milliards le nombre de personnes anémiques, un peu moins de deux milliards celles dont l'alimentation n'apporte pas assez d'iode et à 254 millions le nombre d'enfants d'âge préscolaire qui manquent de vitamine A (**Tableau 1.1**).

Du point de vue de la santé publique, la malnutrition par carence en micronutriments est préoccupante non seulement du fait du très grand nombre de personnes touchées, mais aussi parce qu'en tant que facteur de risque pour de nombreuses maladies, elle peut contribuer à élever les taux de morbidité et même de mortalité. On a calculé que les carences en micronutriments interviennent dans environ 7,3% de la charge de morbidité mondiale, les carences en fer et en vitamine A figurant parmi les 15 causes majeures de la charge de morbidité mondiale (4).

D'après les données de mortalité de l'OMS, environ 0,8 million de décès (1,5% du total) peuvent être attribués chaque année à la carence en fer et autant

TABLEAU 1.1

**Prévalence des trois principales carences en micronutriments, par Région OMS**

Région OMS	Anémie <sup>a</sup> (population totale)		Apport en iode insuffisant <sup>b</sup> (population totale)		Carence en vitamine A <sup>c</sup>	
	Nombre (millions)	% du total	Nombre (millions)	% du total	Nombre (millions)	% du total
Afrique	244	46	260	43	53	49
Amériques	141	19	75	10	16	20
Asie du Sud-Est	779	57	624	40	127	69
Europe	84	10	436	57	Données non disponibles	
Méditerranée orientale	184	45	229	54	16	22
Pacifique occidentale	598	38	365	24	42	27
Total	2030	37	1989	35	254	42

<sup>a</sup> Valeur basée sur la proportion de la population ayant une concentration en hémoglobine inférieure au seuil établi.

<sup>b</sup> Valeur basée sur la proportion de la population ayant un taux d'iode urinaire <100 µg/l.

<sup>c</sup> Valeur basée sur la proportion de la population présentant des signes oculaires cliniques et/ou ayant un taux de rétinol sérique ≤ 0,70 µmol/l.

Sources : références 1–3.

à la carence en vitamine A. En termes de perte de vie en bonne santé, exprimée par le nombre d'années de vie ajustées sur l'incapacité (DALY), l'anémie ferriprive entraîne une perte de 25 millions de DALY (2,4% du total mondial), la carence en vitamine A une perte de 18 millions de DALY (1,8% du total mondial) et la carence en iode une perte de 2,5 millions de DALY (0,2% du total mondial) (4).

L'ampleur et l'impact des carences en autres micronutriments sont beaucoup plus difficiles à chiffrer, même s'il est probable que certaines formes de carence, notamment en zinc, en acide folique et en vitamine D, contribuent de façon non négligeable à la charge de morbidité mondiale. Il n'existe cependant que peu de données sur la prévalence de ces carences, et comme leurs effets sur la santé manquent souvent de spécificité, on connaît moins bien leurs répercussions sur la santé publique.

Dans les régions du monde les plus touchées par la pauvreté, on peut être certain de rencontrer la malnutrition par carence en micronutriments partout où il existe une sous-alimentation due à une insuffisance quantitative, et elle sera très probablement présente là où l'alimentation est peu diversifiée. D'une façon générale, alors que les populations aisées peuvent compléter leur alimentation de base par des denrées riches en micronutriments (telles que viande, poisson, volaille, œufs, lait et produits laitiers) et ont davantage accès à divers fruits et légumes, les plus pauvres tendent à ne consommer que des quantités réduites

de ces denrées et doivent se contenter d'une alimentation monotone composée essentiellement de céréales, racines et tubercules. La teneur des céréales (en particulier après mouture), des racines et des tubercules en micronutriments est faible, et ces aliments ne couvrent en général qu'une petite partie des besoins journaliers en la plupart des vitamines et minéraux. La consommation de matières grasses chez ces groupes de population est de même souvent très faible, et compte tenu du rôle des lipides dans l'absorption de divers micronutriments au niveau de la paroi intestinale, les régimes pauvres en graisses exposent encore davantage ces populations au risque de carence. Par conséquent, les populations qui consomment peu d'aliments d'origine animale risquent de montrer une prévalence élevée de carences multiples.

Dans les pays riches, des facteurs tels qu'un revenu plus élevé, un meilleur accès à une grande variété d'aliments naturellement riches ou enrichis en micronutriments, et de meilleurs services de santé, contribuent à abaisser le risque et la prévalence de la malnutrition par carence en micronutriments. Toutefois, une alimentation contenant une forte proportion d'aliments transformés riches en énergie mais pauvres en micronutriments peut comporter un risque de carence en micronutriments chez certains groupes de population. Même si actuellement cette situation se rencontre surtout dans les pays industrialisés, sa prévalence tend à augmenter rapidement dans les pays en transition socio-économique.

Le **Tableau 1.2** présente une vue générale de la prévalence, des facteurs de risque et des conséquences pour la santé des carences en chacun des 15 micronutriments examinés dans les présentes Directives. Pour les raisons exposées plus haut, les estimations de la prévalence ne sont données que pour les carences en fer, en vitamine A et en iode. On trouvera de plus amples informations dans le Système OMS d'informations nutritionnelles sur les vitamines et les minéraux.<sup>1</sup>

Jusqu'au début des années 1980, les efforts visant à combattre la sous-alimentation dans les pays en développement étaient axés sur la malnutrition protéino-énergétique. Alors que cette forme de malnutrition reste très préoccupante, nous avons été amenés à reconnaître l'importance de la malnutrition par carence en micronutriments sur le plan de la santé et du fonctionnement humains. On assiste depuis une vingtaine d'années à une intensification des travaux visant à comprendre et à combattre plusieurs carences spécifiques en micronutriments (7). Les efforts de lutte contre la carence en iode dans les pays en développement, par exemple, ont connu un nouvel essor au début des années 1980, lorsqu'on s'est aperçu que la carence en iode était la cause la plus fréquente de lésions cérébrales évitables et de retard mental chez

---

<sup>1</sup> Voir <http://www.who.int/nutrition/en>

TABLEAU 1.2

**Carences en micronutriments : prévalence, facteurs de risque et conséquences pour la santé**

Micronutriment <sup>a</sup>	Prévalence de la carence	Facteurs de risque	Conséquences pour la santé
Fer	On estime à 2 milliards le nombre de cas d'anémie dans le monde Dans les pays en développement, les taux de prévalence de l'anémie sont évalués à environ 50 % chez les femmes enceintes et les enfants de moins de 2 ans, 40 % chez les enfants d'âge scolaire et 25–55 % chez les autres femmes et enfants On estime que la carence martiale est responsable d'environ 50 % du nombre total de cas d'anémie On compte dans le monde environ 1 milliard de cas d'anémie ferriprive plus 1 milliard de cas de carence martiale sans anémie On estime à 254 millions le nombre d'enfants d'âge préscolaire qui présentent une carence en vitamine A	Faible consommation de viande, poisson et volaille et forte consommation de céréales et légumineuses Prématurité ou faible poids de naissance Grossesse et adolescence (périodes pendant lesquelles les besoins en fer sont particulièrement élevés) Règles abondantes Parasitoses (ankylostomiase, schistosomiase, ascariidase) entraînant des pertes de sang importantes Paludisme (provoque de l'anémie et non une carence en fer) Faibles apports en vitamine C (acide ascorbique) Allergie au lait de vache Faible consommation de produits laitiers, d'œufs et de $\beta$ -carotène des fruits et légumes Helminthiase, ascariidase	Baisse des fonctions cognitives Baisse de la capacité de travail et de l'endurance Réduction du métabolisme de l'iode et de la vitamine A Anémie Augmentation du risque de mortalité maternelle et infantile (dans le cas des formes graves d'anémie) Augmentation du risque de mortalité chez l'enfant et la femme enceinte Héméralopie, xérophthalmie

Iode	On estime à 2 milliards le nombre de personnes dont l'alimentation est pauvre en iode et qui sont à risque de troubles dus à la carence en iode	Résidence dans des régions où la teneur en iode du sol et de l'eau est faible Résidence en altitude, dans des plaines alluviales ou loin de la mer Consommation de manioc non détoxifié	Malformations congénitales Augmentation du risque de mortinascence et de mortalité infantile Défauts cognitifs et neurologiques, dont le crétinisme Altération des fonctions cognitives Hypothyroïdie Goitre
Zinc	Données insuffisantes, mais la prévalence de la carence est probablement modérée à forte dans les pays en développement, en particulier en Afrique, en Asie du Sud-Est et dans le Pacifique occidental	Faible consommation d'aliments d'origine animale Forte consommation de phytates Malabsorption et parasitoses intestinales Diarrhée, surtout persistante Troubles génétiques	Non spécifiques en cas de carence marginale Possibilité d'issues défavorables de la grossesse Retard de croissance (insuffisance staturale) Moindre résistance aux maladies infectieuses En cas de carence sévère, dermatite, retard de croissance, diarrhée, troubles mentaux, retard de la puberté et/ou infections à répétition
Acide folique (vitamine B9)	Données insuffisantes	Faible consommation de fruits, légumes, légumineuses et produits laitiers Malabsorption et parasitoses intestinales (p. ex. <i>Giardia lamblia</i> ) Trouble génétique du métabolisme de l'acide folique	Anémie mégaloblastique Facteur de risque pour : — défaut de fermeture du tube neural et autres malformations congénitales (bec-de-lièvre, malformations cardiaques) et issues défavorables de la grossesse — taux élevé d'homocystéine dans le plasma — cardiopathies et accidents vasculaires cérébraux — altération des fonctions cognitives — dépression

TABLEAU 1.2

**Carences en micronutriments : prévalence, facteurs de risque et conséquences pour la santé (suite)**

Micronutriment <sup>a</sup>	Prévalence de la carence	Facteurs de risque	Conséquences pour la santé
Vitamine B12 (cobalamine)	Données insuffisantes	Faible consommation d'aliments d'origine animale Malabsorption due à une atrophie gastrique induite par <i>Helicobacter pylori</i> , ou invasion bactérienne Trouble génétique du métabolisme de la vitamine B12	Anémie mégalo-blastique En cas de carence sévère, retard du développement, faibles scores neurocomportementaux et retard de croissance chez le nourrisson et l'enfant, démyélinisation et troubles neurologiques Facteur de risque pour : défaut de fermeture du tube neural taux élevés d'homocystéine dans le plasma altération des fonctions cognitives Le béribéri se présente sous deux formes : — une forme cardiaque avec risque d'insuffisance cardiaque (principalement chez le nouveau-né) — une forme neurologique avec neuropathie périphérique chronique (perte de la sensibilité et des réflexes) Syndrome de Wernicke-Korsakoff (habituellement chez l'alcoolique) avec confusion, troubles de la coordination et paralysie
Vitamine B1 (thiamine)	Données insuffisantes sur les carences marginales Des cas de carence sévère (béribéri) sont rapportés dans certaines régions du Japon et du nord-est de la Thaïlande Cas régulièrement rapportés dans des situations de famine et parmi les populations déplacées	Forte consommation de riz et de céréales raffinés Faible consommation d'aliments d'origine animale, de produits laitiers et de légumineuses Consommation de thiaminase (présente dans le poisson cru) Allaitement au sein (lorsque la mère est carencée) Alcoolisme chronique Trouble génétique du métabolisme de la thiamine	Symptômes non spécifiques, pouvant consister en fatigue, troubles oculaires et, dans les cas plus sévères, dermatite (stomatite, chéilite), dysfonctionnement cérébral et anémie microcytaire Diminution de l'absorption et de l'utilisation du fer
Vitamine B2 (riboflavine)	Données insuffisantes, mais des indices laissant à penser qu'elle pourrait être très fréquente dans les pays en développement	Faible consommation d'aliments d'origine animale et de produits laitiers Alcoolisme chronique	Symptômes non spécifiques, pouvant consister en fatigue, troubles oculaires et, dans les cas plus sévères, dermatite (stomatite, chéilite), dysfonctionnement cérébral et anémie microcytaire Diminution de l'absorption et de l'utilisation du fer

<p>Vitamine B3 (niacine)</p>	<p>Données insuffisantes sur les carences marginales Des cas de carence sévère (pellagre) s'observent encore couramment en Afrique, en Chine et en Inde et ont été récemment rapportés parmi les populations déplacées (sud-est de l'Afrique) et dans des situations de famine</p>	<p>Faible consommation d'aliments d'origine animale et de produits laitiers Forte consommation de céréales raffinées Alimentation à base de maïs (non traité par la chaux)</p>	<p>La carence sévère entraîne la pellagre, qui se caractérise par : — dermatite (éruption pigmentée symétrique sur les zones cutanées exposées à la lumière solaire) — altération de la muqueuse digestive (diarrhée et vomissements) — symptômes neurologiques, dépression et perte de mémoire</p>
<p>Vitamine B6</p>	<p>Données insuffisantes, mais d'après des rapports récents en provenance d'Égypte et d'Indonésie la carence pourrait être très répandue dans les pays en développement La carence est rarement isolée, mais est classiquement associée à des carences en d'autres vitamines du groupe B</p>	<p>Faible consommation d'aliments d'origine animale Forte consommation de céréales raffinées Alcoolisme chronique</p>	<p>Symptômes non spécifiques, pouvant consister en : — troubles neurologiques avec convulsions — dermatite (stomatite et chéilite) Anémie (éventuellement)</p>
<p>Vitamine C (acide ascorbique)</p>	<p>Données insuffisantes sur les carences modérées Des cas de carence sévère (scorbut) sont régulièrement rapportés dans des situations de famine (par exemple en Afrique orientale) et parmi les personnes déplacées dépendant de l'aide alimentaire pendant de longues périodes (par exemple en Afrique orientale, au Népal)</p>	<p>Faible consommation de fruits et légumes frais riches en vitamine C Cuisson prolongée</p>	<p>La carence sévère entraîne le scorbut avec syndrome hémorragique (saignement des gencives, douleurs articulaires et musculaires, œdème périphérique) Anémie</p>

TABLEAU 1.2

**Carences en micronutriments : prévalence, facteurs de risque et conséquences pour la santé (suite)**

Micronutriment <sup>a</sup>	Prévalence de la carence	Facteurs de risque	Conséquences pour la santé
Vitamine D	Données insuffisantes, mais probablement fréquente aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en développement Carence plus fréquente aux hautes latitudes (Nord et Sud) où le nombre d'heures de jour est limité pendant les mois d'hiver	Faible exposition au rayonnement solaire ultraviolet Protection excessive par des vêtements Peau foncée	Les formes sévères entraînent le rachitisme chez l'enfant et l'ostéomalacie chez l'adulte
Calcium	Données insuffisantes, mais les faibles apports sont très courants	Faible consommation de produits laitiers	Diminution de la minéralisation osseuse Augmentation du risque d'ostéoporose chez l'adulte Augmentation du risque de rachitisme chez l'enfant
Sélénium	Données insuffisantes sur les carences modérées Des cas de carence sévère sont rapportés dans certaines régions de Chine, du Japon, de Corée, de Nouvelle-Zélande, de Scandinavie et de Sibérie	Résidence dans un environnement pauvre en sélénium Faible consommation d'aliments d'origine animale Certaines données montrent que les symptômes ne sont pas dus à la seule carence en sélénium, mais également à la présence de virus Cocksakie (syndrome de Keshan) ou de mycotoxines (maladie de Kashin-Beck)	La carence sévère se traduit par : — myocardiopathie (syndrome de Keshan), ou — ostéoartrite chez l'enfant (maladie de Kashin-Beck) Augmentation du risque de cancer et de maladie cardio-vasculaire Exacerbation du dysfonctionnement thyroïdien provoqué par la carence en iode Augmentation du risque de carie dentaire
Fluor	SO	Résidence dans des régions où la teneur en fluor de l'eau est faible	

SO = sans objet

<sup>a</sup> Les micronutriments sont classés par ordre d'importance pour la santé publique.

Sources : d'après les références 1–3, 5, 6.

l'enfant (8, 9). On a également signalé à cette époque l'existence d'un risque accru de mortinaissance et de faible poids de naissance dans les régions carencées en iode (10, 11). Il importe de noter que la technologie de prévention de cette carence – l'iodation du sel – existait déjà et était en outre facile à mettre en œuvre et financièrement accessible même pour les pays dont le budget de la santé était limité. Il a donc semblé probable que l'iodation du sel pouvait constituer une option réalisable de prévention de la carence en iode à l'échelle mondiale.

De même, lorsqu'il a été établi que le statut en vitamine A était un déterminant important de la survie chez l'enfant – outre la prévention et le traitement des troubles oculaires, la supplémentation en vitamine A chez les enfants carencés réduit le risque de morbidité (notamment associé à la diarrhée sévère) et réduit la mortalité par rougeole ainsi que la mortalité toutes causes confondues (12, 13) – des mesures de lutte contre la carence en vitamine A (ou avitaminose A) ont été mises en place dans plusieurs régions du monde. En ce qui concerne la supplémentation en fer, des rapports montrant que celle-ci peut améliorer les fonctions cognitives, les résultats scolaires et la capacité de travail chez les personnes carencées (14, 15), et que l'anémie sévère augmente le risque de mortalité chez la mère et l'enfant (16), ont fortement encouragé la mise en place d'interventions portant sur le fer. Des essais d'interventions ont également établi que la supplémentation en zinc améliore la croissance chez les enfants carencés présentant un retard de croissance staturale (17), réduit les taux de diarrhée et de pneumonie (les deux principales causes de mortalité chez l'enfant) et raccourcit la durée des épisodes diarrhéiques (18, 19).

À la lumière de toutes ces observations, la communauté internationale a été amenée à une prise de conscience de l'importance de la malnutrition par carence en micronutriments sur le plan de la santé publique. En 1990, l'Assemblée mondiale de la Santé a adopté une résolution capitale priant instamment les États Membres de prévenir et combattre les troubles dus à la carence en iode (20). Au cours de cette même année, lors du Sommet mondial pour les enfants, les dirigeants du monde entier ont approuvé l'objectif de l'élimination virtuelle de la carence en iode et de l'avitaminose A et d'une baisse d'un tiers de la prévalence de l'anémie ferriprive chez les femmes. Ces objectifs ont par la suite été réaffirmés lors de plusieurs forums internationaux, dont la Conférence sur l'élimination de la faim cachée (Montréal, 1991), la Conférence internationale FAO/OMS sur la nutrition (Rome, 1992), l'Assemblée mondiale de la Santé (Genève, 1993) et la Session spéciale pour les enfants de l'Assemblée générale des Nations Unies (New York, 2002). On a assisté à un niveau de consensus et à un engagement remarquables en faveur de la lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments de la part des gouvernements, des agences des Nations Unies, des agences multilatérales et bilatérales, des établissements universitaires et des instituts de recherche, des organisations non gouvernementales et des organismes donateurs. Plus récemment, une fois reconnu le rôle

essentiel que peut jouer l'industrie – notamment l'industrie du sel, l'industrie agroalimentaire et l'industrie pharmaceutique – des liens plus étroits avec le secteur privé ont été établis. Cela s'est traduit par la création de certains partenariats public-privé axés sur la lutte contre les principales carences en micronutriments, comme l'Alliance mondiale pour une meilleure nutrition (Global Alliance for Improved Nutrition)<sup>1</sup> et le Réseau mondial pour l'élimination durable de la carence en iode (Global Network for Sustained Elimination of Iodine Deficiency).<sup>2</sup>

## 1.2 Stratégies de lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments

La lutte contre les carences en vitamines et minéraux constitue un élément essentiel de l'effort général de lutte contre la faim et la malnutrition. Les pays doivent adopter et soutenir une approche globale axée sur les causes de la malnutrition et de la «faim cachée» qui lui est souvent associée et qui est indissolublement liée à la pauvreté et à la précarité des moyens d'existence. Des mesures destinées à promouvoir une augmentation de la disponibilité, de l'accessibilité, de la consommation et de l'utilisation d'une quantité, d'une qualité et d'une variété appropriées d'aliments pour tous les groupes de population doivent être encouragées et soutenues. Le but recherché est d'assurer que tous les peuples soient en mesure de tirer de leur alimentation de quoi couvrir tous leurs besoins en énergie, en éléments nutritifs de base et en micronutriments pour pouvoir mener une vie productive et en bonne santé.

Les réponses au niveau des politiques et des programmes consistent en stratégies basées sur l'alimentation telles que la diversification alimentaire et l'enrichissement des aliments ainsi que l'éducation nutritionnelle, les mesures de santé publique et de sécurité alimentaire et enfin la supplémentation. Ces approches doivent être considérées comme complémentaires, leur importance relative variant selon les conditions locales et la répartition spécifique des besoins dans la population cible.

Parmi les trois options destinées à augmenter les apports alimentaires en micronutriments, les programmes de distribution de suppléments sont souvent ceux qui apportent l'amélioration la plus rapide du statut en micronutriments des personnes ou des groupes cibles. L'enrichissement des aliments tend à avoir un effet moins immédiat mais un impact beaucoup plus large et plus durable. Quant à la diversification alimentaire, si elle est généralement considérée comme l'option la plus souhaitable et dont les résultats sont les plus durables, c'est celle dont la mise en œuvre exige le plus de temps.

---

<sup>1</sup> Voir <http://www.gainhealth.org>

<sup>2</sup> Voir <http://www.iodinenetwork.net>

### 1.2.1 Diversification de l'alimentation

La diversification alimentaire consiste à augmenter à la fois la quantité et la variété des aliments riches en micronutriments qui sont consommés. Dans la pratique, cela suppose la mise en œuvre de programmes visant à améliorer la disponibilité, la consommation et l'accessibilité d'aliments riches en micronutriments (comme les aliments d'origine animale, les fruits et les légumes) en quantités suffisantes, en particulier chez les personnes à risque ou vulnérables. Dans les communautés les plus pauvres, il faut aussi veiller à assurer que l'apport alimentaire en matières grasses (huiles et graisses) est suffisant pour permettre une meilleure absorption des micronutriments présents en quantités limitées dans l'alimentation.

La diversification alimentaire est le moyen de choix pour améliorer la situation nutritionnelle dans une population car elle offre la possibilité d'améliorer simultanément les apports en nombreux constituants de l'alimentation, et non seulement en micronutriments. Des travaux en cours tendent à montrer que les aliments riches en micronutriments fournissent également divers antioxydants et substances probiotiques importants pour la protection contre diverses maladies non transmissibles et pour renforcer l'immunité. Cependant, en tant que stratégie de lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments, la diversification alimentaire n'est pas sans comporter des limites, dont la principale réside dans la nécessité de modifier les comportements et d'éduquer les populations cibles sur la façon dont certains aliments fournissent des micronutriments et d'autres substances nutritives. Le manque de ressources pour la production et l'acquisition d'aliments de qualité supérieure constitue dans bien des cas un obstacle à la diversification alimentaire, surtout dans le cas des populations les plus démunies. L'importance des aliments d'origine animale du point de vue de la qualité de l'alimentation est de plus en plus largement reconnue, et on étudie actuellement des approches novatrices pour en augmenter la production et la consommation dans les régions du monde les plus pauvres (21). Des efforts sont également en cours pour aider les populations pauvres à identifier, domestiquer ou cultiver des sources d'aliments riches en micronutriments, traditionnelles ou présentes dans la nature, en tant que moyen simple et financièrement accessible de répondre aux besoins en micronutriments (22–24).

En ce qui concerne les nourrissons, l'allaitement maternel est un moyen efficace de prévention des carences en micronutriments. Dans la plus grande partie du monde en développement, le lait maternel est la principale source de micronutriments jusqu'à l'âge d'un an (à l'exception du fer). L'allaitement au sein exclusif pendant les six premiers mois et sa poursuite au-delà de l'âge d'un an doivent donc être encouragés. De plus, toutes les femmes qui allaitent doivent être encouragées à consommer une alimentation saine et variée de façon que des quantités suffisantes de micronutriments soient sécrétées dans leur lait. Au-delà de l'âge de six mois, il est important que les aliments complémentaires

donnés aux nourrissons allaités au sein soient aussi variés et riches en micronutriments que possible.

### 1.2.2 Enrichissement des aliments

L'enrichissement des aliments, aussi appelé fortification alimentaire, désigne l'adjonction de micronutriments aux aliments transformés. Dans de nombreux cas, cette stratégie peut conduire à une amélioration rapide du statut en micronutriments dans une population, pour un coût très raisonnable, surtout si l'on peut s'appuyer sur des technologies et des circuits de distribution locaux existants. Avec des effets bénéfiques potentiellement importants, l'enrichissement des aliments peut constituer une intervention de santé publique d'un très bon rapport coût-efficacité. Mais il faut naturellement que le ou les aliments enrichis soient consommés en quantités suffisantes par une grande proportion des personnes concernées. Il est également nécessaire de pouvoir se procurer, et d'utiliser, des composés d'enrichissement («fortifiants») en micronutriments bien absorbés par l'organisme tout en ne modifiant pas les qualités organoleptiques des aliments. Dans la plupart des cas, il est préférable d'utiliser des véhicules alimentaires dont la transformation est centralisée et de s'assurer le soutien de l'industrie agroalimentaire.

L'enrichissement des aliments en micronutriments est une technologie intéressante pour réduire la malnutrition par carence en micronutriments dans le cadre d'une approche nutritionnelle lorsque les faibles ressources en denrées alimentaires et leur manque d'accessibilité ne permettent pas d'assurer des apports alimentaires suffisants en éléments nutritifs. Dans de tels cas, l'enrichissement des aliments renforce et appuie les programmes d'amélioration nutritionnelle et doit être envisagé comme élément à part entière d'une approche intégrée de plus grande ampleur visant à prévenir la malnutrition par carence en micronutriments, en complément d'autres approches.

### 1.2.3 Supplémentation

On désigne par supplémentation la fourniture de doses relativement élevées de micronutriments, habituellement sous la forme de comprimés, de gélules ou de sirop. La supplémentation présente l'avantage de pouvoir apporter une quantité optimale d'un ou plusieurs éléments nutritifs sous une forme hautement absorbable par l'organisme, et constitue souvent le moyen le plus rapide de combattre un état de carence chez des personnes ou des groupes de population identifiés comme carencés.

Dans les pays en développement, les programmes de supplémentation sont largement utilisés pour apporter du fer et de l'acide folique aux femmes enceintes et de la vitamine A aux nourrissons, aux enfants de moins de cinq ans et aux femmes venant d'accoucher. Comme une forte dose unique d'un supplément

de vitamine A améliore les réserves de cette vitamine pour une durée de 4 à 6 mois, une supplémentation réalisée deux à trois fois par an est en général suffisante. Cependant, lorsqu'il s'agit de vitamines et minéraux hydrosolubles, la prise de suppléments doit être plus fréquente. La supplémentation nécessite habituellement la fourniture et l'achat de micronutriments sous une forme préconditionnée relativement coûteuse, l'existence d'un système de distribution efficace et une bonne observance de la part des consommateurs (surtout si des suppléments doivent être pris de façon prolongée). Un approvisionnement insuffisant et une mauvaise observance sont régulièrement mentionnés par nombre de responsables comme principaux obstacles à la réussite des programmes de supplémentation.

#### 1.2.4 Mesures de santé publique

Outre les interventions spécifiques mentionnées ci-dessus, des mesures de santé publique de nature plus générale sont souvent nécessaires pour appuyer les activités visant à prévenir et combattre la malnutrition par carence en micronutriments, car celle-ci est souvent associée à un mauvais état nutritionnel général dans la population et à une prévalence élevée de maladies infectieuses et parasitaires. Il faudra ainsi lutter contre ces dernières (notamment par la vaccination, la lutte antipaludique et la lutte contre les parasites), et veiller à l'amélioration de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement. D'autres facteurs, comme la qualité des soins aux enfants et l'éducation des mères, doivent également être pris en compte lors de l'élaboration des mesures de santé publique destinées à combattre cette forme de malnutrition.

### 1.3 L'enrichissement des aliments dans la pratique

L'enrichissement des aliments est une pratique adoptée depuis longtemps avec succès dans les pays industrialisés pour lutter contre les carences en vitamines A et D, en certaines vitamines du groupe B (thiamine, riboflavine et niacine), en iode et en fer. L'iodation du sel a été adoptée au début des années 1920 en Suisse (25) et aux États-Unis d'Amérique (26); cette pratique a été progressivement étendue à toutes les régions du monde de sorte qu'actuellement, le sel iodé est utilisé dans la plupart des pays. Dès le début des années 1940, l'enrichissement des produits céréaliers en thiamine, riboflavine et niacine est devenu une pratique courante. La margarine a été enrichie en vitamine A au Danemark et le lait en vitamine D aux États-Unis d'Amérique. Les aliments destinés aux jeunes enfants ont été enrichis en fer, une pratique qui a grandement réduit le risque d'anémie ferriprive dans ce groupe d'âge. Plus récemment, l'enrichissement de la farine de blé en acide folique est devenu une pratique courante dans les Amériques; cette stratégie a été adoptée par le Canada, les États-Unis d'Amérique et une vingtaine de pays d'Amérique latine.

Dans les pays moins industrialisés, l'enrichissement des aliments est devenu ces dernières années une option jugée intéressante, à tel point que les programmes prévus ont pu être mis en œuvre plus rapidement qu'on ne l'avait cru possible. Au vu des bons résultats des programmes d'enrichissement du sucre en vitamine A établis de longue date en Amérique centrale, où on a pu faire baisser de façon considérable la prévalence de la carence en cette vitamine, des initiatives du même type sont tentées dans d'autres parties du monde. Actuellement, la première expérience d'enrichissement du sucre en Afrique subsaharienne est en cours en Zambie; si elle donne des résultats positifs, elle sera étendue à d'autres pays. Darnton-Hill et Nalubola (27) ont identifié au moins 27 pays en développement qui pourraient tirer profit de programmes d'enrichissement d'un ou plusieurs aliments.

Malgré les résultats positifs obtenus dans le passé, très peu de programmes d'enrichissement des aliments ont procédé à une évaluation formelle de leur impact sur l'état nutritionnel des populations visées. Pourtant, sans une composante spécifique d'évaluation, une fois un programme lancé, il est difficile de savoir si l'amélioration de l'état nutritionnel de la population est due à l'intervention ou à d'autres modifications survenues pendant la même période, par exemple des interventions de santé publique ou une amélioration de la situation socio-économique. Les preuves que les programmes d'enrichissement des aliments ont réellement amélioré l'état nutritionnel viennent donc plutôt des essais d'efficacité théorique et/ou de rapports faisant état de l'efficacité observée dans la pratique. Les essais d'efficacité théorique, réalisés dans des conditions d'alimentation contrôlées, sont relativement nombreux et ont fourni des informations utiles sur l'impact des aliments enrichis sur l'état nutritionnel et d'autres critères. Les preuves de l'efficacité du programme en situation réelle, obtenues par une évaluation des modifications de l'état nutritionnel et d'autres critères une fois le programme mis en place, sont moins nombreuses. Sur les quelques études réalisées, très peu comportaient un groupe témoin sans intervention, une lacune qui affaiblit la validité des résultats.

### 1.3.1 Essais d'efficacité en conditions contrôlées

Comme on l'a vu plus haut, les essais d'efficacité, qui portent en fait sur l'efficacité théorique des interventions, évaluent l'impact d'une intervention qui serait réalisée dans des conditions idéales. Dans le cas de l'enrichissement des aliments, ces essais supposent classiquement la consommation d'une quantité connue de l'aliment enrichi par tous les sujets participant à l'essai. Dans la plupart des essais d'efficacité réalisés jusqu'à présent, les aliments enrichis ont amélioré le statut en micronutriments. On trouvera ci-dessous quelques exemples d'essais portant sur divers micronutriments. Les principes généraux de l'évaluation de l'impact des programmes, avec la description des protocoles d'essai, sont exposés plus en détail dans le Chapitre 8 de ces Directives.

### 1.3.1.1 Enrichissement en fer

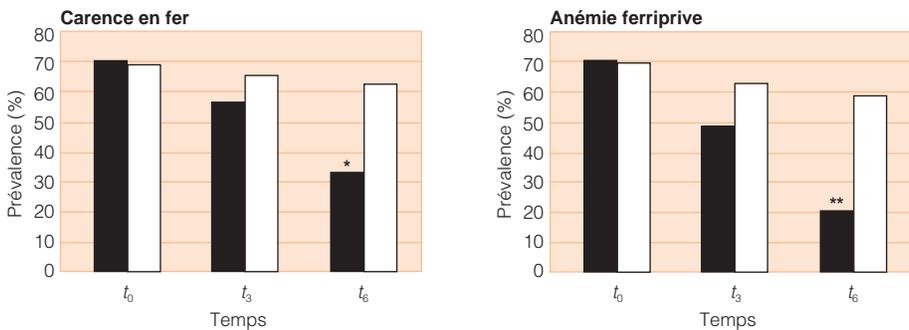
Au Viet Nam, des essais d'efficacité sur six mois ont démontré que l'enrichissement de la sauce de poisson en fer pouvait améliorer de façon significative le statut en fer et réduire l'anémie et la carence martiale (28). Les sujets recrutés dans l'essai étaient des ouvrières d'usine anémiques, non enceintes, qui ont consommé 10 ml par jour d'une sauce enrichie en fer à raison de 100 mg (sous forme de NaFeEDTA) par 100 ml. La **Figure 1.1** montre l'effet de cette intervention sur la carence martiale et l'anémie ferriprive, toutes deux sensiblement réduites au bout de 6 mois dans le groupe ayant reçu la sauce enrichie en fer par rapport au groupe témoin ayant reçu un placebo.

En Chine, une série d'études ont été réalisées pour évaluer l'efficacité théorique et pratique et la faisabilité de l'enrichissement en fer (sous forme de NaFeEDTA) de la sauce de soja. La consommation quotidienne de 5 mg ou 20 mg de fer dans la sauce enrichie s'est avérée très efficace pour le traitement de l'anémie ferriprive chez l'enfant; des effets positifs ont été observés dans les trois mois suivant le début de l'intervention (J.Chen, cité dans la référence 29). Dans un essai d'efficacité en double aveugle contre placebo sur la sauce enrichie en fer et portant sur environ 10 000 femmes et enfants, on a observé une diminution de la prévalence de l'anémie dans les six mois suivant le début de l'intervention (voir aussi section 1.3.2.2).

Dans une population d'Indiens vivant en Afrique du Sud et présentant une carence en fer, l'enrichissement de la poudre de curry en NaFeEDTA a entraîné une amélioration significative du taux d'hémoglobine, du taux de ferritine et des

FIGURE 1.1

#### Effet de l'enrichissement en fer de la sauce de poisson sur le statut en fer d'ouvrières vietnamiennes anémiques non enceintes



Prévalence de la carence en fer et de l'anémie ferriprive au début de l'intervention et au bout de 3 et 6 mois dans le groupe d'intervention ■ (10 mg de fer par jour dans de la sauce de poisson enrichie en NaFeEDTA (n = 64) et dans le groupe témoin □ (n = 72) chez des Vietnamiennes anémiques.

Source: reproduit d'après la référence 28, avec l'autorisation des éditeurs.

réserves martiales chez les femmes, et du taux de ferritine chez les hommes (30). Au cours de cette étude qui a duré deux ans, la prévalence de l'anémie ferriprive parmi les femmes est tombée de 22 % à 5 %.

Malheureusement, on ne dispose pas à l'heure actuelle d'essais bien conçus portant sur l'impact de l'enrichissement de la farine en fer.

### 1.3.1.2 *Enrichissement en vitamine A*

Des essais réalisés aux Philippines ont montré que l'enrichissement du glutamate monosodique en vitamine A avait des effets positifs sur la mortalité chez l'enfant et améliorait la croissance et les taux d'hémoglobine dans ce groupe d'âge (31). Des essais ultérieurs sur des enfants d'âge préscolaire ayant consommé quotidiennement pendant six mois 27 g de margarine enrichie en vitamine A ont rapporté une baisse de la prévalence des faibles taux de rétinol sérique, qui sont passés de 26 % à 10 % (32). De la farine de blé enrichie en vitamine A et donnée sous forme de *buns* à des écoliers philippins pendant 30 semaines a permis de réduire de moitié le nombre de ces enfants présentant de faibles réserves hépatiques de cette vitamine (33).

### 1.3.1.3 *Enrichissement en micronutriments multiples*

Un certain nombre d'essais ont évalué l'efficacité théorique d'aliments et de boissons spécialement formulés pour servir de véhicules d'enrichissement en micronutriments multiples. En Afrique du Sud, par exemple, la distribution de biscuits enrichis en fer, en  $\beta$ -carotène et en iode a amélioré le statut en tous ces micronutriments chez des écoliers (34). Le statut en vitamine A et en fer se détériorait pendant les longues vacances scolaires, au cours desquelles les enfants ne recevaient plus ces biscuits. L'enrichissement en 10 micronutriments d'une boisson aromatisée augmentait les taux de rétinol sérique et réduisait la carence en fer chez des écoliers de Tanzanie et améliorait également leur croissance (35). De même, au Botswana, la consommation régulière d'une boisson enrichie en 12 micronutriments par des enfants d'âge scolaire augmentait la croissance pondérale et le périmètre du bras à mi-hauteur, et améliorait le statut en fer, en folates, en riboflavine et en zinc (36).

## 1.3.2 *Évaluations de l'efficacité en conditions réelles*

L'évaluation de l'efficacité en conditions réelles a pour but de déterminer l'impact d'une intervention ou d'un programme dans la pratique et non dans des conditions contrôlées. Du fait de facteurs tels que la non-consommation de l'aliment enrichi, l'impact réel d'une intervention sera probablement plus faible que lors des essais d'efficacité (voir aussi le Chapitre 8: Surveillance et évaluation).

### 1.3.2.1 Enrichissement en iode

De nombreuses études, notamment dans les pays développés, ont clairement démontré que l'iodation du sel est un moyen efficace de lutte contre la carence en iode. Aux États-Unis d'Amérique, l'iodation du sel à grande échelle au Michigan a abaissé les taux de goitre, qui sont passés d'environ 40% à moins de 10% (26). Au début du vingtième siècle, presque tous les écoliers de Suisse étaient atteints de goitre et 0,5% de la population souffrait de crétinisme. L'introduction de l'iodation du sel en 1922 a fait chuter de façon spectaculaire la prévalence du goitre et de la surdimutité chez l'enfant. Depuis cette époque, un programme permanent d'iodation du sel assure un statut en iode adéquat à l'ensemble de la population du pays (25). Malgré ces preuves incontestables en faveur de l'iodation du sel, on estimait encore à 54 le nombre des pays ayant encore en 2003 un statut nutritionnel en iode insuffisant (défini par un taux médian d'iode urinaire inférieur à 100 µg/l) (2).

### 1.3.2.2 Enrichissement en fer

L'efficacité de l'enrichissement en fer a été démontrée dans plusieurs régions du monde. L'enrichissement en fer du lait en poudre pour nourrissons a été associé à une baisse considérable de la prévalence de l'anémie chez les enfants de moins de cinq ans aux États-Unis d'Amérique (37, 38). Au Venezuela, la farine de blé et la farine de maïs sont enrichies en fer (sous forme d'un mélange de fumarate ferreux et de fer élémentaire), en vitamine A et en diverses vitamines du groupe B depuis 1993. Une comparaison de la prévalence de la carence martiale et de l'anémie avant et après l'intervention a montré une baisse significative de la prévalence de ces affections chez l'enfant (39). Au Chili, l'enrichissement du lait en fer et en vitamine C (acide ascorbique) a entraîné une baisse rapide de la prévalence de la carence martiale chez les nourrissons et les enfants en bas âge (40, 41). L'efficacité de l'enrichissement de la sauce de soja en fer est en cours d'évaluation en Chine dans une population de 10 000 femmes et enfants chinois à haut risque d'anémie. Les résultats préliminaires de l'étude en double aveugle contre placebo menée pendant deux ans ont mis en évidence une baisse de la prévalence de l'anémie dans tous les groupes d'âge au bout des six premiers mois (J. Chen, cité dans la référence 29).

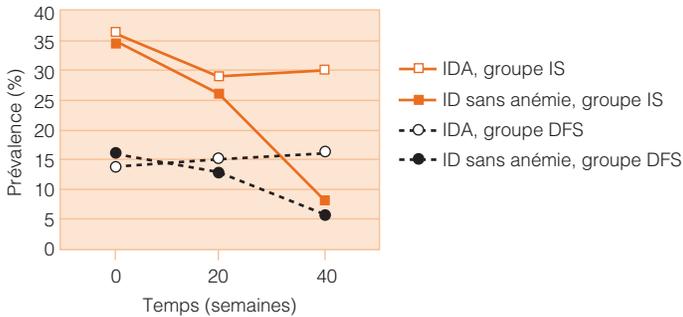
Malheureusement, très peu d'autres programmes d'enrichissement en fer ont été évalués. Il serait pourtant urgent de disposer d'informations sur l'efficacité théorique et pratique de l'enrichissement de la farine en fer (42).

### 1.3.2.3 Enrichissement combiné en fer et en iode

Un essai d'efficacité randomisé en double aveugle réalisé chez des écoliers marocains ( $n = 367$ ) a montré que l'enrichissement double du sel en fer et en iode peut améliorer à la fois le statut martial et le statut en iode (43). Les résultats

FIGURE 1.2

### Effet du sel doublement enrichi (en fer et en iode) sur le statut en fer d'écoliers marocains



La probabilité d'anémie ferriprive (IDA) et de carence martiale sans anémie (ID) était sensiblement plus faible chez les enfants de 6–15 ans recevant du sel doublement enrichi (DFS) contenant à la fois du fer et de l'iode ( $n = 183$ ) que chez ceux recevant du sel iodé (IS) ( $n = 184$ ). Pour l'anémie ferriprive comme pour la carence en fer sans anémie, la différence entre les groupes recevant le sel iodé et le sel doublement enrichi augmentait de façon significative avec le temps ( $p < 0,01$ ).

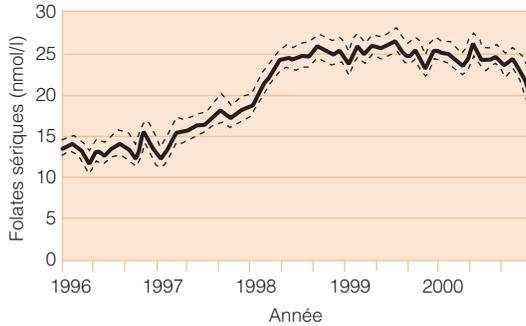
Source : reproduit d'après la référence 44.

de cet essai de 40 semaines, dans lequel le sel était enrichi en fer à raison de 1 mg de fer par gramme de sel (sous forme de sulfate ferreux microencapsulé avec de l'huile végétale partiellement hydrogénée) sont résumés sur la **Figure 1.2**. Outre l'amélioration du statut martial, on a observé dans le groupe traité une réduction significative du volume de la thyroïde à la fin de l'essai. Comme le fer est nécessaire pour la synthèse de la thyroxine, la carence en fer réduit l'efficacité de la prophylaxie par l'iode. Ainsi, en apportant à la fois de l'iode et du fer, on a pu maximiser l'impact de l'enrichissement du sel en iode.

#### 1.3.2.4 Enrichissement en vitamine A

L'enrichissement du sucre en vitamine A est une stratégie largement utilisée dans toute l'Amérique centrale. Lancé au Guatemala en 1974, et étendu aux autres pays de la région au cours des années qui ont suivi, ce programme a eu pour effet de réduire la prévalence des faibles taux de rétinol sérique – de 27% en 1965 à 9% en 1977 (45, 46). Les résultats semblent également indiquer que l'enrichissement du sucre augmente sensiblement la concentration de vitamine A dans le lait maternel (47). Lorsque le programme a été temporairement interrompu dans certaines parties de la région, la prévalence des faibles rétinolémies est remontée. L'enrichissement du sucre en vitamine A est toujours pratiqué au Guatemala.

FIGURE 1.3

**Effet de l'enrichissement de la farine en acide folique sur le statut en folates de Canadiennes âgées**

Taux de folates sériques dans une étude transversale sur 15664 Canadiennes de 65 ans et plus en relation avec l'introduction de l'enrichissement de la farine à la mi-1997. Les données sont présentées sous forme de valeurs moyennes (en trait plein) avec leurs intervalles de confiance à 95 % (en pointillé).

Source : reproduit d'après la référence 53, avec l'autorisation des éditeurs.

### 1.3.2.5 Enrichissement en acide folique

L'introduction de l'enrichissement obligatoire de la farine de blé en acide folique aux États-Unis d'Amérique en 1998 s'est accompagnée d'une baisse significative de la prévalence du défaut de fermeture du tube neural (48) et d'une baisse des taux plasmatiques d'homocystéine. (Les taux élevés d'homocystéine dans le plasma sont connus comme facteur de risque de maladies cardio-vasculaires et autres problèmes de santé (49)). Même si ces résultats peuvent aussi avoir été dus à d'autres facteurs, il y a eu sans aucun doute une augmentation des apports en folates (50) et une amélioration du statut en folates (49) dans la population au cours de la période qui a suivi immédiatement la mise en œuvre de cette nouvelle législation. Une amélioration similaire du statut en folates a été observée au Canada après le début de l'enrichissement de la farine de blé en ce micronutriment (51) (voir **Figure 1.3**).

De même, au Chili, un programme national d'enrichissement de la farine en acide folique a augmenté les taux de folates sériques et abaissé les taux d'homocystéine sérique chez un groupe de personnes âgées (52).

### 1.3.2.6 Enrichissement en autres vitamines du groupe B

Le béribéri, la carence en riboflavine, la pellagre et l'anémie étaient des problèmes de santé publique largement répandus pendant les années 1930 dans plusieurs pays, dont les États-Unis d'Amérique. Pour tenter de réduire la prévalence de

ces affections, il a été décidé d'ajouter de la thiamine, de la riboflavine, de la niacine et du fer à la farine de blé. Avec la mise en œuvre de programmes d'enrichissement en ces micronutriments au début des années 1940 aux États-Unis d'Amérique et dans certains pays européens, ces carences ont largement disparu (54). S'il est possible que d'autres facteurs – notamment une plus grande diversité alimentaire – aient joué un rôle, la farine enrichie continue de contribuer de façon importante aux apports nutritionnels recommandés pour les vitamines du groupe B et le fer dans ces pays et dans de nombreux autres.

### 1.3.2.7 *Enrichissement en vitamine D*

La quasi-élimination du rachitisme chez l'enfant dans les pays industrialisés a été largement attribuée à l'adjonction de vitamine D au lait, une pratique qui a débuté dans les années 1930 au Canada et aux États-Unis d'Amérique. Toutefois, certains signes laissent à penser que cette affection émerge à nouveau en tant que problème de santé publique dans ces pays (55). Dans une étude récente sur des femmes africaines-américaines, on a observé qu'une faible consommation de lait enrichi en vitamine D était un facteur prédictif significatif pour la prévalence de la carence en cette vitamine (56). L'enrichissement du lait en vitamine D réduit également le risque d'ostéoporose chez les personnes âgées, notamment dans les régions situées aux latitudes élevées, où le rayonnement ultraviolet est faible pendant les mois d'hiver (57, 58).

## 1.4 **Avantages et limites de l'enrichissement des aliments en tant que stratégie de lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments**

En tant qu'approche basée sur l'alimentation, l'enrichissement des aliments (ou fortification alimentaire) comporte un certain nombre d'avantages sur d'autres interventions visant à prévenir et combattre la malnutrition par carence en micronutriments :

- S'ils sont consommés fréquemment et régulièrement, les aliments enrichis maintiendront les réserves de l'organisme en éléments nutritifs de façon plus efficace et plus efficiente que ne le ferait la prise intermittente de suppléments. Ils sont en outre plus à même de réduire le risque de carences multiples résultant de déficits saisonniers des apports alimentaires ou d'un régime alimentaire de qualité médiocre. Cela représente un avantage certain pour les enfants, qui ont besoin d'un apport constant de micronutriments pour leur croissance et leur développement, et pour les femmes en âge de procréer, qui doivent avoir des réserves suffisantes en éléments nutritifs avant d'entrer dans une période de grossesse et d'allaitement. L'enrichissement des aliments peut être un excellent moyen d'augmenter la teneur en vitamines dans le lait

maternel et ainsi réduire les besoins en suppléments pendant le post-partum et chez les nourrissons.

- L'enrichissement des aliments vise en général à fournir des micronutriments en quantités à peu près équivalentes de celles qu'apporterait une alimentation équilibrée de bonne qualité. Par conséquent, les denrées de base enrichies contiendront des quantités « naturelles » ou avoisinantes de micronutriments, ce qui peut ne pas être le cas avec des suppléments.
- L'enrichissement d'aliments de consommation courante a la capacité d'améliorer l'état nutritionnel d'une partie importante de la population, les ménages pauvres comme les ménages aisés.
- L'enrichissement des aliments ne nécessite pas de changement des modes de consommation alimentaire – changements qui sont notoirement difficiles à obtenir, surtout à court terme – ni d'observance au niveau individuel.
- Presque partout, le système de distribution des aliments enrichis est déjà en place, généralement par le biais du secteur privé. Du fait de la tendance mondiale à l'urbanisation, une proportion toujours plus grande de la population, y compris dans les pays en développement, consomme des aliments industriels plutôt que des aliments de production locale. Cela offre à de nombreux pays la possibilité d'élaborer des stratégies efficaces de lutte reposant sur l'enrichissement centralisé des denrées alimentaires de base, stratégies qui n'auraient auparavant permis d'atteindre qu'une très petite partie de la population.
- Les carences multiples en micronutriments coexistent souvent dans les populations ayant une alimentation de qualité médiocre. Un enrichissement multiple en micronutriments est alors souhaitable. Dans la plupart des cas, il est possible d'enrichir les aliments en plusieurs micronutriments à la fois.
- Il est habituellement possible d'ajouter un ou plusieurs micronutriments sans augmenter sensiblement le coût total du produit au niveau du site de production.
- Avec une réglementation convenable, l'enrichissement des aliments ne comporte qu'un risque minime de toxicité chronique.
- L'enrichissement des aliments possède souvent un meilleur rapport coût-efficacité que d'autres stratégies, surtout si la technologie existe déjà et si un système approprié de distribution est en place (59, 60).

Même s'il est généralement admis que l'enrichissement des aliments peut avoir un impact positif considérable sur la santé publique, cette stratégie de lutte comporte certaines limites :

- Bien que contenant des quantités accrues de certains micronutriments, les aliments enrichis ne remplacent pas une alimentation de bonne qualité fournissant un apport suffisant en énergie, en protéines, en acides gras essentiels et autres constituants indispensables pour un état de santé optimal.
- Un aliment enrichi particulier peut ne pas être consommé par tous les membres d'une population cible. Inversement, tous sont exposés à des quantités accrues de micronutriments, qu'ils en aient besoin ou non.
- Les nourrissons et les enfants en bas âge, qui consomment des quantités relativement réduites d'aliments, ne recevront probablement pas la totalité des apports recommandés en micronutriments à partir des seuls aliments de base et condiments enrichis ; dans ces groupes d'âge, des aliments complémentaires également enrichis peuvent être appropriés. Il est aussi probable que dans de nombreux endroits, les aliments enrichis ne fourniront pas des quantités suffisantes de certains micronutriments, comme le fer chez les femmes enceintes, auquel cas des suppléments seront encore nécessaires pour répondre aux besoins de certains groupes de population.
- Il arrive souvent que les aliments enrichis ne puissent profiter aux groupes les plus pauvres parmi la population générale, ceux qui sont le plus exposés au risque de carence. Cela s'explique par l'accès limité de ces groupes à des aliments enrichis, du fait de leur faible pouvoir d'achat et de circuits de distribution insuffisants. De nombreux groupes sous-alimentés vivent souvent en marge de l'économie de marché et s'approvisionnent en denrées cultivées par eux-mêmes ou de production locale. La disponibilité, l'accessibilité et la consommation de quantités suffisantes et diversifiées d'aliments riches en micronutriments, comme les aliments d'origine animale et les fruits et légumes, sont limitées. De même, l'accès de ces groupes au système de distribution des produits alimentaires est réduit et ces personnes n'achètent que très peu de produits transformés. La production de riz, en particulier, tend à être familiale ou locale, de même que celle du maïs. Dans les populations dont l'alimentation repose sur ces produits, il peut être difficile de trouver un aliment approprié pour l'enrichissement. L'enrichissement du sucre, des sauces, des assaisonnements et autres condiments peut apporter une solution à ce problème dans certains pays, si ces produits sont consommés en quantités suffisantes par les groupes cibles.
- On sait que les groupes de population à très faible revenu présentent des carences multiples en micronutriments en raison d'un apport insuffisant par l'alimentation traditionnelle. Bien que l'enrichissement multiple soit techniquement possible, dans la pratique les populations pauvres ne pourront pas atteindre les apports recommandés en chacun des micronutriments à l'aide des seuls aliments enrichis.

- Certaines questions technologiques concernant l'enrichissement des aliments doivent encore être résolues, notamment en ce qui concerne les quantités appropriées d'éléments nutritifs, la stabilité des composés utilisés («fortifiants»), les interactions entre éléments nutritifs, leurs propriétés physiques et leur acceptabilité par les consommateurs du point de vue du comportement à la cuisson et de la saveur des aliments (voir Partie III).
- La nature de l'aliment choisi comme véhicule et/ou du composé d'enrichissement peut limiter la quantité de ce dernier qui peut être ajoutée de façon appropriée. Par exemple, certains composés d'enrichissement en fer peuvent modifier la couleur et la saveur de nombreux aliments et détruire la vitamine A et l'iode également ajoutés comme composés d'enrichissement. On a trouvé des moyens de résoudre certains de ces problèmes (par exemple par micro-encapsulation des composés d'enrichissement avec un enrobage protecteur), mais il reste quelques difficultés (voir Partie III).
- S'il est généralement possible d'ajouter un mélange de vitamines et de minéraux à des aliments relativement inertes et secs, comme les produits céréaliers, des interactions entre les micronutriments ajoutés peuvent se produire et entraîner une altération des qualités organoleptiques de l'aliment ou la stabilité des éléments ajoutés. On manque de données concernant l'impact quantitatif, sur l'absorption de chaque micronutriment, des interactions entre les éléments ajoutés sous forme de mélange. Cette incertitude complique la détermination de la quantité de chaque micronutriment qui doit être ajoutée à l'aliment. Par exemple, un taux élevé de calcium peut inhiber l'absorption du fer ajouté; la présence de vitamine C a l'effet inverse et augmente l'absorption du fer.
- Bien que cette stratégie ait souvent un meilleur rapport coût-efficacité que les autres, le processus d'enrichissement des aliments comporte par lui-même des coûts non négligeables, ce qui peut limiter la mise en œuvre et l'efficacité des programmes. Ce sont en général les coûts associés au démarrage du programme, à la réalisation des essais concernant la teneur, les propriétés physiques et la saveur des micronutriments ajoutés, à l'analyse réaliste du pouvoir d'achat des bénéficiaires prévus, ainsi que les coûts renouvelables associés à la création et au maintien de la demande en ces produits et le coût d'un système efficace de surveillance au niveau national destiné à assurer que l'enrichissement des aliments est à la fois efficace et sans danger (voir Chapitre 9).

La réussite et la pérennité des programmes d'enrichissement des aliments (aussi appelés programmes de fortification alimentaire), en particulier dans les pays pauvres en ressources, nécessite qu'ils soient mis en œuvre conjointement avec des programmes de réduction de la pauvreté et d'autres programmes

d'intervention agricoles, sanitaires, éducatifs et sociaux visant à promouvoir la consommation et l'utilisation de quantités suffisantes d'aliments nutritifs de bonne qualité chez les groupes de population vulnérables sur le plan nutritionnel. L'enrichissement des aliments doit donc être envisagé en tant que stratégie complémentaire pour l'amélioration du statut en micronutriments.

## CHAPITRE 2

# L'enrichissement des aliments : principes de base

L'enrichissement des aliments, aussi appelé fortification alimentaire, est habituellement considéré comme le fait d'ajouter délibérément un ou plusieurs micronutriments à des aliments déterminés, de façon à accroître l'apport en ce ou ces micronutriments dans le but de corriger ou de prévenir une carence démontrée et d'apporter un bénéfice pour la santé. Le degré d'enrichissement des denrées alimentaires au niveau national ou régional est très variable. Dans certains cas, on se contente d'augmenter la concentration d'un seul micronutriment dans un seul aliment (par exemple l'iodation du sel), tandis qu'à l'autre extrême il peut exister toute une série d'associations entre divers aliments et divers micronutriments. L'impact de l'enrichissement des aliments sur la santé publique dépend d'un certain nombre de paramètres, principalement le degré d'enrichissement, la biodisponibilité des composés utilisés pour enrichir les aliments, et la quantité d'aliments enrichis consommée. Toutefois, en règle générale, plus un aliment enrichi sera largement et régulièrement consommé, plus la proportion de la population qui tirera un bénéfice de l'intervention sera élevée.

## 2.1 Terminologie

### 2.1.1 Enrichissement des aliments

Aux fins des présentes Directives, l'enrichissement des aliments (dans certains pays, appelé fortification alimentaire) est la pratique qui consiste à augmenter délibérément la teneur d'un aliment en micronutriments essentiels<sup>1</sup> – c'est-à-dire en vitamines et minéraux (y compris les oligo-éléments) – de façon à améliorer la qualité nutritionnelle de l'alimentation et à apporter un bénéfice pour la santé publique avec un risque minimum. Les effets bénéfiques de l'enrichissement des aliments pour la santé publique peuvent être mis en évidence, ou estimés potentiels ou plausibles par des travaux de recherche, et comprennent :

---

<sup>1</sup> Le terme « essentiel » désigne toute substance normalement consommée comme constituant d'un aliment, nécessaire à la croissance, au développement et au maintien de la vie en bonne santé et qui ne peut être synthétisée en quantités suffisantes par l'organisme (61).

- Prévention ou réduction du risque d'apparition d'une carence en micronutriments dans une population ou dans des groupes de population spécifiques.
- Contribution à la correction d'une carence démontrée en micronutriments dans une population ou dans des groupes de population spécifiques.
- Potentiel d'amélioration de l'état nutritionnel et des apports alimentaires qui peuvent être, ou devenir, suboptimaux par suite de modifications des habitudes alimentaires et/ou des modes de vie.
- Effets bénéfiques plausibles des micronutriments en relation avec le maintien ou l'amélioration de la santé (par exemple lorsque des observations laissent à penser qu'une alimentation riche en certains antioxydants pourrait aider à prévenir le cancer et d'autres maladies).

Dans les *Principes généraux régissant l'adjonction d'éléments nutritifs aux aliments* (61), la Commission du Codex Alimentarius définit l'enrichissement comme «l'adjonction à un aliment de un ou plusieurs éléments nutritifs essentiels qui sont ou non normalement contenus dans cet aliment, à l'effet de prévenir ou de corriger une carence démontrée en un ou plusieurs éléments nutritifs dans la population ou dans des groupes spécifiques de population». Les Principes généraux Codex stipulent ensuite comme première condition pour tout programme d'enrichissement que «la nécessité d'augmenter l'apport d'un élément nutritif essentiel dans un ou plusieurs groupes de population devrait être démontrée. Peuvent être fournies comme justificatifs des symptômes cliniques ou subcliniques de carence, des évaluations cliniques indiquant un faible taux d'ingestion des éléments nutritifs ou attestant les carences pouvant résulter de modifications des habitudes alimentaires» (61).

La définition de l'enrichissement des aliments utilisée dans les présentes Directives étend l'interprétation du besoin sur le plan de la santé publique stipulé dans les *Principes généraux régissant l'adjonction d'éléments nutritifs aux aliments* (61) aux bénéfices plausibles pour la santé publique qui pourraient être retirés de l'augmentation des apports en micronutriments (et non seulement les bénéfices démontrables), en s'appuyant sur des données scientifiques nouvelles et sur les résultats de travaux en cours. Cette définition élargie recouvre ainsi les différents types d'initiatives d'enrichissement des aliments mis en œuvre ces dernières années en réponse à une diversification croissante des circonstances pouvant influencer sur la santé publique.

Il est clair que l'importance, du point de vue de la santé publique, des bénéfices potentiels de l'enrichissement des aliments est essentiellement fonction de l'ampleur du problème. C'est ainsi qu'en termes généraux, lorsqu'on décide de mettre en œuvre un programme d'enrichissement des aliments, il faut donner

la priorité aux carences nutritionnelles les plus fréquentes dans la population et qui nuisent le plus gravement à la santé et au fonctionnement humains. Dans la partie II des présentes Directives, on trouvera une description des critères appropriés qui peuvent être appliqués à la détermination de l'importance du problème de santé publique ; ces critères sont principalement exprimés en termes de prévalence et de gravité de la malnutrition par carence en micronutriments. Dans l'idéal, cette détermination devrait être réalisée au niveau national ou régional.

### 2.1.2 Terminologie utilisée par le Codex Alimentarius

Les définitions ci-dessous sont utilisées aux fins des présentes Directives :

- La *restitution* est l'adjonction à un aliment d'éléments nutritifs essentiels de façon à reconstituer les quantités originellement présentes dans le produit naturel et qui ont été inévitablement perdues lors de sa transformation (par exemple la mouture des céréales), son entreposage ou sa manutention.
- L'*équivalence nutritionnelle* est obtenue lorsqu'un élément nutritif essentiel est ajouté à un produit ressemblant à un produit alimentaire courant par son aspect, sa texture, sa saveur et son odeur en quantité telle que le produit de remplacement possède la même valeur nutritive en termes de quantité et de biodisponibilité de l'élément nutritif ajouté. On peut citer comme exemple l'adjonction de vitamine A à la margarine vendue comme produit de remplacement du beurre, en quantité égale à sa teneur naturelle dans le beurre.
- La *composition nutritionnelle appropriée des aliments spéciaux* décrit l'adjonction d'un élément nutritif essentiel à un aliment destiné à remplir une fonction spéciale (par exemple les substituts de repas ou les aliments complémentaires destinés aux enfants en bas âge), ou qui est transformé ou formulé de façon à répondre à des besoins diététiques particuliers, en quantités assurant que la teneur de l'aliment en éléments nutritifs est suffisante et appropriée pour l'usage prévu.

Alors que la restitution et l'équivalence nutritionnelle sont des stratégies destinées à corriger des modifications des apports alimentaires qui seraient sans cela susceptibles de nuire à la santé publique, le terme «enrichissement» ou «fortification» tend à être réservé aux adjonctions d'éléments nutritifs essentiels en réponse à des besoins spécifiques. Néanmoins, toutes les catégories d'adjonction d'éléments nutritifs envisagées par le Codex Alimentarius visent, bien qu'à des degrés divers, le même but général, à savoir apporter un bénéfice sur le plan de la santé publique.

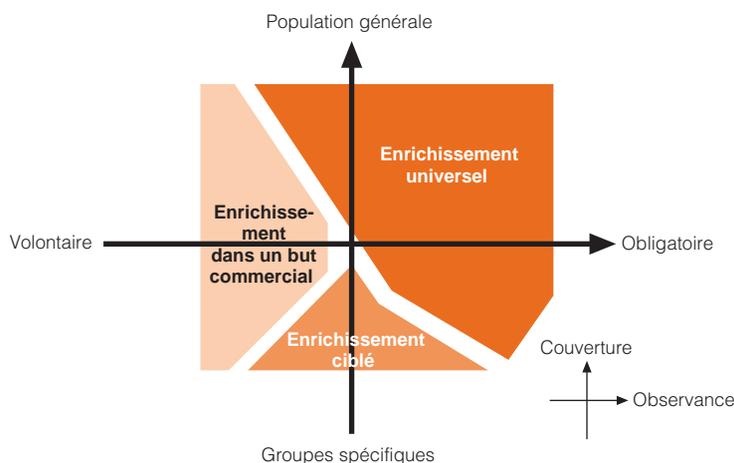
## 2.2 Types d'enrichissement des aliments en micronutriments

L'enrichissement des aliments en micronutriments peut prendre plusieurs formes. On peut enrichir des aliments qui sont largement consommés par la population générale (enrichissement universel de certains aliments en micronutriments<sup>1</sup>), enrichir des aliments spécialement conçus pour certains groupes de population, par exemple les aliments complémentaires pour les nourrissons et les enfants en bas âge ou les rations destinées aux populations déplacées (enrichissement ciblé en micronutriments) et/ou autoriser les fabricants de produits alimentaires à procéder sur une base volontaire à l'adjonction de micronutriments aux aliments disponibles sur le marché (enrichissement des aliments à but commercial<sup>2</sup>).

D'une façon générale, l'enrichissement universel en micronutriments est presque toujours obligatoire, l'enrichissement ciblé est soit obligatoire soit volontaire selon l'importance de la carence visée sur le plan de la santé publique, et l'enrichissement des aliments à but commercial est toujours volontaire, mais dans les limites spécifiées par la réglementation (**Figure 2.1**). Le choix de procéder à l'enrichissement des aliments sur une base obligatoire ou volontaire repose habituellement sur les circonstances propres à chaque pays. Par exemple, dans les pays où une grande partie de la farine de maïs est produite par de petites minoteries, la mise en œuvre d'un enrichissement obligatoire en micronutriments peut s'avérer impraticable. Dans de tels cas, une option envisageable serait

FIGURE 2.1

### Relations entre les niveaux de couverture et d'observance et les différents types d'enrichissement des aliments



<sup>1</sup> En anglais, *mass fortification*.

<sup>2</sup> En anglais, *market-driven fortification*.

d'autoriser les petites minoteries à enrichir la farine en micronutriments sur une base volontaire mais en s'appuyant sur une réglementation officielle.

### 2.2.1 Enrichissement universel de certains aliments en micronutriments

Comme on l'a vu ci-dessus, l'enrichissement universel de certains aliments en micronutriments désigne l'adjonction d'un ou plusieurs micronutriments à des aliments de consommation courante dans la population générale, comme les céréales, les condiments et le lait. Il est en général décidé, dirigé et réglementé par l'État.

L'enrichissement universel de certains aliments est en général la meilleure option lorsque la majeure partie de la population est exposée à un risque inacceptable, en termes de santé publique, de carence ou de menace de carence en certains micronutriments. Dans certaines situations, la carence est démontrable du fait des apports beaucoup trop bas et/ou de signes biochimiques. Dans d'autres, il se peut que la population ne soit pas réellement carencée selon les critères biochimiques ou cliniques usuels, mais qu'elle puisse tirer un bénéfice de l'enrichissement des aliments. L'adjonction obligatoire d'acide folique à la farine de blé dans le but de réduire le risque de malformations congénitales, une pratique adoptée au Canada et aux États-Unis d'Amérique, et également dans de nombreux pays d'Amérique latine, est un exemple de ce dernier scénario.

### 2.2.2 Enrichissement ciblé en micronutriments

Dans les programmes d'enrichissement ciblé des aliments, des aliments destinés à des sous-groupes spécifiques sont enrichis en micronutriments, avec pour effet d'augmenter les apports dans ces sous-groupes et non dans l'ensemble de la population. Il s'agit par exemple d'aliments complémentaires pour les nourrissons et les enfants en bas âge, d'aliments développés pour les programmes alimentaires en milieu scolaire, de biscuits spéciaux pour les enfants et les femmes enceintes, et de rations (denrées enrichies prêtes à l'emploi) pour les programmes d'aide alimentaire dans les situations d'urgence et chez les personnes déplacées (**Tableau 2.1**). Dans certains cas, de tels aliments peuvent être nécessaires pour couvrir une proportion importante des besoins journaliers en micronutriments dans le groupe cible.

La plupart des denrées enrichies sous forme de mélanges prêts à l'emploi («denrées fortifiées») destinées aux réfugiés et aux personnes déplacées sont gérées par le Programme alimentaire mondial et il existe déjà des directives portant sur leur enrichissement (par exemple pour les mélanges blé-soja et maïs-soja) (62). Bien que les mélanges enrichis couvrent habituellement tout ou pratiquement tout l'apport énergétique et protéique nécessaire aux réfugiés et personnes déplacées, surtout dans les débuts de la situation d'urgence, il se peut, pour des raisons historiques, que ces rations ne puissent pas fournir des quantités

TABLEAU 2.1

**Programmes d'enrichissement ciblé des aliments**

Pays	Aliments	Population cible
Afrique du Sud	Biscuits	Écoliers
Guatemala	Incaparina	
Indonésie	Aliments complémentaires	Nourrissons
Mexique	Progresa	
Pérou	Ali Alimentu	Écoliers

adéquates de tous les micronutriments, auquel cas on peut être obligé d'en fournir d'autres sources. En particulier, il peut être nécessaire d'ajouter du sel iodé aux aliments, de donner des suppléments de fer aux femmes enceintes ou de fournir des suppléments fortement dosés de vitamine A aux jeunes enfants et aux femmes venant d'accoucher. Chaque fois que possible, on ajoutera des fruits et légumes frais à l'alimentation des personnes déplacées recevant une aide alimentaire sous forme de mélanges enrichis (voir Chapitre 4, section 4.5). Les denrées enrichies pour personnes déplacées s'adressent souvent spécifiquement aux enfants et aux femmes enceintes ou allaitantes.

### 2.2.3 Enrichissement en micronutriments dans un but commercial

Dans l'enrichissement en micronutriments réalisé dans un but commercial, un fabricant de produits alimentaires prend l'initiative, dans un but commercial, d'ajouter des quantités déterminées d'un ou plusieurs micronutriments dans les aliments transformés. Bien que volontaire, ce type d'intervention s'effectue habituellement dans le cadre des limites réglementaires fixées par le gouvernement (voir Chapitre 11 : Législation nationale sur les denrées alimentaires).

L'enrichissement des aliments dans un but commercial peut jouer un rôle positif sur le plan de la santé publique en contribuant à couvrir les besoins nutritionnels et en réduisant ainsi le risque de carence en micronutriments. Dans l'Union européenne, il a été démontré que les aliments transformés enrichis représentent une source importante de micronutriments comme le fer et les vitamines A et D (63, 64). L'enrichissement des aliments pratiqué par les fabricants peut également améliorer les apports en micronutriments difficiles à ajouter en quantités suffisantes dans le cadre d'un enrichissement universel des aliments de base et des condiments en raison de contraintes liées à l'innocuité, aux aspects technologiques et aux coûts. Il s'agit par exemple de certains minéraux (fer, calcium) et parfois de vitamines (vitamine C, vitamine B2).

L'enrichissement des aliments dans un but commercial est plus répandu dans les pays industrialisés, tandis que dans la plupart des pays en développement l'impact de ce type d'intervention sur la santé publique est encore assez limité.

Il devrait toutefois être appelé à augmenter du fait de l'urbanisation croissante et de la disponibilité plus grande de cette catégorie d'aliments enrichis.

L'augmentation prévue de la disponibilité des aliments transformés enrichis dans les pays en développement suscite quelques inquiétudes. Tout d'abord, ces aliments enrichis – surtout ceux qui plaisent aux consommateurs – pourraient détourner les consommateurs de leur régime habituel et entraîner, par exemple, une augmentation de la consommation de sucre ou une diminution de celle de fibres. Ensuite, comme dans la plupart des pays en développement les aliments enrichis par l'industrie dans un but commercial ne sont encore que peu surveillés par la réglementation, même s'ils s'adressent à un très large public (voir section 2.3), il existe un risque potentiel d'apports inutilement élevés en micronutriments chez les enfants lorsque la même portion d'aliment enrichi (par exemple céréales pour petit déjeuner, boissons et barres nutritives) est consommée par tous les membres de la famille. Une réglementation est donc nécessaire pour assurer que la consommation de ces aliments n'entraînera pas un apport excessif de micronutriments. De plus, les fabricants d'aliments enrichis devront être encouragés à observer les mêmes procédures de contrôle et d'assurance de la qualité que celles qui sont prescrites pour l'enrichissement universel obligatoire (voir Chapitre 8: Surveillance et évaluation).

## 2.2.4 Autres types d'enrichissement des aliments en micronutriments

### 2.2.4.1 *Enrichissement des aliments en micronutriments à domicile et dans la communauté*

Un certain nombre de pays s'efforcent de développer et de tester des moyens pratiques pour ajouter des micronutriments aux aliments à domicile, notamment aux aliments complémentaires destinés aux enfants en bas âge. En effet, cette approche combine la supplémentation et l'enrichissement et est parfois appelée «supplémentation des aliments complémentaires» (65).

L'efficacité théorique et pratique de plusieurs types de produits, dont des comprimés à dissoudre ou à écraser, des poudres de micronutriments («sprinkles») et des pâtes à tartiner riches en micronutriments sont en cours d'évaluation (Tableau 2.2). Des produits comme les comprimés à écraser et surtout les poudres de micronutriments sont des moyens relativement coûteux d'augmenter les apports en micronutriments, certainement plus coûteux que l'enrichissement universel, mais peuvent être particulièrement utiles pour améliorer les denrées locales données aux nourrissons et aux enfants en bas âge, ou lorsque l'enrichissement universel des aliments de base n'est pas possible (66). Il est avéré que les pâtes à tartiner enrichies, à forte densité en micronutriments, sont très appréciées des enfants (67).

L'enrichissement des aliments à l'échelle de la communauté n'en est encore lui aussi qu'au stade expérimental. Cette approche consiste à ajouter un

TABLEAU 2.2

**Produits pour l'enrichissement des aliments à domicile**

Produits	Remarques
Poudre de micronutriments, à saupoudrer sur les aliments	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Contient plusieurs micronutriments, dont le fer, sous forme encapsulée de façon à limiter les interactions défavorables entre micronutriments et les modifications des qualités organoleptiques des aliments auxquels ils sont ajoutés; disponible sous forme de sachets</li> </ul>
Comprimés de micronutriments solubles, à dissoudre dans de l'eau et à consommer comme boisson	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Convient pour les enfants en bas âge</li> <li>■ Testés par l'OMS</li> </ul>
Comprimés de micronutriments, à écraser et mélanger aux aliments	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pour les nourrissons et les enfants en bas âge</li> <li>■ Testés par l'UNICEF</li> </ul>
Pâte à tartiner à base de matières grasses, enrichie en micronutriments	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Plaît aux enfants</li> <li>■ Peut être produite localement car la technologie requise est facile à mettre en œuvre</li> </ul>

Sources : références 66, 67.

prémélange de micronutriments (« prémix »), disponible dans le commerce sous forme de sachets, à de petits lots de farine au cours du processus de mouture (68). Bien que réalisables en théorie, les programmes d'enrichissement des aliments au niveau local se heurtent à des difficultés telles que le coût initial des mélangeurs, le prix d'achat du prémélange (qui doit être importé dans la plupart des cas), l'acquisition et le maintien d'un niveau adéquat de contrôle de la qualité (portant par exemple sur l'uniformité du mélange), et le maintien des systèmes de surveillance et de distribution.

#### 2.2.4.2 Bioenrichissement des denrées alimentaires de base

Le bioenrichissement des denrées alimentaires de base, c'est-à-dire la production et la modification génétique de végétaux de façon à améliorer leur teneur en éléments nutritifs et/ou l'absorption de ceux-ci par l'organisme figure actuellement parmi les approches novatrices envisagées. Il existe sans aucun doute des possibilités de production végétale capables d'augmenter la teneur en micronutriments de toute une série de céréales, de légumineuses et de tubercules; par exemple, il est possible de sélectionner certaines céréales (comme le riz) et légumineuses pour leur richesse en fer, diverses variétés de carottes et de patates douces pour leur taux élevé de  $\beta$ -carotène, et de maïs pour leur faible teneur en phytates (de façon à améliorer l'absorption du fer et du zinc) (69–71). Cependant, il reste beaucoup à faire avant de pouvoir démontrer l'efficacité théorique et pratique de ces aliments, et de lever toutes les inquiétudes concernant leur innocuité, leur coût et leur impact sur l'environnement (72).

## 2.3 Législation de l'enrichissement obligatoire et de l'enrichissement volontaire des aliments

La grande diversité des conditions locales et des objectifs de santé publique dans les pays du monde entier a conduit à l'élaboration de nombreuses approches différentes de la réglementation de l'enrichissement des aliments. Dans la plupart des pays industrialisés, les paramètres d'enrichissement sont régis par la loi ou par des accords de coopération avec l'industrie. Ailleurs, à l'inverse, les aliments enrichis peuvent être produits sans directives officielles ni contrôle d'aucune sorte. Comme il appartient aux gouvernements de protéger la santé publique, il est en général recommandé que toutes les formes d'enrichissement des aliments (ou fortification alimentaire) soient réglementées de façon à assurer la sécurité de tous les consommateurs tout en apportant le maximum de bénéfice aux groupes cibles.

Dans le cadre de la législation, l'enrichissement des aliments peut être obligatoire ou volontaire. Ces termes désignent le degré d'obligation auquel les producteurs doivent se soumettre pour satisfaire aux exigences prévues par la loi.

La différence fondamentale entre le caractère obligatoire ou volontaire de l'enrichissement des aliments réside dans le degré de certitude au cours du temps avec lequel une catégorie déterminée d'aliments contiendra une quantité prédéfinie d'un micronutriment. Avec un degré de certitude plus élevé, l'enrichissement obligatoire est davantage susceptible de produire une source durable d'aliments enrichis aux fins de consommation par le groupe de population visé, et par conséquent d'apporter un bénéfice pour la santé publique.

### 2.3.1 Enrichissement obligatoire des aliments

#### 2.3.1.1 Caractéristiques principales

L'enrichissement des aliments est obligatoire lorsque la loi oblige les producteurs à enrichir des aliments ou des catégories d'aliments en micronutriments spécifiques. L'enrichissement obligatoire, surtout lorsqu'il est appuyé par un système correctement financé de mise en application et de diffusion de l'information, assure avec un degré de certitude élevé que le ou les aliments choisis seront enrichis de façon appropriée et seront constamment disponibles.

Lors de l'établissement de la réglementation sur l'enrichissement obligatoire des aliments, les gouvernements devront veiller à assurer que l'association du véhicule alimentaire et des micronutriments ajoutés sera efficace à la fois en théorie et en conditions réelles pour le groupe cible, tout en étant sans danger aussi bien pour le groupe cible que pour les groupes non visés. Les véhicules alimentaires (aussi appelés aliments vecteurs) vont des denrées de base, telles que les divers types de farines, le sucre et le sel disponibles sur le marché de détail pour l'utilisation directe par les consommateurs ou comme ingrédients

d'aliments transformés, aux aliments transformés enrichis sur le lieu même de leur fabrication. Comme elles sont très largement consommées de façon régulière, les denrées de base se prêtent mieux à un enrichissement universel (c'est-à-dire qui s'adresse à la population tout entière), tandis que certains aliments transformés vendus prêts à l'emploi constituent habituellement le meilleur véhicule pour l'enrichissement ciblé (c'est-à-dire destiné à des groupes de population spécifiques).

Dans l'ensemble, l'obligation d'enrichissement s'applique le plus souvent à l'enrichissement des aliments en micronutriments tels que l'iode, le fer, la vitamine A et, de plus en plus, l'acide folique. De toutes ces interventions, c'est l'iodation du sel qui est probablement la forme la plus courante d'enrichissement universel obligatoire. Aux Philippines, par exemple, la norme légale pour le sel iodé, spécifiée par le Philippines Act Promoting Salt Iodization Nationwide (loi pour la promotion de l'iodation du sel à l'échelle nationale), exige un niveau minimal d'enrichissement en iode de tout le sel de qualité alimentaire destiné à la consommation humaine (6). Cette forme de réglementation est appliquée dans de nombreux autres pays. Les autres exemples d'enrichissement universel des aliments concernent l'adjonction de vitamine A au sucre et à la margarine, et l'enrichissement de la farine en fer (en général associé à la restitution des vitamines B1, B2 et de la niacine) et, plus récemment, en acide folique et en vitamine B12.

Les types de véhicules alimentaires soumis à l'enrichissement obligatoire se distinguent habituellement soit par une caractéristique ou des propriétés physiques particulières, soit par une utilisation spécifique. Une farine à enrichir, par exemple, pourra être décrite comme blanche ou comme complète, et/ou être obtenue à partir d'une céréale particulière, ou destinée à la panification. Autrement, les normes d'enrichissement pourront s'appliquer uniquement à un aliment identifié et étiqueté d'une certaine manière. Aux États-Unis d'Amérique, par exemple, la loi n'exige un enrichissement en acide folique (et en certains autres micronutriments essentiels) que pour les farines et autres produits céréaliers identifiés et étiquetés comme « enrichis ». De même, l'Australie et la Nouvelle-Zélande n'exigent l'adjonction d'iode que pour le sel identifié et étiqueté comme « sel iodé ». Bien que l'impact potentiel sur la santé publique soit alors plus variable, l'enrichissement universel peut être réalisé dans ces conditions, surtout si les aliments étiquetés comme enrichis représentent une part de marché importante et constante pour l'ensemble de cette catégorie d'aliments.

### *2.3.1.2 Enrichissement obligatoire des aliments et santé publique*

Les gouvernements tendent à instituer l'enrichissement obligatoire des aliments en micronutriments lorsqu'une certaine proportion de la population générale – soit la majeure partie (enrichissement universel), soit un groupe déterminé

(enrichissement ciblé) – présente des besoins importants sur le plan de la santé publique ou est exposée à un risque de carence ou de menace de carence en un ou plusieurs micronutriments, et lorsque ces besoins ou ce risque peuvent être améliorés ou réduits grâce un approvisionnement continu et une consommation régulière d'aliments enrichis contenant ce ou ces micronutriments.

L'enrichissement obligatoire est en général décidé lorsqu'il existe des preuves qu'une population donnée présente une carence ou une insuffisance nutritionnelle, par exemple des signes cliniques ou biochimiques de carence et/ou des niveaux beaucoup trop bas d'apport en micronutriments. Dans certains cas, l'existence d'un bénéfice démontré de la consommation accrue d'un micronutriment déterminé pour la santé publique peut être considérée comme un motif suffisant pour justifier un enrichissement obligatoire des aliments, même si la population n'est pas jugée gravement exposée à un risque selon les critères classiques biochimiques ou d'apport nutritionnel. On peut citer comme exemple l'adjonction obligatoire d'acide folique à la farine pour réduire le risque de malformations congénitales.

### 2.3.2 Enrichissement volontaire des aliments

#### 2.3.2.1 Caractéristiques principales

On parle d'enrichissement volontaire lorsqu'un fabricant de produits alimentaires décide de son propre gré d'enrichir certains aliments en réponse à une autorisation prévue par la législation sur les denrées alimentaires ou, dans certaines circonstances, est encouragé à le faire par les pouvoirs publics.

L'essor de l'enrichissement volontaire des aliments trouve son origine dans la recherche par l'industrie agroalimentaire comme par les consommateurs de bénéfices pour la santé du fait d'une augmentation des apports alimentaires de micronutriments. Parfois, l'initiative peut être suscitée par le gouvernement. Étant donné la diversité des circonstances qui mènent à la décision d'enrichir volontairement les aliments, il n'est pas étonnant que l'impact sur la santé publique soit très variable, de négligeable à important. De fait, selon la valeur nutritionnelle de leur alimentation de base, les personnes qui consomment régulièrement des aliments enrichis pourraient bien en tirer des bénéfices tangibles.

Il importe cependant que les pouvoirs publics exercent un contrôle approprié sur l'enrichissement volontaire des aliments par le biais d'une législation sur les denrées alimentaires ou d'autres accords de coopération avec l'industrie agroalimentaire tels que des codes de bonne pratique. Le degré de contrôle doit être au moins proportionné au niveau de risque inhérent à l'intervention en question. Des contrôles réglementaires de cette nature devront également assurer l'innocuité des aliments enrichis pour l'ensemble des consommateurs, et donner à l'industrie la possibilité de produire des aliments enrichis qui offrent aux

consommateurs des bénéfices nutritionnels et d'autres bénéfices sur le plan de la santé. Ces bénéfices peuvent être démontrables ou estimés potentiels ou plausibles d'après des données scientifiques reconnues.

Lors de la mise en place d'accords sur l'enrichissement volontaire des aliments, les pouvoirs publics doivent veiller à ce que les consommateurs ne soient pas induits en erreur ou trompés par les pratiques d'enrichissement et peuvent aussi souhaiter que la promotion commerciale de ces produits n'entrera pas en conflit ni en concurrence avec les politiques nationales d'alimentation et de nutrition portant sur l'alimentation saine. Cela peut se faire par une réglementation établissant la liste des denrées alimentaires appropriées pour l'enrichissement et les associations autorisées entre divers micronutriments et les véhicules alimentaires (voir Chapitre 11 : Législation sur les denrées alimentaires).

Actuellement, de nombreux pays autorisent l'enrichissement volontaire des aliments mais la liste des denrées qui peuvent être enrichies varie considérablement d'un pays à l'autre. Certains pays scandinaves n'autorisent l'enrichissement que pour un très petit nombre de denrées alimentaires, alors que les États-Unis d'Amérique autorisent une gamme de produits beaucoup plus étendue. De même, les composés utilisés pour l'enrichissement vont d'une petite sélection à la quasi-totalité des micronutriments considérés comme essentiels.

L'ampleur de l'adoption par l'industrie de l'enrichissement des aliments est largement influencée par le marché local. Par exemple, dans de nombreux pays industrialisés, la grande majorité des céréales transformées pour petit déjeuner sont modérément enrichies en diverses associations de micronutriments, avec quelquefois des variantes selon le marché visé; les autres produits de cette catégorie sont soit enrichis par de fortes doses ou en de très nombreux micronutriments (lorsque cette pratique est autorisée), soit non enrichis. D'autres catégories d'aliments, comme les jus de fruits ou les produits laitiers, tendent à présenter une plus grande variabilité des taux d'enrichissement selon les conditions du marché et l'image de marque du produit. Pour certaines catégories autorisées, il arrive que l'industrie ne s'intéresse pas à l'enrichissement en micronutriments.

### *2.3.2.2 Enrichissement volontaire des aliments et santé publique*

L'enrichissement volontaire est plutôt pratiqué lorsque le niveau de risque pour la santé publique est assez faible, c'est-à-dire qu'il n'est pas suffisamment grave ou démontrable pour justifier un enrichissement universel en micronutriments. Les apports insuffisants en micronutriments qui sont liés aux changements de mode de vie qui accompagnent les fluctuations de la situation socio-économique seront plus certainement associés à un moindre risque pour la santé publique que ceux qui sont liés à des modifications majeures des habitudes et du comportement alimentaires. En outre, les normes nutritionnelles relatives à

certaines éléments nutritifs ont été réactualisées pour suivre l'évolution des connaissances scientifiques sur leur rôle physiologique et sur leurs effets bénéfiques sur certains processus physiologiques et affections médicales.

Du fait de l'incertitude quant aux pratiques d'enrichissement industriel des aliments pour chaque catégorie de produits, et du fait aussi que les consommateurs réguliers d'un produit enrichi peuvent ne pas être toujours les mêmes et ne constituent donc pas un groupe facilement identifiable, l'enrichissement volontaire est moins susceptible que l'enrichissement obligatoire de garantir un effet favorable en termes d'augmentation des apports en micronutriments dans l'ensemble de la population visée. Outre le niveau d'enrichissement de chaque catégorie d'aliments, l'impact de l'enrichissement volontaire dépend de la part que représente chaque catégorie d'aliments dans le régime alimentaire de la population considérée dans son ensemble, et du fait que les personnes qui bénéficieraient le plus de l'enrichissement consomment régulièrement ou non cette catégorie d'aliments et y ont accès ou non.

Malgré ces difficultés, un approvisionnement régulier en aliments enrichis de façon volontaire par l'industrie, dûment réglementés, produits dans des conditions de marché libre et largement et régulièrement consommés par un groupe de population déterminé, peut avoir un impact bénéfique sur la santé publique en contribuant positivement à assurer un bilan équilibré en micronutriments et en réduisant ainsi le risque de carence. Par exemple, dans l'Union européenne où l'enrichissement de la margarine est volontaire, on estime que l'adjonction de vitamines A et D à la margarine et aux matières grasses à tartiner contribue pour environ 20% à l'apport nutritionnel de référence pour la vitamine A et pour 30% à celui pour la vitamine D (63). Il a également été rapporté que dans les années 1990 les céréales enrichies pour petit déjeuner sont devenues la principale source de fer pour les enfants en bas âge au Royaume-Uni (64).

### 2.3.3 Enrichissement volontaire spécial

Certains programmes d'enrichissement volontaire des aliments peuvent obtenir des résultats analogues à ceux de l'enrichissement obligatoire mais sans devoir se plier à des normes complexes imposées par la loi. Le programme de la Suisse pour l'iodation du sel en constitue un exemple remarquable. Les circonstances qui contribuent au succès de l'enrichissement volontaire en Suisse et ailleurs sont l'existence d'une industrie qui ne comporte que quelques producteurs ou fabricants et un intérêt marqué du gouvernement pour les pratiques industrielles (qui se traduit par l'octroi de subsides et garantit des pratiques d'enrichissement durables). Les initiatives en matière d'enrichissement volontaire ont aussi davantage de chances d'être couronnées de succès lorsqu'elles sont appuyées par des activités d'éducation du public qui renforcent la prise de conscience par

le public de l'importance de la consommation des aliments enrichis (voir Chapitre 10: Communication, marketing social et sensibilisation).

### 2.3.4 Critères de choix entre l'enrichissement obligatoire et l'enrichissement volontaire des aliments

Pour un groupe de population déterminé, qui peut être aussi bien la population tout entière qu'un ou plusieurs sous-groupes spécifiques, il existe cinq facteurs clés qui, pris dans leur ensemble, déterminent si l'option la plus appropriée compte tenu des conditions locales est l'enrichissement obligatoire ou l'enrichissement volontaire. En résumé, ce sont : l'importance des besoins sur le plan de la santé publique ; l'importance et le secteur d'activité de l'industrie agroalimentaire ; le degré de prise de conscience des besoins nutritionnels parmi la population ; l'environnement politique ; les modes de consommation alimentaire. Ces cinq facteurs sont décrits plus en détail ci-dessous et, dans chaque cas, les conditions qui font préférer l'un ou l'autre de ces deux principaux mécanismes de réglementation sont indiquées.

1. *L'importance des besoins ou du risque de carence sur le plan de la santé publique, déterminée par la gravité du problème et sa prévalence au sein d'un groupe de population.* L'importance du problème de santé publique est fondamentale et doit être déterminée au niveau national ou régional, dans l'idéal selon des critères établis décrivant la gravité du problème. Les besoins ou le risque sur le plan de la santé publique peuvent être évalués au vu des preuves de carence clinique ou subclinique, des apports nutritionnels inadéquats, ou des bénéfices potentiels (voir Partie II: Évaluation de l'importance de la malnutrition par carence en micronutriments sur le plan de la santé publique).

- L'enrichissement obligatoire convient mieux dans les cas de besoins ou de risques importants sur le plan de la santé publique, et l'enrichissement volontaire dans les cas de besoins ou de risques plus faibles ou lorsqu'il existe pour certaines personnes des possibilités de bénéfices ou d'exercice du libre choix du consommateur.
- Dans certaines conditions, l'enrichissement volontaire peut avoir un impact sur la santé publique du même ordre que celui de l'enrichissement obligatoire.

2. *Les caractéristiques du secteur de l'industrie agroalimentaire responsable de la production du véhicule alimentaire proposé.* Les aspects du secteur de l'industrie agroalimentaire intéressants dans le présent contexte sont le nombre, la capacité et la répartition géographique des producteurs, l'existence d'un soutien ou d'un contrôle de la part du gouvernement, et l'environnement commercial local.

- Dans les pays en développement en particulier, l'**enrichissement obligatoire** des aliments a davantage de chances d'être couronné de succès lorsque le secteur industriel en question est relativement centralisé (c'est-à-dire limité à quelques grands producteurs) et/ou bien organisé. S'il se compose d'un grand nombre de petits producteurs répartis dans tout le pays, l'enrichissement obligatoire sera plus difficile à mettre en place, sauf si ces petites entreprises bénéficient d'accords collectifs, par exemple sous la forme d'une association professionnelle. C'est aussi la meilleure option là où les gouvernements souhaitent obtenir une forte participation de l'industrie au processus d'enrichissement des aliments mais ne disposent pas d'accords juridiques ou administratifs qui pourraient être utilisés pour instituer des accords de coopération volontaire entre industriels.
- L'**enrichissement volontaire** n'a pas besoin d'accords industriels mais lorsqu'il existe un monopole d'État ou un secteur industriel soutenu par l'État, l'impact des accords volontaires peut égaler celui que l'on obtiendrait avec l'enrichissement obligatoire.

3. *Le niveau actuel de prise de conscience par la population de l'importance de consommer des aliments enrichis, ou leur intérêt pour la consommation de tels produits.* Les ressources disponibles pour mettre en œuvre et maintenir des programmes spécifiques d'éducation nutritionnelle constituent également un facteur important dont il faut tenir compte lors du choix du type de réglementation le plus approprié pour un programme d'enrichissement des aliments.

- L'**enrichissement obligatoire** sera probablement l'option la plus efficace lorsque les connaissances des consommateurs sont insuffisantes ou que la demande de produits volontairement enrichis est faible, et qu'il existe peu de possibilités d'éducation nutritionnelle dans la communauté.
- L'**enrichissement volontaire** répond en général à un intérêt et/ou une demande des consommateurs pour les produits enrichis. Bien que le comportement des consommateurs soit influencé par de nombreux facteurs, leur intérêt peut être suscité par des activités de promotion commerciale ou des programmes spécifiques d'éducation nutritionnelle.

4. *L'environnement politique.* En ce qui concerne l'environnement politique, le niveau acceptable d'intervention de l'État et la valeur accordée au libre choix informé du consommateur sont probablement les principaux facteurs capables d'influer sur les décisions en matière de réglementation.

- Dans les environnements où l'on accorde une grande importance au libre choix du consommateur, l'**enrichissement volontaire** et l'**enrichissement obligatoire** peuvent tous deux convenir. Dans ces contextes, l'**enrichissement obligatoire** tend à être limité à un sous-ensemble de produits d'une ou plusieurs catégories alimentaires, de façon à préserver dans une certaine mesure le libre choix du consommateur.
- L'**enrichissement volontaire** laisse habituellement une grande place au libre choix du consommateur ; cependant, ce n'est pas le point principal dans de nombreux pays en développement, où la pauvreté reste pour la majeure partie de la population le facteur empêchant l'accès aux aliments transformés.

5. *Modes de consommation alimentaire.* Il est clair que les modes de consommation alimentaire, surtout en ce qui concerne la contribution relative de certains aliments au régime de la population cible, pèseront sur le choix d'un enrichissement obligatoire ou volontaire. Ce facteur conditionnera également l'aptitude technique de l'aliment choisi à servir de véhicule d'enrichissement.

- Les aliments envisagés comme véhicules pour l'**enrichissement obligatoire** doivent être largement et régulièrement consommés par le groupe de population auquel l'enrichissement est destiné à apporter un bénéfice. De plus, l'enrichissement doit être techniquement réalisable.
- La probabilité que tous les consommateurs à risque augmentent leurs apports habituels en micronutriments grâce à l'**enrichissement volontaire** des aliments est plus faible qu'avec l'enrichissement obligatoire. Cependant, cette probabilité augmente lorsqu'on ajoute le micronutriment considéré à une plus vaste gamme d'aliments volontairement enrichis, en supposant qu'ils soient accessibles aux consommateurs.

## **PARTIE II**

Évaluation de l'importance de  
la malnutrition par carence en  
micronutriments sur le plan de  
la santé publique



# Introduction

Les deux chapitres de la Partie II des présentes Directives donnent des informations détaillées sur la prévalence, les causes et les conséquences de diverses carences en micronutriments et passent en revue les données dont on dispose sur les effets bénéfiques de la lutte contre ces carences. Ils sont destinés à aider les planificateurs non seulement à évaluer la situation en ce qui concerne les carences en micronutriments dans leur propre pays, mais aussi à évaluer la nécessité, et les avantages potentiels, d'un enrichissement des aliments en micronutriments spécifiques.

Le Chapitre 3 est consacré aux carences en fer, en vitamine A et en iode qui, du fait de leur vaste répartition mondiale, ont reçu jusqu'à présent le plus d'attention. On dispose aujourd'hui d'une somme considérable d'informations sur la prévalence et les causes ainsi que sur la lutte contre les carences en ces trois micronutriments. Diverses études sur l'efficacité théorique et pratique des interventions de lutte contre les carences en fer, en vitamine A et en iode sont brièvement décrites ici (ainsi que dans le premier chapitre des Directives – voir section 1.3), mais ont été traitées plus en détail ailleurs (73). Le Chapitre 4 porte sur divers autres micronutriments qui, par comparaison, ont été plutôt négligés jusqu'à maintenant. Les carences en au moins quelques-uns de ces micronutriments « négligés » (zinc, vitamines B2 et B12, niacine, vitamine D et calcium) sont probablement répandues dans la plus grande partie des pays en développement et également parmi les populations les plus pauvres des nations industrialisées. L'enrichissement des aliments (ou fortification alimentaire) offre un moyen de réduire la prévalence des carences en tous ces micronutriments qui, surtout si on les inclut dans des programmes d'enrichissement universel de certains aliments, pourraient avoir d'importants effets bénéfiques sur la santé. Comme la littérature contient moins de données sur ces carences, on s'est efforcé de rassembler ici toutes les informations disponibles.

Dans ces deux chapitres, les micronutriments sont présentés dans l'ordre de leur importance perçue sur le plan de la santé publique, et dans chaque cas on a examiné de façon critique les indicateurs biochimiques recommandés ou ceux qui sont le plus largement utilisés. Cependant, pour certains micronutriments, les données biochimiques reflétant l'état nutritionnel seront insuffisantes pour permettre d'évaluer la prévalence des carences. On trouvera dans la Partie IV

des Directives des suggestions pour remédier à cette situation, par exemple en utilisant des données de consommation alimentaire pour estimer la prévalence des apports insuffisants (voir section 7.3.2).

À part l'insuffisance des apports alimentaires, il existe d'autres causes importantes de malnutrition par carence en micronutriments, par exemple la faible biodisponibilité des éléments nutritifs présents dans les aliments (notamment en ce qui concerne les minéraux), les infections fréquentes par des parasites, la diarrhée et les divers troubles liés à la malabsorption. La présence de l'un ou l'autre de ces facteurs de risque peut conduire à sous-estimer la prévalence des carences dans une population si on la calcule uniquement à partir des apports en micronutriments.

---

### **Facteurs de risque de malnutrition par carence en micronutriments**

- Régime alimentaire monotone entraînant un faible apport en micronutriments, et faible biodisponibilité, en particulier des minéraux.
  - Faible consommation d'aliments d'origine animale.
  - Faible prévalence de l'allaitement maternel.
  - Faible concentration en micronutriments dans les aliments complémentaires.
  - Augmentation des besoins physiologiques pendant la grossesse et l'allaitement.
  - Augmentation des besoins due à une infection aiguë (surtout si les épisodes infectieux sont fréquents), une infection chronique (par exemple tuberculose, paludisme et VIH/sida) ou une maladie (par exemple le cancer).
  - Mauvais état nutritionnel général, notamment malnutrition protéino-énergétique.
  - Malabsorption due à la diarrhée ou à la présence de parasites intestinaux (par exemple *Giardia lamblia*, ankylostomes).
  - Augmentation de l'excrétion (due par exemple à la schistosomiase).
  - Variations saisonnières de la disponibilité des denrées alimentaires, disette.
  - Situation sociale défavorisée, analphabétisme, faible niveau d'instruction.
  - Situation économique défavorisée, pauvreté.
-

## Fer, vitamine A et iode

### 3.1 Carence en fer et anémie

La majeure partie du fer présent dans l'organisme humain se trouve dans les érythrocytes sous forme d'hémoglobine, dont la principale fonction est de transporter l'oxygène des poumons vers les tissus. Le fer est également un constituant important de divers systèmes enzymatiques tels que les cytochromes, qui sont impliqués dans le métabolisme oxydatif. Il est stocké sous forme de ferritine dans le foie et sous forme d'hémosidérine.

La carence en fer est le trouble nutritionnel le plus couramment répandu dans le monde et constitue un problème de santé publique dans les pays tant industrialisés que non industrialisés. Elle résulte de la persistance à long terme d'un bilan martial négatif; aux stades les plus avancés, elle conduit à l'anémie. L'anémie est définie par un faible taux sanguin d'hémoglobine. Les seuils qui définissent l'anémie varient selon l'état physiologique (par exemple âge, sexe) et ont été fixés par l'OMS pour différents groupes de population (1).

#### 3.1.1 Prévalence de la carence

Les termes « carence en fer » (ou « carence martiale ») et « anémie ferriprive » sont souvent considérés comme synonymes alors qu'en fait il ne s'agit pas de la même affection. On estime à environ 40 % de la population mondiale (soit plus de deux milliards de personnes) le nombre de personnes souffrant d'anémie (faible taux sanguin d'hémoglobine) (voir **Tableau 1.1**). La prévalence moyenne de l'anémie dans différents groupes de population est estimée à :

- femmes enceintes, nourrissons et enfants de 1–2 ans : 50 %
- enfants d'âge préscolaire : 25 %
- enfants d'âge scolaire : 40 %
- adolescents : 30–55 %
- femmes non enceintes : 35 %

Ces valeurs moyennes masquent le fait que la carence en fer et l'anémie ferriprive sont beaucoup plus répandues dans certaines parties du monde,

en particulier dans le sous-continent indien et en Afrique subsaharienne où, par exemple, jusqu'à 90% des femmes deviennent anémiques pendant la grossesse.

La prévalence de l'anémie due à une carence en fer, appelée anémie ferriprive, est connue avec moins de certitude car les indicateurs spécifiques du statut martial, comme la ferritine sérique, le coefficient de saturation de la transferrine, la protoporphyrine-zinc et les récepteurs de la transferrine sérique, sont moins souvent mesurés que le taux sanguin d'hémoglobine (**Tableau 3.1**). La plupart des indicateurs du statut martial – peut-être à l'exception des récepteurs de la transferrine sérique – sont par ailleurs modifiés en cas d'infection et peuvent donc induire en erreur (74). De fait, chacun des indicateurs énumérés dans le Tableau 3.1 a ses propres limites, et le meilleur moyen d'évaluer le statut en fer est d'en associer plusieurs (74).

Il est généralement admis qu'en moyenne, 50% environ des cas d'anémie sont dus à une carence en fer et non au paludisme (qui provoque une anémie du fait de la destruction des érythrocytes par le parasite), à la présence d'une maladie infectieuse ou parasitaire ou à d'autres carences nutritionnelles. Cette proportion est toutefois probablement plus grande chez les nourrissons et les enfants d'âge préscolaire que chez les enfants d'âge scolaire et les femmes (75) et variera probablement d'un endroit à l'autre. Même si l'anémie survient habituellement lorsque les réserves en fer sont diminuées, la prévalence de la carence martiale dépasse souvent nettement celle de l'anémie ferriprive. Cependant, dans les populations carencées en fer et vivant dans des régions où le paludisme est endémique, la prévalence de l'anémie atteindra ou dépassera celle de la carence en fer (75). De plus, l'utilisation de la ferritine sérique comme indicateur du statut martial pourrait *surestimer* la prévalence de la carence en fer dans les régions d'endémie palustre, car ses taux sont augmentés en présence d'une maladie infectieuse ou parasitaire telle que le paludisme (Tableau 3.1); c'est aussi la raison pour laquelle le seuil définissant la carence en fer chez les sujets atteints de paludisme est traditionnellement plus élevé (<30 µg/l) que chez les sujets indemnes d'infection (<15 µg/l).

On considère que l'anémie pose un problème de santé publique lorsque la prévalence des faibles taux d'hémoglobine dépasse 5% dans la population (1). L'anémie en tant que problème de santé publique est classée comme légère, modérée ou grave selon sa prévalence (**Tableau 3.2**).

### 3.1.2 Facteurs de risque

Les principaux facteurs de risque de carence en fer sont résumés dans le **Tableau 1.2**. Ce sont notamment :

- un faible apport en fer hémique (présent dans la viande, la volaille et le poisson);

TABLEAU 3.1

Indicateurs pour l'évaluation du statut martial à l'échelle de la population<sup>a</sup>

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence		Remarques
			Légère	Sévère	
Hémoglobine <sup>b</sup>	Sang	Enfants 6–59 mois	110 g/l	Non défini	Le taux d'hémoglobine dans le sang est principalement un indicateur de l'anémie mais il peut fournir des renseignements utiles sur le statut martial: — Une augmentation d'au moins 10 g/l de l'hémoglobine sanguine après un à deux mois de supplémentation en fer indique qu'il y avait à l'origine une carence en fer. — Lorsque l'anémie est principalement due à une faible disponibilité du fer alimentaire, les femmes et les enfants ont un taux d'hémoglobine anormalement bas tandis que chez les hommes adultes ce taux est pratiquement inchangé. Lorsque d'autres facteurs, comme une parasitose, contribuent de façon importante à l'anémie, les hommes adultes tendent eux aussi à avoir de faibles taux d'hémoglobine.
		Enfants 5–11 ans	115 g/l		
		Enfants 12–14 ans	120 g/l		
		Hommes de plus de 15 ans	130 g/l		
		Femmes de plus de 15 ans (non enceintes)	120 g/l		
Femmes enceintes	110 g/l	<70 g/l			
Ferritine	Sérum ou plasma	Moins de 5 ans	<12 µg/l	Non défini	Indicateur utile du statut martial et pour la surveillance des interventions de lutte contre la carence martiale. Réflète les réserves totales de fer de l'organisme et est abaissé chez les sujets carencés. Est élevé en présence d'une infection ou d'un processus inflammatoire et doit donc être si possible mesuré en association avec une autre protéine de phase aiguë (CRP ou AGP) qui indique la présence d'une infection. Des taux >200 µg/l chez l'homme adulte (ou 150 µg/l chez la femme adulte) indiquent un risque élevé de surcharge en fer.
		Plus de 5 ans	<15 µg/l	Non défini	

TABLEAU 3.1  
Indicateurs pour l'évaluation du statut martial à l'échelle de la population<sup>a</sup> (suite)

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence		Remarques
			Légère	Sévère	
Récepteurs de la transferrine	Sérum	Applicable à tous les groupes de population	Valeurs variables selon la méthode utilisée		Indicateur utile du statut martial; n'est pas affecté par la présence d'une infection et peut donc être utilisé en association avec la mesure de la ferritine sérique pour confirmer la carence en cas d'infection. Valeurs seuils non universellement reconnues; les substances de référence doivent encore être standardisées.
Saturation de la transferrine	Sérum	Applicable à tous les groupes de population	<16 %	Non défini	Variation diurne marquée, manque relatif de spécificité. Élevé en présence d'une infection.
Protoporphyrine érythrocytaire	Érythrocytes	Moins de 5 ans Plus de 5 ans	Valeur normale	>70 µg/dl >80 µg/dl	Valeurs seuils non universellement reconnues. Élevé quand l'apport en fer est insuffisant pour la production de l'hème. Élevé en présence d'une infection, d'une intoxication par le plomb et d'une anémie hémolytique.

AGP : glycoprotéine alpha-1 acide; CRP : protéine C-réactive.

<sup>a</sup> Chaque indicateur ayant ses propres limites, le meilleur moyen d'évaluer le statut martial est d'utiliser une combinaison de plusieurs indicateurs.

<sup>b</sup> Valeurs de l'hémoglobine pour des populations vivant au niveau de la mer; elles doivent être ajustées selon diverses variables, comme l'altitude ou le tabagisme.

Sources: références 1, 74.

TABLEAU 3.2

**Critères d'évaluation de la gravité de l'anémie sur le plan de la santé publique**

Gravité du problème de santé publique	Prévalence de l'anémie <sup>a</sup> (% de la population)
Aucun problème	≤4,9
Anémie légère	5,0–19,9
Anémie modérée	20,0–39,9
Anémie sévère	≥40

<sup>a</sup> L'anémie est définie en fonction du taux sanguin d'hémoglobine (voir **Tableau 3.1**).

Source: référence 1.

- un apport insuffisant en vitamine C (acide ascorbique) à partir des fruits et légumes (la présence de vitamine C augmente l'absorption du fer contenu dans l'alimentation) ;
- une faible absorption du fer contenu dans les régimes riches en phytates (légumineuses et céréales) ou en composés phénoliques (présents dans le café, le thé, le sorgho et le millet) ;
- les périodes de la vie où les besoins en fer sont particulièrement élevés (croissance et grossesse) ;
- des pertes de sang importantes pendant les menstruations ou lors de parasitoses comme l'ankylostomiase, l'ascaridiase ou la schistosomiase.

Comme on l'a vu plus haut, les maladies infectieuses aiguës ou chroniques, y compris le paludisme, peuvent aussi abaisser les taux d'hémoglobine (76). La présence d'autres carences en micronutriments, en particulier en vitamines A et B12, en folates et en riboflavine, augmente également le risque d'anémie (77).

Les habitudes alimentaires d'un groupe de population influent fortement sur la biodisponibilité du fer contenu dans l'alimentation comme du fer ajouté. Le **Tableau 3.3** donne des estimations de la biodisponibilité moyenne du fer contenu dans différents types de régimes alimentaires. Bien que l'efficacité de l'absorption du fer augmente sensiblement lorsque les réserves en fer diminuent, la quantité absorbée à partir des aliments, notamment lorsque le régime est pauvre en viande, en poisson et en fruits et légumes, ne suffit pas à prévenir la carence chez un grand nombre de femmes et d'enfants, en particulier dans les pays en développement.

TABLEAU 3.3

**Classification des régimes alimentaires usuels en fonction de la biodisponibilité de leur contenu en fer**

Catégorie	Biodisponibilité du fer (%)	Caractéristiques de l'alimentation
Faible	1–9	Régime simple et monotone à base de céréales, racines ou tubercules, avec des quantités négligeables de viande, poisson, volaille ou aliments riches en acide ascorbique. Régime riche en aliments inhibiteurs de l'absorption du fer comme le maïs, les légumineuses, la farine de blé complète ou le sorgho.
Intermédiaire	10–15	Régime composé de céréales, racines ou tubercules, avec quelques aliments d'origine animale (viande, poisson ou volaille) et/ou contenant de l'acide ascorbique (fruits et légumes).
Forte	>15	Régime diversifié contenant de plus grandes quantités de viande, poisson, volaille et/ou aliments riches en acide ascorbique.

Sources : d'après les références 78, 79.

### 3.1.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Les principales conséquences de la carence en fer sont l'anémie, une insuffisance des performances physiques et cognitives et une augmentation de la mortalité maternelle et infantile (voir **Tableau 1.2**). Il a été démontré que la carence en fer réduisait l'endurance physique, même en l'absence d'anémie (80) et on a observé une association entre l'anémie sévère et une augmentation du risque de mortalité chez la mère comme chez l'enfant (81, 82). Comme on l'a déjà vu (section 1.1), il existe maintenant de nombreuses données qui laissent à penser qu'une supplémentation en fer peut corriger les effets indésirables de la carence sur la capacité de travail et la productivité, ainsi que sur l'issue de la grossesse et le développement de l'enfant (14–16). Lors d'une étude réalisée aux États-Unis d'Amérique, par exemple, une supplémentation en fer pendant la grossesse réduisait le nombre d'accouchements prématurés et de nourrissons de faible poids de naissance (83).

L'amélioration du statut en fer peut avoir d'autres effets bénéfiques sur la santé, bien qu'encore mal connus, notamment sur l'utilisation de la vitamine A et de l'iode. On savait déjà que la vitamine A est mobilisée depuis le foie par une enzyme dépendant du fer, mais des études expérimentales récentes indiquent qu'en cas de carence martiale, la vitamine est piégée dans le foie et par conséquent moins disponible pour les autres tissus et organes (84). De plus, certaines études ont montré qu'une supplémentation en fer chez des sujets carencés augmentait le taux de rétinol sérique, par un mécanisme non encore totalement élucidé (85).

Le fer est également nécessaire aux enzymes qui synthétisent la thyroxine, ce qui explique qu'une carence en fer peut avoir des répercussions sur le métabolisme de l'iode. Des études réalisées en Côte d'Ivoire ont montré que la disparition du goitre après un traitement par l'iode était plus lente chez les sujets carencés en fer (86). Dans une population d'enfants présentant une forte prévalence de l'anémie et du goitre, la supplémentation en fer améliorait la réponse à la consommation d'huile iodée ou de sel iodé (87) (voir aussi section 1.3.2.3). D'après tous ces résultats, on peut raisonnablement supposer que l'amélioration du statut martial au niveau d'une population pourrait avoir des effets positifs sur le métabolisme de la vitamine A et de l'iode.

### 3.2 Vitamine A

La vitamine A est un élément nutritif essentiel pour l'organisme humain, nécessaire en petites quantités pour le fonctionnement normal de la vision, le maintien des fonctions cellulaires indispensables à la croissance, l'intégrité de l'épithélium cellulaire, la fonction immunitaire et la reproduction. Les besoins alimentaires en vitamine A sont normalement couverts par un mélange de vitamine A préformée (rétinol), présente dans les aliments d'origine animale, et de caroténoïdes provitaminiques A, dérivés des aliments d'origine végétale et qui doivent être convertis en rétinol dans des tissus tels que la muqueuse intestinale et le foie pour pouvoir être utilisés par les cellules.

Si l'on excepte les signes oculaires cliniques (cécité nocturne et xérophtalmie), les symptômes de la carence en vitamine A (aussi appelée avitaminose A) sont pour la plupart non spécifiques. Néanmoins, les données dont on dispose aujourd'hui laissent à penser que la carence en vitamine A est un déterminant important de la survie de l'enfant et de la maternité sans risque (voir section 3.2.3). Mais l'absence de spécificité des symptômes sous-entend qu'en l'absence de mesures biochimiques du statut en vitamine A, il est difficile d'attribuer des symptômes non oculaires à une avitaminose A et aussi de formuler une définition simple de cette carence. Cela étant, l'OMS a défini l'avitaminose A par la présence de concentrations tissulaires de vitamine A suffisamment faibles pour avoir des conséquences défavorables pour la santé, même en l'absence de signes cliniques de xérophtalmie (5). Ces dernières années, le terme «troubles liés à une carence en vitamine A» a été adopté pour refléter la diversité des effets défavorables de cette carence (88).

#### 3.2.1 Prévalence de la carence

Comme la carence en vitamine A affecte la vision, les indicateurs du statut en vitamine A sont traditionnellement basés sur des modifications au niveau de l'œil, en particulier la cécité nocturne (héméralopie) et la xérophtalmie (5) (Tableau 3.4). Dans le monde, environ 3 millions d'enfants d'âge préscolaire

TABLEAU 3.4  
Indicateurs pour l'évaluation du statut vitaminiq ue A à l'échelle de la population

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence		Remarques
			Légère	Sévère	
Prévalence de la cécité nocturne (%)	Examen clinique	Enfants 6–71 mois Femmes enceintes	>1 % >5 %	>5 % Non défini	La prévalence de la cécité nocturne est évaluée en interrogeant les femmes sur l'existence de ce trouble pendant la dernière grossesse.
Rétinol	Sérum ou plasma <sup>a</sup>	Enfants d'âge préscolaire	0,35–0,7 µmol/l	<0,35 µmol/l	Bon indicateur du statut en vitamine A à l'échelle de la population. Également abaissé en présence d'une infection.
Rétinol	Lait maternel	Femmes allaitantes	<1,05 µmol/l (<87 µg/g dans la graisse du lait)	Non défini	Directement lié au statut vitaminiq ue A de la mère. Donne des informations sur le statut vitaminiq ue A de la mère et de l'enfant allaité au sein. Doit être mesuré après le premier mois post-partum, c'est-à-dire lorsque la composition du lait s'est stabilisée.

<sup>a</sup> L'acide éthylènediamine tétracétique (EDTA) ne doit pas être utilisé comme anticoagulant.

Sources: références 5, 91.

présentent des signes oculaires de carence en vitamine A (3). On évalue cependant plus couramment cette carence en mesurant les taux sériques ou plasmatiques de rétinol. Selon des estimations de l’OMS, 254 millions d’enfants d’âge préscolaire dans le monde ont des rétinolémies faibles et peuvent être considérés comme présentant une carence clinique ou subclinique en vitamine A (3). Dans les pays en développement, les taux de prévalence pour ce groupe d’âge vont de 15% à 60%, l’Amérique latine, la Méditerranée orientale et le Pacifique occidental ayant les prévalences les plus faibles et l’Afrique et l’Asie du Sud-Est les prévalences les plus élevées (3, 89) (voir aussi **Tableau 1.1**). La prévalence de l’héméralopie est également élevée chez les femmes enceintes de nombreuses régions pauvres, avec des valeurs comprises entre 8% et 24% (89). Cette affection tend à s’accompagner d’une forte prévalence des faibles taux de rétinol dans le lait maternel ( $<1,05 \mu\text{mol/l}$  ou  $30 \mu\text{g/dl}$ ) (89, 90).

Selon les critères de l’OMS (5), une prévalence de l’héméralopie supérieure à 1% chez les enfants de 24–71 mois ou la présence de rétinolémies inférieures à  $0,70 \mu\text{mol/l}$  chez 10% ou plus des enfants de 6–71 mois indiquent l’existence d’un problème de santé publique (**Tableau 3.5**). On a récemment émis l’idée qu’une prévalence de l’héméralopie supérieure à 5% chez les femmes enceintes devrait être ajoutée à la liste des critères indiquant un problème de santé publique (88).

### 3.2.2 Facteurs de risque

En général, la carence en vitamine A apparaît dans un environnement défavorisé sur le plan écologique, social et économique, et dans lequel les principaux facteurs de risque sont une alimentation pauvre en sources de vitamine A (produits laitiers, œufs, fruits et légumes), un mauvais état nutritionnel et un taux élevé de maladies infectieuses, notamment la rougeole et les maladies diarrhéiques (voir **Tableau 1.2**).

Les meilleures sources de vitamine A sont les aliments d’origine animale, en particulier le foie, les œufs et les produits laitiers, qui contiennent de la vitamine

TABLEAU 3.5

#### Critères d’évaluation de la gravité de la carence en vitamine A sur le plan de la santé publique

Indicateur	Groupe de population	Prévalence indiquant un problème de santé publique (% de la population)
Cécité nocturne	Femmes enceintes	>5
Cécité nocturne	Enfants 24–71 mois	>1
Taches de Bitot	Enfants 24–71 mois	>0,5
Rétinol sérique $<0,7 \mu\text{mol/l}$ ( $<20 \mu\text{g/dl}$ )	Enfants 6–71 mois	$\geq 10$

Sources : références 5, 88.

A sous forme de rétinol, c'est-à-dire une forme facilement utilisée par l'organisme. Il n'est donc pas surprenant que le risque de carence en vitamine A soit en relation inverse avec les apports d'origine animale. De fait, il est difficile pour des enfants de couvrir leurs besoins en vitamine A avec une alimentation pauvre en aliments d'origine animale (92), surtout si elle est également pauvre en matières grasses. Les fruits et les légumes contiennent de la vitamine A sous forme de caroténoïdes, dont le plus important est le  $\beta$ -carotène. Dans un régime varié, le taux de conversion du  $\beta$ -carotène en rétinol est d'environ 12:1 (ce qui est plus qu'on ne le pensait, c'est-à-dire que le taux de conversion est moins efficace). La conversion des autres caroténoïdes (provitamines A) en rétinol est moins efficace, avec un taux de l'ordre de 24:1 (91, 93). Diverses techniques de préparation des aliments, comme la cuisson, la mouture et l'addition d'huile, peuvent améliorer l'absorption des caroténoïdes présents dans l'alimentation (94–96). Le  $\beta$ -carotène de synthèse en solution huileuse, largement utilisé dans les suppléments de vitamine A, a un taux de conversion en rétinol de 2:1, et les formes synthétiques de  $\beta$ -carotène couramment utilisées pour enrichir les aliments, de 6:1 (93).

### 3.2.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

La carence en vitamine A est la cause majeure de graves troubles visuels et de cécité évitables chez l'enfant, chez qui elle augmente aussi de façon significative le risque de maladie grave et de décès. On estime à 250 000–500 000 par an le nombre d'enfants qui deviennent aveugles par manque de vitamine A, et dont près de la moitié décéderont dans l'année qui suit l'apparition de la cécité. La carence subclinique en vitamine A est également associée à une augmentation du risque de mortalité chez l'enfant, essentiellement par diarrhée et rougeole. Une méta-analyse a montré qu'une supplémentation par de fortes doses de vitamine A pouvait réduire de 50% la mortalité rougeoleuse. Lors d'une autre analyse, on a observé que l'amélioration du statut en vitamine A, que ce soit par supplémentation ou par enrichissement alimentaire, réduisait de 23% la mortalité toutes causes confondues chez les enfants de six mois à cinq ans (12).

Outre son rôle dans l'apparition de la cécité nocturne, la carence en vitamine A contribue probablement de façon importante à la mortalité maternelle et à d'autres issues défavorables de la grossesse et de l'allaitement. D'après les résultats d'une étude dans laquelle des femmes enceintes présentant une carence en vitamine A recevaient des suppléments de vitamine ou de  $\beta$ -carotène en doses équivalentes aux besoins hebdomadaires en vitamine A, la mortalité maternelle a été réduite, respectivement, de 40% et de 49% par rapport à un groupe témoin (97). D'autres études ont montré que la cécité nocturne constituait un facteur de risque de mortalité et de morbidité maternelles : au Népal, par exemple, le taux de décès à la suite d'infections était multiplié par cinq chez les femmes

enceintes déclarant présenter une cécité nocturne, par rapport à celles qui en étaient indemnes (98). La carence en vitamine A augmente également la vulnérabilité à d'autres troubles tels que la carence en fer (voir section 3.1.3). En Indonésie, l'administration d'un supplément de fer et de vitamine A à des femmes enceintes augmentait leur taux d'hémoglobine d'environ 10 g/l de plus qu'une simple supplémentation en fer (99).

### 3.3 Iode

L'iode se trouve dans l'organisme humain en très petites quantités, principalement dans la thyroïde. Son seul rôle confirmé est sa contribution à la synthèse des hormones thyroïdiennes. La carence en iode constitue un problème de santé publique majeur pour des populations du monde entier, mais plus particulièrement chez les jeunes enfants et les femmes enceintes, et dans certains endroits elle représente une menace importante pour le développement social et économique du pays. La conséquence la plus grave de cette carence est le retard mental : c'est actuellement, à l'échelle mondiale, l'une des causes principales des troubles cognitifs évitables et la justification principale des efforts déployés dans tous les pays pour éliminer les troubles dus à la carence en iode.

#### 3.3.1 Prévalence de la carence

Les indicateurs recommandés pour évaluer l'étendue de la carence en iode dans une population sont la mesure de l'iode urinaire médian et la prévalence totale du goitre (**Tableau 3.6**). Selon des critères généralement reconnus, la carence en iode constitue un problème de santé publique dans les populations où la concentration médiane d'iode urinaire se situe au-dessous de 100 µg/l ou dans les régions où le goitre est endémique, c'est-à-dire lorsque plus de 5% des enfants de 6 à 12 ans en sont atteints (**Tableau 3.7**).

Comme la concentration médiane d'iode urinaire reflète l'apport actuel d'iode et répond relativement vite à la correction de la carence, on considère que c'est l'indicateur de choix pour surveiller l'impact des interventions de lutte contre les troubles dus à la carence en iode. On trouvera à l'annexe A une série plus complète d'indicateurs permettant d'estimer la situation des pays sur la voie de l'élimination durable des troubles liés à la carence en iode. Cette série d'indicateurs, recommandée par l'OMS, concerne non seulement le statut en iode dans la population (mesuré par les taux urinaires), mais comporte aussi divers indicateurs programmatiques qui mesurent la durabilité du programme d'iodation du sel.

D'après des estimations récentes de l'OMS, 1989 millions de personnes dans le monde auraient un apport d'iode alimentaire insuffisant (2). Si l'on classe les Régions OMS par ordre décroissant du nombre absolu de personnes touchées par cette carence, on obtient en premier lieu l'Asie du Sud-Est, puis l'Europe,

TABLEAU 3.6  
**Indicateurs pour l'évaluation du statut en iode à l'échelle de la population**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence		Remarques
			Légère	Sévère	
Iode	Urine	Enfants 6–12 ans	Médiane <100 µg/l	Médiane <20 µg/l	Indicateur recommandé pour la surveillance ou l'évaluation du statut en iode à l'échelle de la population. Comme l'iode urinaire ne suit pas une distribution normale, le seuil est défini d'après les valeurs médianes.
Prévalence totale du goitre	Examen clinique	Enfants 6–12 ans	>5 %	>30 %	Reflète un dysfonctionnement passé ou présent de la thyroïde et peut être mesuré par examen clinique ou par échographie. Déconseillé pour la surveillance de l'impact de l'intervention car la réponse du goitre à la correction du statut en iode est retardée.

Source : référence 6.

TABLEAU 3.7

**Critères d'évaluation de la gravité de la carence en iode sur le plan de la santé publique**

Gravité du problème de santé publique	Indicateur	
	Iode urinaire médian (µg/l)	Prévalence totale du goitre (%)
Carence légère	50–99	5,0–19,9
Carence modérée	20–49	20–29,9
Carence sévère	<20	>30

Source: référence 6.

le Pacifique occidental, l'Afrique, la Méditerranée orientale et les Amériques (voir **Tableau 1.1**). Dans certains endroits, par exemple certaines parties de l'Europe orientale et occidentale, on assiste à une réémergence de la carence en iode sous une forme subclinique, alors qu'elle avait été éliminée. Cela souligne bien la nécessité de maintenir en permanence les efforts de lutte à l'échelle mondiale.

### 3.3.2 Facteurs de risque

Le principal facteur à l'origine de la carence en iode est l'insuffisance des apports alimentaires (100). Cette situation tend à se produire dans les populations vivant dans des endroits où le sol s'est trouvé privé d'iode du fait des glaciations passées et, par la suite, du lessivage par la neige, l'eau et les fortes pluies.

La carence en iode est aggravée par la consommation en grandes quantités de goitrogènes naturels présents dans certains aliments de base comme le manioc. L'action antithyroïdienne de ces composés est liée à la présence de thiocyanates qui inhibent le transport des iodures dans la thyroïde et, à plus fortes doses, entrent en compétition avec les iodures pour la synthèse des hormones thyroïdiennes (101). Leur goitrogénicité est déterminée par l'équilibre entre les apports alimentaires d'iode et de thiocyanates: le goitre se développe lorsque le rapport iode urinaire (µg):thiocyanate (mg) tombe au-dessous de 3.

### 3.3.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

La carence en iode est liée à une vaste gamme d'anomalies, groupées sous l'appellation de «troubles dus à la carence en iode» (TDCI), qui traduisent un dysfonctionnement de la thyroïde (9). Le goitre et le crétinisme sont les manifestations les plus visibles de la carence en iode; les autres conséquences sont l'hypothyroïdie, une baisse de la fécondité et une augmentation des morts périnatales et de la mortalité infantile (**Tableau 3.8**).

Lorsque l'apport d'iode est anormalement faible, l'organisme peut encore produire des hormones thyroïdiennes en quantité suffisante grâce à une sécrétion

TABLEAU 3.8

**Spectre des troubles dus à la carence en iode**

Fœtus	Avortements Mortinaissances Malformations congénitales
Nouveau-né	Augmentation de la mortalité infantile Altération des fonctions cognitives et troubles neurologiques, y compris crétinisme et arriération mentale endémiques Hypothyroïdie
Enfant, adolescent et adulte	Sensibilité accrue de la thyroïde aux radiations ionisantes Hypothyroïdie Goitre Retard du développement physique chez l'enfant et l'adolescent Altération des fonctions mentales Baisse de la fécondité Hypothyroïdie induite par l'iode chez l'adulte Sensibilité accrue de la thyroïde aux radiations ionisantes Hyperthyroïdie spontanée chez les personnes âgées Goitre et complications

Source : d'après la référence 9.

accrue de thyroïdostimuline (TSH). Cependant, une stimulation prolongée de la thyroïde par la TSH finira par provoquer un goitre; cette affection traduit une hyperplasie de la thyroïde, du fait de son incapacité à synthétiser une quantité suffisante d'hormones.

Parmi les troubles liés à la carence en iode, le plus grave est l'arriération mentale irréversible (9, 102, 103). Une carence en iode ayant pour effet une insuffisance thyroïdienne pendant la période cruciale du développement cérébral, c'est-à-dire de la vie fœtale jusqu'à l'âge de trois mois, entraînera des altérations irréversibles du fonctionnement cérébral (104, 105). Dans les régions où la carence sévère en iode est endémique, le crétinisme peut toucher 5 à 15% de la population. Certains sujets vivant dans des régions où la carence en iode est légère à modérée présentent des déficits neurologiques et intellectuels semblables à ceux du crétinisme, mais moins marqués. Une méta-analyse de 19 études réalisées dans des régions de carence grave a montré que la carence en iode est responsable d'une perte moyenne de 13,5 points de quotient intellectuel chez les populations touchées (104).

La correction de la carence en iode, lorsqu'elle intervient à temps, permet d'en réduire ou d'en éliminer toutes les conséquences. La validité de cette assertion repose sur la diminution très marquée des troubles dus à la carence en iode que l'on observe systématiquement avec l'adjonction d'iode à l'alimentation (voir section 1.3) et sur la réapparition de ces troubles lorsqu'un programme efficace de lutte est interrompu dans une population qui était auparavant touchée par la carence (106).

## CHAPITRE 4

# Zinc, acide folique, vitamine B12 et autres vitamines du groupe B, vitamine C, vitamine D, calcium, sélénium et fluor

### 4.1 Zinc

Le zinc est un constituant essentiel d'un grand nombre d'enzymes et joue un rôle central dans la croissance et la différenciation cellulaires dans les tissus qui présentent un taux élevé de différenciation et de renouvellement, comme ceux du système immunitaire et du tractus digestif. L'impact positif de la supplémentation en zinc sur le développement chez des enfants présentant un retard de croissance, et sur la prévalence de certaines maladies de l'enfance comme la diarrhée, laisse à penser que la carence en zinc pourrait constituer un important problème de santé publique, notamment dans les pays en développement. On connaît cependant mal l'étendue de cette carence au niveau mondial. Tous les groupes d'âge d'une population sont exposés au risque de carence, mais les nourrissons et les enfants en bas âge sont probablement les groupes les plus vulnérables. Les femmes enceintes et allaitantes sont aussi très probablement sensibles à cette carence, et il est urgent de disposer de davantage de données sur les répercussions d'un statut en zinc insuffisant dans ces groupes particuliers de population (107, 108).

#### 4.1.1 Prévalence de la carence

Du fait de l'absence d'indicateurs fiables, largement acceptés et suffisamment sensibles du statut en zinc, la prévalence mondiale de la carence en zinc est mal connue. Les indicateurs disponibles, comme la concentration en zinc dans le plasma et les cheveux (voir **Tableau 4.1**), ne détectent les modifications du statut en zinc que dans les cas de carence sévère, et peuvent laisser passer inaperçue une carence peu prononcée.

Comme on l'a vu plus haut, on a toutefois de bonnes raisons de penser que la carence en zinc pourrait être assez répandue, en particulier chez les nourrissons et les enfants. Tout d'abord, on a observé dans certains groupes de population une prévalence élevée de faibles taux plasmatiques de zinc, un indicateur raisonnablement fiable d'une carence assez prononcée. Ensuite, plusieurs essais contrôlés randomisés ont montré que des enfants présentant un retard de croissance et/ou un faible taux plasmatique de zinc répondaient positivement à une supplémentation en zinc, observation qui laisse à penser que la carence en

TABLEAU 4.1

**Indicateurs pour l'évaluation du statut en zinc à l'échelle de la population**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence	Remarques
Zinc	Sérum ou plasma	Applicable à tous les groupes de population	<70 µg/dl	Pas de seuil généralement reconnu. Le taux plasmatique de zinc est régulé de façon homéostatique et sa mesure ne peut donc pas détecter une carence marginale. Valeurs sujettes à des variations diurnes. Le taux plasmatique de zinc est abaissé en cas de grossesse, d'hypoalbuminémie (PEM) et d'infection.
Zinc	Érythrocytes	Applicable à tous les groupes de population	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Peut être utilisé comme indicateur secondaire, pour confirmer le diagnostic.
Zinc	Cheveux	Applicable à tous les groupes de population	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	De nouvelles recherches sont nécessaires avant que cet indicateur puisse être utilisé pour confirmer le diagnostic. N'est pas très utilisé comme indicateur dans les enquêtes en population.

PEM: malnutrition protéino-énergétique.

Sources: références 91, 93.

zinc pourrait être un facteur du retard de croissance. Le retard de croissance touche près du tiers des enfants dans les régions du monde les plus défavorisées et est très fréquent là où l'alimentation est de qualité médiocre. Cela ne signifie cependant pas que la carence en zinc touche près d'un enfant sur trois dans les pays en développement, car ce n'est qu'une des nombreuses causes possibles du retard de croissance.

En se basant sur des estimations des apports en zinc et de sa biodisponibilité établies à partir des données de la FAO sur les bilans alimentaires, on a calculé qu'environ 20% de la population mondiale pouvait être exposée à un risque de carence en zinc. Les régions les plus touchées seraient, par ordre de gravité,

l'Asie du Sud (en particulier le Bangladesh et l'Inde), l'Afrique et le Pacifique occidental (109). Il est probable que la présence d'une carence en zinc sera fortement associée à une carence en fer, car ces deux éléments se trouvent dans les mêmes aliments (viande, volaille et poisson) et, dans les deux cas, leur absorption est inhibée par la présence de phytates. Mais, contrairement au fer, le zinc n'est pas affecté par les pertes de sang.

#### 4.1.2 Facteurs de risque

Du fait du rôle central du zinc dans la division cellulaire, la synthèse des protéines et la croissance, il est particulièrement important d'assurer un apport suffisant en cet élément chez les enfants et les femmes enceintes et allaitantes. Les principaux facteurs de risque de carence en zinc sont une alimentation pauvre en zinc ou riche en phytates, des troubles liés à une malabsorption (qui peuvent être dus entre autres à la diarrhée ou à des parasites intestinaux), une insuffisance de l'utilisation du zinc ainsi que certaines maladies génétiques (par exemple acrodermatite entéropathique, anémie falciforme) (Tableau 1.2).

La biodisponibilité du zinc dépend de la composition de l'alimentation, en particulier de la proportion d'aliments riches en phytates (certaines céréales et légumineuses). Le rapport molaire phytate:zinc dans les repas ou dans le régime alimentaire donne une mesure utile de la biodisponibilité du zinc. Lorsque ce rapport est élevé (au-dessus de 15:1), l'absorption du zinc à partir des aliments est faible, c'est-à-dire de moins de 15% (110, 111). En ajoutant des protéines animales dans le régime, on peut améliorer l'apport total en zinc et l'efficacité de son absorption à partir d'une alimentation contenant des phytates (112). Par exemple, lors d'une étude portant sur des jeunes femmes en Chine, l'addition d'aliments d'origine animale à une alimentation à base de riz et de blé doublait approximativement la quantité de zinc absorbée (113). D'après les données d'études expérimentales sur l'absorption du zinc, on a établi divers critères permettant de distinguer les régimes alimentaires dans lesquels la biodisponibilité du zinc devait être forte, moyenne ou faible; ils sont présentés dans le **Tableau 4.2**.

On ne sait pas encore exactement dans quelle mesure la présence de phytates inhibe l'absorption du zinc. Il est intéressant de noter que plusieurs études ont montré que le taux de zinc absorbé à partir de régimes alimentaires à base de légumineuses était comparable à celui que l'on observe avec des régimes contenant des protéines animales, malgré la teneur relativement élevée des premiers en phytates (112, 114), et que chez des femmes adultes, environ 30% du zinc contenu dans les aliments est absorbé, et cela avec des régimes alimentaires très différents (93). Lors d'une expérience contrôlée, des nourrissons absorbaient près de 45% du zinc contenu dans un aliment complémentaire à base de blé et de soja, que celui-ci contienne 0,77% ou 0,3% d'acide phytique (115).

TABLEAU 4.2

### Classification des régimes alimentaires usuels en fonction de la biodisponibilité potentielle de leur contenu en zinc

Biodisponibilité <sup>a</sup>	Principales caractéristiques de l'alimentation
Forte	Régimes à base d'aliments raffinés contenant peu de fibres de céréales, à teneur faible en acide phytique, et dont le rapport molaire phytates : zinc est <5; teneur suffisante en protéines principalement d'origine non végétale comme la viande et le poisson. Comprend des préparations semi-synthétiques à base de protéines animales.
Moyenne	Régimes mixtes contenant des protéines animales (viande ou poisson). Régimes lacto-ovo-végétariens, ovo-végétariens ou végétaliens non principalement à base de céréales non raffinées ou de farines à fort taux d'extraction. Rapport molaire phytates : zinc pour l'ensemble de l'alimentation dans l'intervalle 5–15 ou ne dépassant pas 10 si plus de 50 % de l'apport énergétique provient de céréales et de farines non fermentées et non raffinées et si le régime est enrichi en sels inorganiques de calcium (>1 g Ca <sup>2+</sup> /jour). La biodisponibilité du zinc est améliorée lorsque le régime contient des sources de protéines animales (y compris le lait).
Faible	Régimes riches en céréales non raffinées, non fermentées et non germées, <sup>b</sup> surtout lorsqu'elles sont enrichies en sels de calcium inorganiques et lorsque la consommation de protéines animales est négligeable. Rapport molaire phytates : zinc dépassant 15. <sup>c</sup> Principale source de protéines constituée par des produits à base de protéines de soja riches en phytates. Régimes dans lesquels environ la moitié de l'apport énergétique provient d'un ou plusieurs des aliments riches en phytates suivants : grains et farines de haute extraction (≥90 %) de blé, riz, maïs, gruau d'avoine, millet; farines de <i>chapatti</i> et <i>tanok</i> ; sorgho, doliques, pois cajan, pois chiches, haricots, haricots à œil noir, farine d'arachide. Des apports élevés de sels de calcium inorganiques (>1 g Ca <sup>2+</sup> /jour), sous forme de suppléments ou en tant que contaminants adventices (par exemple en cas de géophagie sur terrain calcaire) potentialisent les effets inhibiteurs sur l'absorption du zinc; une faible consommation de protéines animales exacerbe ces effets.

<sup>a</sup> Aux niveaux d'apport suffisants pour couvrir les besoins moyens correspondant aux normes pour le zinc absorbé, les trois niveaux de biodisponibilité correspondent à un taux d'absorption de 50 %, 30 % et 15 %. Aux niveaux d'apport supérieurs, la fraction absorbée est plus faible.

<sup>b</sup> La germination de telles céréales ou la fermentation des farines peut dans de nombreux cas réduire l'activité antagoniste; si les grains de céréales sont germés, le régime alimentaire doit être classé comme régime à biodisponibilité moyenne en ce qui concerne le zinc.

<sup>c</sup> Des régimes alimentaires à base de végétaux et dont le rapport phytates : zinc dépasse 30 ne sont pas inconnus; pour de tels régimes, il peut être justifié de supposer une biodisponibilité du zinc de 10 % ou même moins, surtout si l'apport de protéines est faible, si l'apport de sels de calcium inorganiques est excessif, ou les deux.

Source : référence 93.

Au Malawi, 24% du zinc contenu dans des repas à base de maïs riches en phytates consommés par des enfants était absorbé, ce qui montre ici encore un taux d'absorption relativement élevé compte tenu de la teneur en phytates (116).

Des interactions basées sur la compétition peuvent se produire entre le zinc et d'autres éléments minéraux ayant des propriétés physiques et chimiques similaires, comme le fer et le cuivre. Présents en grandes quantités (par exemple sous forme de suppléments) ou en solution aqueuse, ces minéraux réduisent l'absorption du zinc. Cependant, aux concentrations présentes dans les régimes alimentaires courants et dans les aliments enrichis, ils n'affectent en général pas l'absorption du zinc (93). D'autre part, des taux élevés de calcium dans l'alimentation (>1 g par jour), qui peuvent être consommés par certaines personnes, peuvent inhiber l'absorption du zinc, surtout en présence de phytates. Le degré d'inhibition varie selon le type d'alimentation et la source de calcium (93). Contrairement à ce qui se passe avec le fer, l'absorption du zinc n'est pas inhibée par les composés phénoliques ni renforcée par la vitamine C.

Il est difficile d'intégrer de façon cohérente l'influence de tous les facteurs de risque que l'on vient de voir. De nouveaux travaux sont nécessaires en particulier pour évaluer la biodisponibilité du zinc contenu dans les régimes alimentaires courants dans les pays en développement et pour mieux comprendre la relation entre les habitudes alimentaires et les apports en zinc.

#### 4.1.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

La carence en zinc est souvent difficile à identifier car ses manifestations cliniques manquent en général de spécificité (**Tableau 1.2**). Les symptômes de carence sévère consistent en dermatite, retard de croissance, diarrhée, troubles mentaux et infections à répétition. Les carences modérées et légères sont encore plus difficiles à diagnostiquer, non seulement du fait de la diversité de leurs symptômes, mais aussi parce qu'il n'existe pas de marqueurs biologiques appropriés pour la carence en zinc (117).

Chez l'enfant, le retard de croissance est l'une des conséquences possibles de la carence en zinc. Des essais de supplémentation réalisés depuis quelques dizaines d'années chez des enfants de pays en développement ont clairement démontré les effets positifs de l'amélioration du statut en zinc, avec une augmentation de la croissance et une baisse de l'incidence de diverses maladies infectieuses et parasitaires (17, 18, 118). Par exemple, une méta-analyse d'essais contrôlés randomisés de supplémentation a rapporté une baisse de 18% de l'incidence et de 25% de la prévalence de la diarrhée et une baisse de 41% de l'incidence de la pneumonie (18). La supplémentation en zinc a également réduit le nombre d'épisodes de paludisme et de visites au dispensaire pour des complications du paludisme en Papouasie-Nouvelle-Guinée (118), mais non au Burkina Faso (119).

Chez la femme enceinte, l'effet du statut en zinc sur l'issue de la grossesse est actuellement mal connu (120). Des carences sévères en zinc ont été associées à des issues défavorables chez la mère (121), mais des études portant sur des carences modérées se sont avérées peu concluantes (122). Au Pérou, une supplémentation en zinc chez les mères améliorait le développement neurocomportemental chez le fœtus (123) mais était sans effet sur la taille de l'enfant à la naissance ni sur la durée de la grossesse (124). En Inde, des suppléments de zinc ont aidé à réduire la mortalité chez les nourrissons de faible poids de naissance (125). Il est intéressant de noter que la teneur en zinc du lait maternel n'est pas corrélée avec les apports en zinc et ne semble pas influencée par la supplémentation (126, 127).

## 4.2 Acide folique

L'acide folique (vitamine B9) joue un rôle central dans la synthèse et la méthylation des nucléotides qui interviennent dans la multiplication cellulaire et la croissance des tissus. Son rôle dans la synthèse et le métabolisme des protéines est étroitement lié à celui de la vitamine B12. L'association d'une carence sévère en folates et d'une carence en vitamine B12 peut entraîner une anémie mégalo-blastique. Des apports insuffisants de folates sont également associés à un risque accru de défaut de fermeture du tube neural chez le nouveau-né et peut-être aussi d'autres anomalies congénitales et, chez l'adulte, à un risque accru de maladies cardio-vasculaires, de cancer et de troubles cognitifs.

### 4.2.1 Prévalence de la carence

Les folates sériques sont un bon indicateur des apports récents de folates alimentaires, et leur mesure constitue la méthode la plus largement utilisée pour évaluer le statut en acide folique (128). Les folates érythrocytaires sont toutefois le meilleur indicateur du statut à long terme et des réserves tissulaires. La concentration élevée d'homocystéine dans le plasma est un bon facteur prédictif de l'insuffisance en folates. Mais les carences en d'autres vitamines (par exemple les vitamines B2, B6 et B12) font également augmenter les taux d'homocystéine. Les indicateurs du statut en folates sont récapitulés dans le **Tableau 4.3** (93, 128, 129).

La prévalence mondiale de la carence en folates n'est pas connue avec certitude car on manque de données à ce sujet (130). Seuls quelques pays disposent à l'échelle nationale ou régionale de données biochimiques sur le statut en folates. De plus, les efforts visant à comparer les apports alimentaires courants avec les besoins estimés (ce qui constitue un autre moyen d'évaluer la prévalence probable de la carence dans une population) se heurtent à la difficulté de mesurer la teneur des aliments en folates.

TABLEAU 4.3

**Indicateurs pour l'évaluation du statut en folates (vitamine B9) à l'échelle de la population**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence	Remarques
Folates	Sérum	Applicable à tous les groupes de population	<10 nmol/l (4,4 µg/l)	Le taux sérique de folates est l'indicateur le plus largement utilisé pour la détermination du statut en folates. Il est considéré comme un indicateur sensible des apports récents, mais un moins bon indicateur des réserves de l'organisme.
Folates	Érythrocytes	Applicable à tous les groupes de population	<305 nmol/l (140 µg/l)	Les folates érythrocytaires reflètent le statut à long terme et les réserves tissulaires.
Homocystéine totale (libre et liée)	Plasma	Applicable à tous les groupes de population	12–16 µmol/l (1,62–2,2 mg/l)	L'homocystéine plasmatique totale est un bon indicateur prédictif du statut en folates : il est augmenté en cas de statut insuffisant.  Indicateur non spécifique car il est également augmenté en cas de carence en vitamines B2, B6 et B12 et est influencé par le sexe, l'appartenance ethnique et la présence d'une insuffisance rénale.

Sources : références 93, 128, 129.

La carence en folates tend à avoir une prévalence plus élevée dans les populations qui consomment des quantités importantes de céréales raffinées (pauvres en folates) et peu de légumes-feuilles et de fruits (riches en folates). Des enquêtes alimentaires réalisées en Inde ont montré que les personnes dont l'alimentation se composait essentiellement de céréales ne consommaient qu'environ 75 µg de folates par jour (131). Aux États-Unis d'Amérique, avant l'introduction de l'enrichissement obligatoire de la farine en acide folique en 1998, on estimait à 15% la proportion de femmes adultes qui présentaient des taux faibles de folates sériques et/ou érythrocytaires. De même, au Chili, où l'on

consomme beaucoup de farine de blé blanche, les faibles taux de folates sériques et érythrocytaires étaient fréquents avant l'adoption de la politique d'enrichissement de la farine en acide folique (132). En revanche, les faibles taux plasmatiques sont rares dans des pays comme le Guatemala, le Mexique et la Thaïlande (77), où le régime alimentaire contient en général une plus grande proportion de fruits et légumes. Par exemple, très peu d'échantillons de sang prélevés lors de l'enquête nationale sur la nutrition réalisée au Mexique avaient une faible teneur en folates, à l'exception des échantillons provenant d'enfants de moins de 4 ans, chez lesquels la prévalence des faibles folatémies était d'environ 10% (133). Du fait de la forte teneur en folates de certaines légumineuses, fruits et légumes par rapport aux céréales raffinées, il se peut que les populations de certains pays en développement consomment davantage de folates que celles des pays industrialisés. De même, une étude sur des femmes enceintes réalisée en Allemagne a montré que les femmes végétariennes consommant du lait et des œufs (lacto-ovo-végétariennes) et les femmes consommant peu de viande avaient des taux plus élevés de folates érythrocytaires que les non-végétariennes; on a attribué cette observation au fait que les femmes végétariennes consommaient proportionnellement plus de légumes riches en folates que les non-végétariennes (134).

#### 4.2.2 Facteurs de risque

Les principales sources alimentaires de folates sont les légumes-feuilles, les fruits, la levure et le foie. Une faible consommation de ces aliments associée à une consommation relativement importante de céréales raffinées augmente par conséquent le risque de carence. Les troubles dus à une malabsorption, les parasitoses à *Giardia lamblia*, les infections bactériennes, les troubles génétiques (du métabolisme de l'acide folique) et l'alcoolisme chronique sont également des facteurs de risque de carence en folates (voir **Tableau 1.2**).

#### 4.2.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Les conséquences possibles d'un statut en folates insuffisant sur la santé, dont l'anémie mégaloblastique, sont récapitulées dans le **Tableau 1.2**. L'acide folique est depuis longtemps ajouté aux suppléments de fer donnés aux femmes enceintes dans les pays en développement, même si on n'a que peu d'indices en provenance d'Afrique et d'Inde selon lesquels l'acide folique réduirait le risque d'anémie mégaloblastique. De fait, on n'a que peu de preuves que l'administration d'acide folique avec le fer assure une meilleure prévention de l'anémie que le fer seul (77, 135).

Des essais randomisés réalisés en Chine (136), aux États-Unis d'Amérique (137) et dans divers autres endroits ont régulièrement montré que les suppléments

d'acide folique pris avant la conception et dans les 28 jours suivant celle-ci réduisaient le risque de défaut de fermeture du tube neural chez l'enfant (139). Ces malformations sont graves et entraînent soit la mort soit une incapacité majeure et irréversible chez les survivants; à l'échelle mondiale, on estime à au moins 300 000 par an le nombre de nouveau-nés atteints (139). Il a également été démontré que la supplémentation en acide folique a un effet favorable chez certaines femmes qui présentent une anomalie génétique du métabolisme des folates qui se traduit par un défaut d'utilisation de ceux-ci (140). De plus, une analyse des données de différents essais portant sur l'administration de micronutriments pendant la grossesse a montré que l'acide folique était le seul micronutriment associé à une réduction du risque d'accouchement prématuré (141).

Plusieurs essais d'intervention ont montré que l'enrichissement en acide folique abaissait le taux plasmatique d'homocystéine, même chez des populations où la prévalence de la carence en folates est relativement faible (49). Plusieurs séries de données montrent que même un taux modérément élevé d'homocystéine dans le plasma constitue un facteur de risque indépendant pour les maladies cardio-vasculaires (142) et les accidents vasculaires cérébraux (143), deux causes majeures de mortalité dans de nombreux pays. La nature du lien de causalité est encore controversée (144), mais une comparaison des résultats d'études génétiques et d'études épidémiologiques prospectives, dont on pourrait s'attendre à ce qu'elles soient entachées de nombreux biais, montre nettement l'existence d'un lien de causalité direct entre les taux élevés d'homocystéine et les maladies cardio-vasculaires (145). Dans les pays industrialisés, les taux élevés d'homocystéine plasmatique sont également associés à un risque accru d'altération des fonctions cognitives chez l'adulte (146) et à de nombreux cas d'issues défavorables de la grossesse – éclampsie, accouchements prématurés et anomalies chez le nouveau-né telles que bec-de-lièvre et malformations cardiaques. Toutefois, les données montrant les effets favorables de la supplémentation sur ces troubles ne sont pas aussi concluantes que celles qui montrent la relation entre la supplémentation et la prévention du défaut de fermeture du tube neural (147).

L'adjonction d'acide folique à des produits céréaliers aux États-Unis d'Amérique, une pratique qui, comme on l'a déjà vu, a été introduite en 1998, a entraîné une augmentation notable des taux moyens de folates sanguins chez les femmes en âge de procréer (148). On a ainsi pu éliminer pratiquement les faibles folatémies (149) et abaisser les taux plasmatiques d'homocystéine dans la population tout entière (49). La quantité d'acide folique ajoutée (140 µg pour 100 g de farine) ne risque pas en principe d'augmenter l'apport total en folates jusqu'à dépasser l'apport maximal tolérable, qui est de 1000 µg par jour quels que soient l'âge et le sexe (128) ni d'exacerber ou de masquer des problèmes dus à une carence en vitamine B12 (voir section 4.3).

### 4.3 Vitamine B12

La vitamine B12 (cobalamine) intervient comme cofacteur dans la synthèse de la méthionine, un acide aminé essentiel. Son rôle métabolique est étroitement lié à celui de l'acide folique car l'une des enzymes dépendant de la vitamine B12, la méthionine synthétase, est indispensable au fonctionnement du cycle de la méthylation dans lequel le méthyl-5 tétrahydrofolate agit comme source de groupes méthyl nécessaires au métabolisme et à la survie cellulaires. La carence en cette vitamine peut donc influencer défavorablement sur l'utilisation des folates et entraîner une détérioration neurologique, une anémie mégalo-blastique, des taux élevés d'homocystéine dans le plasma et peut-être une altération de la fonction immunitaire. Chez le nourrisson et le jeune enfant, elle peut provoquer un retard sévère du développement.

#### 4.3.1 Prévalence de la carence

Le statut en vitamine B12 se mesure habituellement par la concentration de cette vitamine dans le plasma ou le sérum (**Tableau 4.4**) (93, 128, 129). Bien que des taux élevés d'acide méthylmalonique dans les urines et le plasma soient des indicateurs plus spécifiques et souvent plus sensibles de la carence en vitamine B12, ces concentrations sont plus difficiles et plus coûteuses à mesurer que celles de la vitamine elle-même. Un taux élevé d'homocystéine est un bon facteur prédictif du statut en vitamine B12.

La variabilité des taux plasmatiques utilisés pour définir la carence en vitamine B12 (voir **Tableau 4.4**) rend les résultats des rares études de prévalence difficiles à généraliser. De plus, rien ne montre avec certitude que la carence en vitamine B12 varie selon les pays ou régions. Dans les pays où elle a été évaluée à l'échelle nationale, on a trouvé des taux faibles de vitamine B12 dans le sérum au Venezuela (11–12% chez les enfants d'âge préscolaire et scolaire), en Allemagne (15% chez les femmes en âge de procréer), au Royaume-Uni (31% chez les personnes âgées) et en Nouvelle-Zélande (12% chez les personnes âgées). La prévalence était plus faible aux États-Unis d'Amérique (0–3% chez les enfants d'âge préscolaire et scolaire, les adultes et les personnes âgées) et au Costa Rica (5,3% chez les femmes allaitantes). Lors d'études de moins grande ampleur, on a trouvé une proportion importante de taux faibles de vitamine B12 dans le plasma au Kenya (40% chez les enfants d'âge scolaire), au Zimbabwe (24% chez les personnes âgées), en Israël (21% chez les adultes) et en Inde (46% chez les adultes), tandis que dans d'autres pays comme le Botswana (enfants d'âge préscolaire), la Thaïlande (enfants d'âge scolaire) et le Japon (adultes), la prévalence des faibles taux plasmatiques de vitamine B12 était inférieure à 1% (130, 150–152).

TABLEAU 4.4  
Indicateurs pour l'évaluation du statut en vitamine B12 (cobalamine) à l'échelle de la population

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence	Remarques
Vitamine B12	Sérum ou plasma	Applicable à tous les groupes de population	<150 pmol/l (<203 ng/l)	Reflète à la fois les apports récents et les réserves de l'organisme. Les valeurs au-dessus du seuil n'indiquent pas nécessairement un statut adéquat. En cas de valeurs marginales, l'analyse de l'acide méthylmalonique sérique est indiquée.
Acide méthylmalonique	Sérum ou plasma	Applicable à tous les groupes de population	>271 nmol/l	Augmenté en cas d'apport faible en vitamine B12. C'est l'indicateur de choix car les taux élevés sont hautement spécifiques de la carence en vitamine B12.
Homocystéine totale (libre et liée)	Plasma	Applicable à tous les groupes de population	12–16 µmol/l (1,62–2,2 mg/l)	L'homocystéine plasmatique totale est un bon indicateur prédictif du statut en vitamine B12 : il est augmenté en cas de statut insuffisant. Indicateur non spécifique car il est également augmenté en cas de carence en vitamines B2, B6 et B12 et est influencé par le sexe, l'appartenance ethnique et la présence d'une insuffisance rénale.

Sources : références 93, 128, 129.

### 4.3.2 Facteurs de risque

La vitamine B12 est synthétisée par des micro-organismes dans l'intestin des animaux et est ensuite absorbée et incorporée dans les tissus. Les produits provenant d'animaux herbivores (viande, œufs et lait) sont ainsi la seule source de cette vitamine pour l'homme. C'est pourquoi les apports sont très faibles voire pratiquement nuls dans les groupes de population économiquement défavorisés, ou ceux qui évitent de consommer des produits d'origine animale pour des raisons religieuses ou autres. Le risque de carence est élevé chez les végétaliens, et même les végétariens qui consomment du lait et des œufs ont des taux plasmatiques de vitamine B12 plus faibles que les personnes qui consomment de la viande (153). Un apport faible chez la mère et/ou un statut vitaminique insuffisant pendant l'allaitement conduiront à un manque de vitamine B12 dans le lait maternel et à une carence chez le nourrisson. Les syndromes de malabsorption et certains défauts métaboliques congénitaux constituent également des facteurs de risque de carence en vitamine B12.

L'atrophie de la muqueuse gastrique, qui survient avec l'âge et en cas d'infection prolongée par *Helicobacter pylori*, entraîne une perte considérable de la capacité d'absorption de la vitamine B12 contenue dans les aliments. Toutefois, la forme cristalline de cette vitamine, utilisée dans les suppléments et pour enrichir les aliments, peut encore être absorbée par la plupart des sujets. C'est pourquoi le Canada et les États-Unis d'Amérique recommandent que les personnes âgées de leur population, dont plus de 20% sont susceptibles de présenter à des degrés divers une carence en vitamine B12, consomment une partie importante des apports recommandés sous forme d'aliments enrichis et/ou de suppléments (128). La prévalence de la carence en vitamine B12 due à une atrophie de la muqueuse gastrique est probablement encore plus grande dans les pays en développement, où cette affection débute beaucoup plus tôt et où l'infection à *Helicobacter pylori* a une prévalence plus élevée.

### 4.3.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Les carences modérées à sévères en vitamine B12 entraînent une anémie mégaloblastique et une démyélinisation du système nerveux central avec comme conséquence divers troubles neurologiques. Ces derniers sont plus ou moins réversibles après correction de la carence (154). Lorsque les taux sériques de vitamine B12 tombent au-dessous de 150 pmol/l, il peut y avoir chez les sujets de tout âge des anomalies du fonctionnement de certaines enzymes, avec le risque, aux concentrations les plus faibles, de troubles potentiellement irréversibles de la mémoire et des fonctions cognitives, de troubles de la conduction nerveuse et d'anémie mégaloblastique. Par exemple, dans une zone périurbaine de Guatemala City, des écoliers présentant des taux faibles de vitamine B12 dans

le plasma obtenaient des scores plus faibles dans des tests de perception et de mémoire et dans des exercices faisant appel au raisonnement, et avaient de moins bons résultats scolaires et une moins bonne capacité d'adaptation (155). Des nourrissons allaités au sein et dont la mère était carencée en vitamine B12 présentaient des troubles du développement, notamment cérébral, et dans certains cas un retard mental (156).

Plusieurs études, pour la plupart réalisées dans des pays industrialisés, ont montré les effets positifs de la supplémentation en vitamine B12 chez des groupes de population vulnérables. Par exemple, une supplémentation en vitamine B12 chez des nourrissons carencés dont la mère était végétalienne réduisait l'incidence de l'anémie et des tremblements et améliorait le développement général (156). Parmi les personnes âgées, la supplémentation en vitamine B12 améliorait la symptomatologie chez celles qui présentaient des signes cliniques de carence (157). À l'heure actuelle, peu d'essais d'intervention portant sur la vitamine B12 ont été réalisés dans des pays en développement. Un récent programme de supplémentation portant sur des écoliers au Kenya a toutefois rapporté une baisse significative de la prévalence de la carence en vitamine B12 chez les sujets ayant reçu des suppléments de viande ou de lait par rapport à ceux ayant reçu un placebo ou des suppléments énergétiques (152).

#### 4.4 Autres vitamines du groupe B (thiamine, riboflavine, niacine et vitamine B6)

Comme les sources alimentaires des diverses vitamines du groupe B sont essentiellement les mêmes, il n'est pas étonnant que des régimes pauvres en l'une des vitamines B aient toutes les chances d'être également pauvres en d'autres vitamines de ce groupe. Ces vitamines hydrosolubles sont facilement détruites par la chaleur et lors de la cuisson à l'eau (à l'exception de la niacine qui est stable à la chaleur). Plus important encore, la mouture et le dégermage des grains de céréales leur enlève la quasi-totalité de la thiamine (vitamine B1), de la riboflavine (vitamine B2) et de la niacine (vitamine B3), raison pour laquelle la restitution de ces éléments nutritifs dans la farine de blé et de maïs est largement pratiquée depuis une soixantaine d'années. Cette stratégie a certainement contribué à l'élimination pratiquement totale des carences en vitamines B et des maladies associées (béribéri et pellagre) dans les pays industrialisés.

Dans le passé, on s'était peu intéressé à l'évaluation du statut en thiamine, riboflavine, niacine et vitamine B6. L'une des raisons pour lesquelles ces vitamines avaient été négligées était l'absence de données fiables sur les conséquences des carences marginales ou subcliniques (voir **Tableau 1.2**). Cependant, il semble maintenant que les carences en vitamines du groupe B aient une prévalence élevée dans de nombreux pays en développement, surtout là où l'alimentation

est pauvre en produits d'origine animale, en fruits et en légumes et où les céréales sont moulues avant consommation. Les groupes les plus exposés à la carence sont les femmes enceintes et allaitantes, les nourrissons et les enfants. Comme les apports alimentaires et les réserves de ces vitamines chez la mère influent sur les quantités sécrétées dans le lait, un enrichissement approprié peut assurer un apport vitaminique régulier pendant l'allaitement et donc améliorer le statut en vitamine B chez le nourrisson et l'enfant en bas âge.

#### 4.4.1 Thiamine

La thiamine (vitamine B1) agit comme cofacteur pour plusieurs enzymes déterminantes dans le métabolisme des glucides et est par ailleurs directement impliquée dans le fonctionnement neuronal. Il est probable que la carence en thiamine, dans sa forme subclinique, constitue un problème de santé publique dans de nombreuses régions du monde. Dans sa forme sévère, elle provoque le béribéri, une maladie autrefois courante chez les populations consommant de grandes quantités de glucides, notamment sous forme de riz blanc. Comme on l'a vu plus haut, le béribéri a été largement éradiqué dans la plupart des pays industrialisés, mais il se rencontre encore dans certains pays d'Asie où le riz poli constitue la base de l'alimentation. En outre, des flambées de béribéri sont régulièrement signalées dans des régions soumises à des situations de crise économique et sociale du fait des guerres, de la famine et autres situations d'urgence.

##### 4.4.1.1 Prévalence de la carence

Les indicateurs biochimiques les plus utilisés pour évaluer le statut en thiamine sont l'excrétion urinaire de la thiamine, l'activité de la transcétolase érythrocytaire (ETKA) et l'effet du pyrophosphate de thiamine (TPPE), qui est augmenté en cas de carence (voir **Tableau 4.5**). L'excrétion urinaire de la thiamine indique si l'apport alimentaire de cette vitamine est adéquat, mais ne renseigne pas sur le niveau de déplétion des stocks tissulaires. Ce n'est pas non plus un indicateur très sensible en cas de carence subclinique. Les tests ETKA et TPPE reflètent l'état des stocks tissulaires et donnent une évaluation fonctionnelle directe au niveau cellulaire. L'ETKA est en général considéré comme le meilleur test d'évaluation du statut en thiamine bien que certains rapports montrent une faible corrélation entre ses résultats et ceux d'autres mesures. Dans l'idéal, ce test devrait être associé au TPPE pour confirmer le diagnostic de carence en thiamine. Chez les femmes allaitantes, la concentration de thiamine dans le lait peut être utilisée comme indicateur de carence.

Bien que le manque de données biochimiques fiables empêche de connaître exactement l'ampleur du problème de la carence subclinique en thiamine, on peut obtenir des informations utiles sur la probabilité de l'existence d'une

TABLEAU 4.5

**Indicateurs pour l'évaluation du statut en thiamine (vitamine B1) à l'échelle de la population**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence		Remarques
			Légère	Sévère	
Excrétion de la thiamine (µg/g de créatinine)	Urine	1-3 ans	<175 µg/g	<120 µg/g	Réflecte les apports récents. Les valeurs seuils sont sensiblement plus élevées chez l'enfant. Ce n'est pas un indicateur très sensible pour les carences légères.
		4-6 ans	<120 µg/g	<85 µg/g	
		7-9 ans	<180 µg/g	<70 µg/g	
		10-12 ans	<180 µg/g	<60 µg/g	
		13-15 ans	<150 µg/g	<50 µg/g	
		Adultes	<65 µg/g	<27 µg/g	
Excrétion de la thiamine (µg par 24 heures)	Urine	Grossesse (deuxième trimestre)	<55 µg/g	<27 µg/g	
		Grossesse (troisième trimestre)	<50 µg/g	<21 µg/g	
		Adultes	<100 µg/jour	<40 µg/jour	
Thiamine	Lait maternel	Femmes allaitantes	<100 µg/l	<50 µg/l	De faibles taux de thiamine dans le lait maternel associés à une augmentation de la mortalité infantile peuvent indiquer l'existence d'une carence en thiamine dans la communauté.
Coefficient d'activité de la thiamine transcétolase (ETKA)	Érythrocytes	Peut s'appliquer à tous les groupes de population	≥1,20%	≥1,25%	Généralement considéré comme le meilleur indicateur du statut en thiamine, mais certaines études montrent une faible corrélation avec les autres mesures.
Effet du pyrophosphate de thiamine (TPPE)	Érythrocytes	Peut s'appliquer à tous les groupes de population	>15%	>25%	Test peu standardisé. Le test est effectué en l'absence et en présence de thiamine et le résultat est exprimé sous la forme d'un coefficient d'activité, c'est-à-dire du pourcentage d'augmentation de l'activité de la thiamine transcétolase après addition de pyrophosphate de thiamine dans les érythrocytes.

Sources : références 93, 128, 129, 158.

TABLEAU 4.6

**Critères proposés pour l'évaluation de la gravité de la carence en thiamine sur le plan de la santé publique**

Indicateur	Gravité du problème de santé publique (% de la population au-dessous du seuil de définition de la carence, sauf indication contraire)		
	Carence légère	Carence modérée	Carence sévère
Signes cliniques (cas cliniques)	<1 (ou ≥1 cas clinique)	1–4	≥5
Test TPPE >25 %	5–19	20–49	≥50
Thiamine urinaire (par g de créatinine)	5–19	20–49	≥50
Thiamine dans le lait maternel <50 µg/l	5–19	20–49	≥50
Apport alimentaire <0,33 mg/1000 kcal	5–19	20–49	≥50
Mortalité infantile entre le 2 <sup>e</sup> et le 5 <sup>e</sup> mois	Pas de baisse du taux de mortalité	Léger pic de mortalité	Pic de mortalité marqué

TPPE: effet du pyrophosphate de thiamine.

Source: référence 158.

carence en thiamine dans une communauté en couplant les données sur les concentrations de thiamine dans le lait maternel et les taux de mortalité infantile. Ces critères ainsi que d'autres critères proposés pour la classification de la carence en thiamine en fonction de sa gravité sur le plan de la santé publique sont définis dans le **Tableau 4.6**.

Bien que beaucoup plus rares que dans le passé, des cas de carence sévère en thiamine ou de béribéri ont été récemment rapportés en Indonésie (159) et aux Seychelles (160). Cette maladie se rencontre encore au Japon et dans le nord-est de la Thaïlande, où on relève une forte consommation de poisson cru (qui contient de la thiaminase, un composé antithiaminique) et de riz poli (161, 162). Une déplétion en thiamine s'observe de même assez régulièrement dans les populations déplacées et chez les réfugiés se nourrissant de céréales blanches raffinées dans des pays comme Djibouti, l'Éthiopie, la Guinée, le Népal et la Thaïlande (158), ce qui indique que ces populations ainsi que celles touchées par la famine sont exposées à un risque particulièrement élevé de carence. Des flambées sporadiques de carence en thiamine ont été observées en Gambie avec un maximum de cas pendant la saison des pluies, c'est-à-dire en période de disette (163) et à Cuba pendant l'épidémie de neuropathie de 1992–1993 (164). Malgré la présence concomitante d'un statut insuffisant en thiamine et d'une flambée de neuropathie, il n'est pas du tout certain que la carence en thiamine ait été à l'origine du grand nombre de cas de neuropathie (165).

#### 4.4.1.2 Facteurs de risque

Les principales sources de thiamine sont le germe de blé et les extraits de levure, les abats de la plupart des animaux, les légumineuses (pois, haricots, lentilles, fèves, arachides, etc.) et les légumes verts. Une faible consommation de produits d'origine animale, y compris les produits laitiers, et de légumineuses, et une forte consommation de riz blanc et de céréales raffinées constituent donc les principaux facteurs de risque de carence. Un régime riche en aliments qui contiennent des taux élevés de composés antithiaminiques constitue un facteur de risque supplémentaire. L'antagoniste de la thiamine le plus courant est la thiaminase, naturellement présente dans certains poissons crus (166, 167) et parfois comme contaminant bactérien des aliments (168). On peut aussi trouver des antithiaminiques dans le thé, les fougères et les noix de bétel (169). L'alcoolisme chronique et certains troubles génétiques sont également des facteurs de risque (voir **Tableau 1.2**).

#### 4.4.1.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Il existe deux formes distinctes de carence sévère en thiamine, une forme œdémateuse connue sous le nom de béribéri «humide» et une forme neurologique non œdémateuse ou béribéri «sec». La forme humide est associée à une insuffisance cardiaque potentiellement mortelle tandis que la forme sèche tend à être chronique et entraîne une neuropathie périphérique. De nombreux cas de carence en thiamine occasionnent des symptômes mixtes et sont rapportés sous le nom de carence en thiamine avec cardiopathie et neuropathie périphérique (158). La carence en thiamine chez le nourrisson est aujourd'hui rarement observée, et se limite pratiquement aux enfants allaités par une mère carencée. Dans de tels cas, il s'agit presque toujours d'une maladie aiguë avec œdème et insuffisance cardiaque, de taux de létalité élevé.

Le syndrome de Wernicke-Korsakoff est induit par la carence en thiamine et se manifeste habituellement par divers troubles neurologiques classiquement associés à des troubles cognitifs. Il ne s'observe qu'en cas d'alcoolisme chronique et chez les sujets atteints d'anomalies génétiques de la transcétolase, une enzyme dépendant de la thiamine.

Plusieurs études ont indiqué que la supplémentation en thiamine peut faire régresser les symptômes de carence. Pendant une flambée de béribéri en Gambie, par exemple, les groupes touchés ont bien répondu à la supplémentation en thiamine (163).

#### 4.4.2 Riboflavine

La riboflavine (vitamine B2) est un précurseur de divers nucléotides, surtout du flavine mononucléotide (FMN) et du flavine adénine dinucléotide (FAD), qui

agissent comme coenzymes dans différentes voies métaboliques et dans la production d'énergie. La carence en riboflavine est rarement isolée, et est fréquemment associée à des carences en une ou plusieurs des autres vitamines du groupe B.

#### 4.4.2.1 *Prévalence de la carence*

L'excrétion urinaire de la riboflavine, qui est réduite en cas de carence, a été utilisée dans plusieurs études pour évaluer le statut en cette vitamine. La riboflavine urinaire reflète les apports récents, mais n'est pas un très bon indicateur de l'état des réserves de l'organisme (Tableau 4.7). Pour cela, le coefficient d'activité de la glutathion réductase érythrocytaire (EGRAC) constitue un test fonctionnel plus efficace (170). Mais la meilleure mesure du statut en riboflavine est probablement la concentration des nucléotides contenant de la flavine (FMN+FAD) dans les érythrocytes, car elle est non seulement moins sensible aux fluctuations à court terme mais est également plus stable que les valeurs de l'EGRAC (171).

Les quelques études consacrées à l'évaluation du statut en riboflavine à l'échelle de la population ont montré une prévalence préoccupante des états de carence (172). Des anomalies du fonctionnement des enzymes dépendant de la riboflavine ont été rapportées chez presque toutes les femmes enceintes en Gambie (173), chez 50% des personnes âgées et 77% des femmes allaitantes au Guatemala (174) et chez 87% des femmes atteintes de cécité nocturne dans les régions rurales du Népal (171). De plus, lors d'une enquête réalisée en Chine, le taux urinaire de riboflavine était faible chez plus de 90% des adultes (175).

#### 4.4.2.2 *Facteurs de risque*

Les principales sources alimentaires de riboflavine sont la viande et les produits laitiers ; les graines et les céréales n'en contiennent que de petites quantités. Les légumes-feuilles sont également une assez bonne source de riboflavine et tendent à être la principale source de cette vitamine dans les pays en développement. La carence sera donc probablement plus fréquente chez les personnes qui consomment peu d'aliments d'origine animale. Comme pour plusieurs autres vitamines du groupe B, l'alcoolisme chronique constitue un facteur de risque supplémentaire.

#### 4.4.2.3 *Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention*

Les symptômes de la carence en riboflavine manquent de spécificité. Au début, ils peuvent consister en faiblesse, fatigue, douleurs buccales, sensation de brûlure oculaire et démangeaisons. Une carence plus prononcée se manifeste par une dermatite avec chéilite angulaire, dysfonctionnement cérébral et anémie

TABLEAU 4.7  
**Indicateurs pour l'évaluation du statut en riboflavine (vitamine B2) à l'échelle de la population**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence		Remarques
			Carence légère	Carence sévère	
Excrétion de la flavine (nmol/g de créatinine)	Urine	Applicable à tous les groupes de population	<72 nmol/g	<50 nmol/g	Reflète les apports récents. L'analyse par HPLC donne la meilleure détermination.
Nucléotides flaviniques (FMN et FAD)	Érythrocytes	Applicable à tous les groupes de population	<400 nmol/l	<270 nmol/l	Probablement la meilleure mesure du statut en riboflavine; moins sensible aux fluctuations à court terme et plus stable que le coefficient d'activité de la glutathion réductase érythrocytaire. La méthode de mesure comporte une hydrolyse de la FAD en flavine nucléotide. L'analyse par HPLC donne la meilleure détermination.
Coefficient d'activité de la glutathion réductase érythrocytaire (EGRAC)	Erythrocytes	Applicable à tous les groupes de population	>1,2	>1,4	Test fonctionnel qui reflète les réserves de l'organisme. Non spécifique car influencé par le déficit en G6PD et en cas de $\beta$ -thalassémie hétérozygote.

HPLC: chromatographie en phase liquide à haute performance; FMN: flavine mononucléotide; FAD: flavine-adénine dinucléotide; G6PD: glucose-6-phosphate déshydrogénase.

Sources: références 93, 128, 129.

microcytaire (**Tableau 1.2**). La carence en riboflavine réduit par ailleurs l'absorption et l'utilisation du fer pour la synthèse de l'hémoglobine. Il se peut que la carence en riboflavine contribue à la forte prévalence de l'anémie à l'échelle mondiale (voir section 3.1.1), hypothèse renforcée par des rapports en provenance de Gambie et du Guatemala selon lesquels une supplémentation en riboflavine améliore la réponse du taux d'hémoglobine à la supplémentation en fer chez des sujets anémiques (176, 177). On ne sait pratiquement rien des effets d'une carence légère, bien que des études sur la déplétion en riboflavine réalisées aux États-Unis d'Amérique aient mis en évidence des anomalies de l'électroencéphalogramme.

#### 4.4.3 Niacine

La niacine (acide nicotinique ou vitamine B3), en tant que groupe fonctionnel de deux coenzymes, le nicotinamide adénine dinucléotide (NAD) et son phosphate (NADP), joue un rôle essentiel dans les processus oxydatifs. La carence provoque la pellagre et est associée aux régimes alimentaires à dominante de céréales, pauvres en niacine biodisponible, en tryptophane (un acide aminé) et en autres micronutriments nécessaires pour la synthèse de la niacine et du tryptophane. La niacine se distingue des autres vitamines en ce que les besoins de l'organisme peuvent être couverts au moins en partie par une synthèse de cette vitamine à partir d'un acide aminé (le tryptophane) : la conversion de 60 mg de tryptophane (en passant par un dérivé de la niacine) produit 1 mg de niacine.

##### 4.4.3.1 Prévalence de la carence

Il n'existe pas d'indicateurs directs du statut en niacine (**Tableau 4.8**). L'évaluation repose donc sur la mesure d'un ou de préférence plusieurs métabolites urinaires de la niacine, comme le N<sup>5</sup>-méthyl-nicotinamide (NMN) (qui reflète les apports alimentaires récents) ou le rapport 2-pyridone:NMN. Les critères provisoires proposés par l'OMS pour définir la gravité du problème de santé publique à partir de ces biomarqueurs sont indiqués dans le **Tableau 4.9**.

Actuellement, l'évaluation de la prévalence de la carence en niacine repose presque entièrement sur la présence des signes cliniques qui définissent la pellagre. On ne possède que très peu de données biochimiques sur le statut en niacine dans les pays en développement et par conséquent sur la prévalence de la carence subclinique.

La pellagre était répandue dans certaines parties du sud de l'Europe et aux États-Unis d'Amérique au dix-neuvième siècle et au début du vingtième siècle, mais grâce à l'enrichissement des produits céréaliers, cette affection a pratiquement disparu des pays industrialisés. On la rencontre toutefois encore couramment en Inde et dans certaines régions d'Afrique et de Chine, surtout là

TABLEAU 4.8  
**Indicateurs pour l'évaluation du statut en niacine (acide nicotinique) à l'échelle de la population<sup>a</sup>**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence		Remarques
			Carence légère	Carence sévère	
N <sup>1</sup> -méthyl-nicotinamide	Urine	Adultes	<1,6 mg/g de créatinine (<17,5 µmol/24 h)	<0,5 mg/g de créatinine (<5,8 µmol/24 h)	Reflète les apports alimentaires récents de niacine
		Grossesse (deuxième trimestre)	<2,0 mg/g de créatinine	<0,6 mg/g de créatinine	
		Grossesse (troisième trimestre)	<2,5 mg/g de créatinine	<0,8 mg/g de créatinine	
Rapport 2-pyridone : N <sup>1</sup> -méthyl-nicotinamide	Urine	Applicable à tous les groupes de population	<0,5	<0,5	Donne une mesure d'un apport de protéines suffisant plutôt que du statut en niacine
Nucléotides pyridiniques	Erythrocytes	Applicable à tous les groupes de population	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu		Indicateur potentiellement sensible de l'insuffisance de niacine

<sup>a</sup> Comme il n'existe pas actuellement d'indicateur direct du statut en niacine, il est nécessaire de mesurer un ou de préférence plusieurs métabolites urinaires de la niacine.

Sources : références 93, 128, 129, 178.

TABLEAU 4.9

**Critères proposés pour l'évaluation de la gravité de la carence en niacine sur le plan de la santé publique**

Indicateur	Gravité du problème de santé publique (% de la population au-dessous du seuil définissant la carence)		
	Carence légère	Carence modérée	Carence sévère
Signes cliniques (cas cliniques)	<1	1–4	≥5
N <sup>o</sup> -méthyl nicotinamide urinaire ≥0,50 mg/g de créatinine	5–19	20–49	≥50
Rapport urinaire 2-pyridone: N <sup>o</sup> -méthylnicotinamide <1,0	5–19	20–49	≥50
Apport alimentaire <5 mg d'équivalent niacine/jour	5–19	20–49	≥50

Source : référence 178.

où le régime alimentaire est essentiellement à base de maïs. On a récemment rapporté des cas de pellagre dans des régions où le régime alimentaire est à base de sorgho et là où le riz poli est l'aliment principal. La prévalence de la pellagre est également élevée parmi les populations déplacées vivant dans des camps de réfugiés dans le sud et l'est de l'Afrique (178). Par exemple, 6,4% des réfugiés mozambicains au Malawi ont été touchés par une flambée de cas de pellagre (179).

#### 4.4.3.2 Facteurs de risque

La niacine est largement répandue dans les aliments d'origine végétale et animale. Ses principales sources sont la levure de boulangerie, les produits laitiers et autres produits d'origine animale, les céréales, les légumineuses et les légumes-feuilles. Il peut y avoir un manque de niacine lorsque l'alimentation consiste essentiellement en céréales raffinées et leurs dérivés et est par ailleurs peu variée. La carence grave, sous forme de pellagre, se rencontre surtout chez les sujets dont l'alimentation contient insuffisamment de niacine biodisponible et peu de tryptophane, ce qui est le cas avec les régimes à base de maïs et de sorgho.

Dans le maïs, la niacine se trouve principalement sous forme liée, dont 30% seulement sont biodisponibles. Mais on peut améliorer la disponibilité de la niacine liée en pratiquant une hydrolyse par une base faible. En faisant macérer le maïs dans de l'eau de chaux, comme cela se pratique traditionnellement dans certains pays d'Amérique latine pour la préparation des *tortillas*, on libère la niacine de la niacytine et on augmente la quantité de niacine absorbable par l'organisme. La niacine liée peut aussi être libérée par la chaleur : la torréfaction des grains de café, par exemple, augmente la biodisponibilité de l'acide nicotinique, qui passe ainsi de 20 à 500 mg/kg (167). Ces pratiques expliquent

peut-être, au moins en partie, l'absence de la pellagre en Amérique latine. La consommation régulière de lait et de riz peut également aider à prévenir la pellagre; ces aliments, s'ils sont pauvres en niacine, sont riches en tryptophane.

#### 4.4.3.3 *Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention*

Les signes cliniques de la carence en niacine, qui définissent la pellagre, apparaissent au bout de deux à trois mois de consommation d'un régime alimentaire pauvre en niacine et/ou en tryptophane (**Tableau 1.2**). Dans la pellagre, le signe le plus caractéristique est une éruption pigmentée symétrique sur les zones cutanées exposées au soleil. On observe aussi une altération des muqueuses du tractus digestif conduisant à des lésions buccales, des vomissements et de la diarrhée, et des symptômes neurologiques tels que dépression, fatigue et perte de mémoire.

#### 4.4.4 Vitamine B6

La vitamine B6 est en fait un groupe de trois composés naturellement présents dans les aliments, à savoir la pyridoxine (PN), le pyridoxal (PL) et la pyridoxamine (PM). Ces trois formes de la vitamine sont phosphorylées dans l'organisme puis oxydées en 5'-phosphate de pyridoxal (PLP), qui sert de coenzyme carbonyle-réactive pour diverses enzymes impliquées dans le métabolisme des acides aminés. La carence isolée en vitamine B6 est relativement rare; elle est le plus souvent associée à des carences en d'autres vitamines du groupe B.

##### 4.4.4.1 *Prévalence de la carence*

Il existe plusieurs indicateurs biochimiques du statut en vitamine B6 (**Tableau 4.10**), mais qui présentent tous certaines faiblesses. C'est pourquoi l'évaluation du statut en vitamine B6 se fera de préférence au moyen de plusieurs indicateurs combinés. L'absence d'un indicateur unique approprié explique que le statut en vitamine B6 ait rarement été évalué à l'échelle d'une population; toutefois, selon un rapport récent en provenance d'Indonésie, les faibles apports en cette vitamine seraient courants chez l'enfant: parmi les enfants ayant fait l'objet de l'enquête, environ 10% de ceux vivant en zone urbaine et 40% de ceux vivant en zone rurale présentaient des signes biochimiques de carence (180). En Égypte, chez environ 40% des femmes allaitantes, le lait avait une faible teneur en vitamine B6 et les nourrissons comme les mères présentaient des anomalies du comportement (181).

##### 4.4.4.2 *Facteurs de risque*

La vitamine B6 est largement présente dans les aliments, mais la viande, les céréales complètes, les légumes et les fruits secs en sont des sources

TABLEAU 4.10  
Indicateurs pour l'évaluation du statut en vitamine B6 (pyridoxine) à l'échelle de la population<sup>a</sup>

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence		Remarques
			Carence légère	Carence sévère	
5'-Phosphate de pyridoxal (PLP)	Plasma	Adultes	<20 nmol/l	<10 nmol/l	Probablement le meilleur indicateur du statut en vitamine B6. Reflète les réserves tissulaires. La concentration diminue avec l'âge. Reflète les apports alimentaires récents.
Aspartate aminotransférase, rapport apoenzyme : enzyme totale	Urine	Adultes	<3 mmol/jour	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	
Aspartate aminotransférase, rapport apoenzyme : enzyme totale	Érythrocytes	Adultes	>1,6	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Mesuré avant et après l'addition de 5'-phosphate de pyridoxal pour estimer les quantités d'apoenzyme. Le rapport augmente en cas de carence en vitamine B6.
Alanine aminotransférase, rapport apoenzyme : enzyme totale	Érythrocytes	Adultes	>1,25	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Reflète le statut à long terme en vitamine B6. Mesuré avant et après l'addition de 5'-phosphate de pyridoxal pour estimer les quantités d'apoenzyme. Le rapport augmente en cas de carence en vitamine B6.
Homocystéine totale (libre et liée)	Plasma	Adultes	12-16 µmol/l	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Reflète le statut à long terme en vitamine B6. Influencé par le statut en vitamine B6, vitamine B12 et folates, le sexe, l'âge et l'existence d'une insuffisance rénale.

<sup>a</sup> Actuellement, il n'existe pas d'indicateur direct du statut en vitamine B6 ; pour évaluer ce statut il est donc nécessaire de mesurer une combinaison de plusieurs indicateurs.

Sources : références 93, 128, 129.

particulièrement importantes. Les pertes lors de la cuisson et du stockage vont de quelques pour cent à près de la moitié de la teneur initiale en vitamine. Les végétaux contiennent en général de la pyridoxine, qui est la forme la plus stable, tandis que les produits d'origine animale contiennent la forme la moins stable, le pyridoxal, et la forme fonctionnelle, le 5'-phosphate de pyridoxal. Comme pour plusieurs autres vitamines du groupe B, les principaux risques de carence sont une faible consommation de produits d'origine animale et une forte consommation de céréales raffinées. De même, l'alcoolisme chronique constitue un facteur de risque supplémentaire.

#### 4.4.4.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Les symptômes de carence sévère en vitamine B6 manquent de spécificité (**Tableau 1.2**) et consistent en troubles neurologiques (convulsions épileptiques), troubles cutanés (dermatite, glossite, chéilite) et peut-être aussi anémie. La carence en vitamine B6 est un facteur de risque pour les taux élevés d'homocystéine dans le plasma (182). Lors d'essais, des suppléments de vitamine B6 données à des femmes allaitantes augmentaient la sécrétion de vitamine dans le lait (183).

## 4.5 Vitamine C

La vitamine C est un système redox composé d'acide ascorbique et d'acide déshydroascorbique et qui agit comme donneur d'électrons. Sa principale fonction métabolique consiste à entretenir la formation du collagène. C'est aussi un important antioxydant. Si la carence sévère en vitamine C (scorbut) est relativement rare de nos jours, la prévalence des carences légères ou marginales est probablement assez élevée.

### 4.5.1 Prévalence de la carence

Les concentrations d'acide ascorbique dans le plasma ou le sérum reflètent les apports récents de vitamine C et, à ce titre, sont des indicateurs plus fiables du statut en cette vitamine que la concentration d'acide ascorbique dans les érythrocytes (**Tableau 4.11**). Les concentrations d'acide ascorbique dans les leucocytes sont plus étroitement liées aux réserves tissulaires et seraient probablement l'indicateur le plus sensible du statut en vitamine C, mais elles sont techniquement plus difficiles à mesurer et peu pratiques pour les mesures de routine et les enquêtes à grande échelle en population. Les critères proposés par l'OMS pour définir l'importance de la carence en vitamine C sur le plan de la santé publique sont indiqués dans le **Tableau 4.12**.

Malgré son éradication presque totale, la carence sévère en vitamine C (scorbut) se rencontre encore parfois chez les populations déplacées qui dépendent de l'aide alimentaire pendant de longues périodes (trois à six mois)

TABLEAU 4.11  
**Indicateurs pour l'évaluation du statut en vitamine C à l'échelle de la population**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence		Remarques
			Carence légère	Carence sévère	
Acide ascorbique	Sérum/plasma	Applicable à tous les groupes de population	<0,3 mg/100 ml	<0,2 mg/100 ml	Reflète les apports récents.
Acide ascorbique	Érythrocytes	Applicable à tous les groupes de population	<0,5 mg/100 ml	<0,3 mg/100 ml	Reflète les apports récents, mais moins fiable que le taux d'acide ascorbique dans le sérum/plasma.
Acide ascorbique	Leucocytes	Applicable à tous les groupes de population	<114 nmol/10 <sup>8</sup> cellules	<57 nmol/10 <sup>8</sup> cellules	Reflète les réserves de l'organisme. Considéré comme l'indicateur le plus sensible du statut en vitamine C, mais comme la mesure est techniquement complexe et que l'interprétation est limitée par l'absence de procédures de notification standardisées, n'est pas très utilisé pour les enquêtes en population.

Sources : références 129, 184, 190.

TABLEAU 4.12

**Critères proposés pour l'évaluation de la gravité de la carence en vitamine C sur le plan de la santé publique**

Indicateur	Gravité du problème de santé publique (% de la population)		
	Carence légère	Carence modérée	Carence sévère
Signes cliniques (cas cliniques)	<1	1–4	≥5
Acide ascorbique sérique			
<0,2 mg/100 ml	10–29	30–49	≥50
<0,3 mg/100 ml	30–49	50–69	≥70

Sources : d'après les références 184, 190.

et n'ont pas accès à des fruits et légumes frais (184). Des flambées de scorbut sont régulièrement rapportées dans les camps de réfugiés de la Corne de l'Afrique (Éthiopie, Kenya, Somalie et Soudan) et au Népal. Vers le milieu des années 1980, la prévalence du scorbut dans les camps de réfugiés du nord-ouest de la Somalie variait entre 7% et 44% (185); dans l'est du Soudan elle était de 22% (186) et à Kassala (Soudan), de 15% (187). On a également observé des cas de scorbut dans certains groupes de population, comme les nourrissons et dans certaines communautés de mineurs (188).

En revanche, la prévalence mondiale de la carence légère est probablement assez élevée. Aux États-Unis d'Amérique, les données de la troisième enquête nationale sur la santé et la nutrition (NHANES III 1988–1994) ont montré que la prévalence de la carence marginale en vitamine C (définie par une concentration inférieure à 0,3 mg d'acide ascorbique par 100 ml de sérum) était d'environ 9% chez les femmes et 13% chez les hommes (189).

#### 4.5.2 Facteurs de risque

La vitamine C est largement présente dans les aliments d'origine végétale et animale, mais les meilleures sources en sont les fruits et légumes frais et les abats. La germination augmentant la teneur en vitamine C, les graines germées de céréales et de légumineuses en contiennent également de grandes quantités. Cependant, comme la vitamine C est instable en milieu alcalin et lorsqu'elle est exposée à l'oxygène, à la lumière et à la chaleur, les pertes peuvent être importantes lors du stockage et de la cuisson.

La carence résulte habituellement d'une faible consommation de fruits et légumes frais, due à un ou plusieurs facteurs tels que le manque saisonnier, les difficultés de transport et/ou un coût trop élevé. Les populations déplacées dont l'alimentation repose sur des rations précuites et enrichies et qui n'ont pas accès à des fruits et légumes frais sont fortement exposées au risque de carence. Pour ces populations, une supplémentation en vitamine C est recommandée, au moins

jusqu'à ce qu'un accès à un régime plus normal soit possible. L'alcoolisme chronique, le placement en institution chez les personnes âgées et les régimes restrictifs contenant peu ou pas de fruits et légumes constituent également des facteurs de risque. Comme le lait de vache contient peu de vitamine C, les nourrissons représentent un autre sous-groupe potentiellement à haut risque de carence. Plusieurs rapports en provenance de diverses régions du monde font état de cas de scorbut chez des nourrissons alimentés avec du lait de vache en poudre (191, 192).

#### 4.5.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Les manifestations cliniques du scorbut consistent en hyperkératose folliculaire, troubles hémorragiques, œdème articulaire, gencives enflées et saignant facilement, œdèmes périphériques et peuvent même entraîner la mort. Ces symptômes apparaissent au bout de trois à quatre mois d'un régime très pauvre en vitamine C (moins de 2 mg par jour). Chez le nourrisson, le scorbut se manifeste par un syndrome hémorragique, une irritabilité générale, des jambes enflées et douloureuses à la palpation et une pseudoparalysie des membres inférieurs (voir **Tableau 1.2**). Les effets de la carence légère sont mal connus mais peuvent consister en une faible minéralisation osseuse (due à la formation insuffisante de collagène), en asthénie, fatigue, anorexie, faiblesse musculaire et sensibilité accrue aux infections.

Comme la vitamine C augmente l'absorption du fer non hémique présent dans l'alimentation, un apport trop faible de cette vitamine aggravera les problèmes de carence en fer, surtout chez les personnes qui consomment très peu de viande, de volaille ou de poisson. Le scorbut se manifeste d'ailleurs fréquemment par une anémie. L'addition de vitamine C aux aliments enrichis en fer augmente fortement l'absorption de ce dernier. Au Chili, par exemple, il a été nécessaire d'ajouter aussi de la vitamine C au lait en poudre déjà enrichi en fer avant de pouvoir détecter une amélioration sensible du statut en fer chez des jeunes enfants (40) (voir aussi section 5.1.2.1).

## 4.6 Vitamine D

La vitamine D est l'un des plus importants régulateurs de l'homéostasie du calcium et du phosphore. Elle joue également de nombreux rôles dans la différenciation cellulaire et dans la sécrétion et le métabolisme des hormones, y compris l'hormone parathyroïdienne et l'insuline. La vitamine D (calciférol) est synthétisée dans la peau chez de nombreux animaux et chez l'homme à partir de son précurseur, le 7-déshydrocholestérol, sous l'effet de la lumière solaire. Ce processus produit une forme naturelle de la vitamine, la vitamine D3. La vitamine D peut également être apportée par l'alimentation, sous forme de vitamine D3

ou d'une molécule d'origine végétale étroitement apparentée, la vitamine D<sub>2</sub>. Ces deux formes étant métabolisées de façon analogue chez l'homme, on peut considérer que la vitamine D<sub>3</sub> et la vitamine D<sub>2</sub> sont équivalentes sur le plan nutritionnel. La vitamine D<sub>3</sub> est d'abord métabolisée dans le foie en 25-hydroxyvitamine D (25-OH-D<sub>3</sub>) puis dans le rein en 1,25-hydroxyvitamine D (1,25-(OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>), qui est la forme biologiquement active de la vitamine.

La carence sévère en vitamine D provoque chez le nourrisson et l'enfant une maladie osseuse, le rachitisme, et une ostéomalacie chez l'adulte, affections caractérisées par l'incapacité de la matrice organique de l'os à se calcifier. La prévalence mondiale de la carence en vitamine D est mal connue, mais cette carence est probablement assez répandue en toutes régions et en particulier chez les nourrissons et les enfants en bas âge, les personnes âgées et les personnes vivant aux hautes latitudes où le nombre d'heures d'ensoleillement est limité pendant les mois d'hiver.

#### 4.6.1 Prévalence de la carence

Chez le nourrisson et le jeune enfant, une concentration sérique de 25-OH-D inférieure à 27,5 nmol/l (11 ng/ml) indique un statut faible en vitamine D (**Tableau 4.13**). Une concentration sérique élevée de phosphatase alcaline peut aussi indiquer une carence en vitamine D ; la phosphatase alcaline est augmentée chez les patients atteints de rachitisme ou d'ostéomalacie, mais sans être spécifique de ces affections. Chez l'adulte, l'association d'un faible taux plasmatique de 25-OH-D et d'un taux élevé d'hormone parathyroïdienne (parathormone, PTH) est probablement l'indicateur le plus fiable de la carence en vitamine D (193). En l'absence de données biochimiques, la présence du rachitisme chez les nourrissons et les enfants d'une population, et d'un risque de fracture élevé chez les personnes âgées, pourrait indiquer l'existence d'un problème de santé publique lié à une carence en vitamine D.

Les nourrissons allaités au sein et qui ne sont pas exposés à la lumière solaire risquent de ne pas recevoir assez de vitamine D avec le lait maternel au-delà des premiers mois, surtout si les réserves de la mère sont faibles. La carence en vitamine D chez les nourrissons du fait des faibles réserves de la mère ou du manque d'exposition à la lumière solaire (en particulier pendant les mois d'hiver) a été rapportée dans des pays aussi différents que la Chine (194) et la France (195). Les nourrissons et enfants soumis à un régime macrobiotique tendent à avoir une prévalence élevée de rachitisme du fait de la faible teneur du lait maternel en vitamine D et de l'absence de lait de vache enrichi dans leur alimentation (196).

Les enfants vivant dans des régions situées aux hautes latitudes et chez qui l'exposition au rayonnement ultraviolet est faible, surtout pendant les mois d'hiver, ont un risque élevé de rachitisme (197). La carence en vitamine D est

TABLEAU 4.13

**Indicateurs pour l'évaluation du statut en vitamine D à l'échelle de la population**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence	Remarques
25-hydroxyvitamine D (25-OH-D)	Sérum	Applicable à tous les groupes de population	<27,5 nmol/l (<11 ng/ml)	Le taux sérique de 25-hydroxyvitamine D, en association avec le taux d'hormone parathyroïdienne, est un bon indicateur du statut en vitamine D.
Hormone parathyroïdienne (PTH)	Sérum	Applicable à tous les groupes de population	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Le taux sérique d'hormone parathyroïdienne est en relation inverse avec celui de 25-hydroxyvitamine D et pourrait être un bon indicateur du statut en vitamine D.
Phosphatase alcaline	Sérum	Applicable à tous les groupes de population	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Augmenté en cas d'ostéomalacie ou de rachitisme.

Sources : références 93, 129, 193.

également fréquente chez les adultes habitant ces régions : par exemple, des enquêtes réalisées en Chine après l'hiver chez des populations vivant à environ 41° de latitude nord ont montré que 13–48% des adultes présentaient une carence en cette vitamine, la prévalence la plus forte s'observant chez les hommes âgés (198). À Beijing, 45% des adolescentes présentaient une carence en vitamine D (199).

#### 4.6.2 Facteurs de risque

La plus grande partie (environ 80%) de la vitamine D présente dans l'organisme est synthétisée dans la peau. Ce processus permet habituellement de couvrir tous les besoins en vitamine D chez le nourrisson, l'enfant et l'adulte. Toutefois, aux latitudes dépassant 40°N et 40°S, l'intensité du rayonnement solaire ultraviolet n'est plus assez forte pour assurer la formation de vitamine D par la peau en quantité suffisante pendant les trois à quatre mois d'hiver. Aux très hautes latitudes, la synthèse peut être insuffisante six mois par an. Une formation insuffisante de vitamine D s'observe en hiver dans des pays aussi bas en latitude

que la Turquie et Israël; on a aussi observé une prévalence élevée des faibles taux sériques de vitamine D en hiver à Delhi (Inde), pourtant située à 29° de latitude nord (200). La synthèse de la vitamine D par la peau sera également insuffisante si le corps est couvert en permanence par des vêtements, ce qui peut expliquer la prévalence élevée de la carence en vitamine D chez les femmes voilées (par exemple au Koweït) ainsi que leurs nourrissons allaités et leurs enfants (201).

Chez les personnes âgées, les besoins nutritionnels en vitamine D sont augmentés car l'aptitude de la peau à synthétiser la vitamine diminue avec l'âge; à 65 ans, la synthèse de la vitamine D dans la peau est plus lente de 75% par rapport aux jeunes adultes. Les sujets à peau foncée synthétisent moins de vitamine D lorsqu'ils sont exposés au rayonnement ultraviolet et sont par conséquent plus vulnérables à la carence lorsque les taux d'exposition sont faibles. Aux États-Unis d'Amérique, des cas de rachitisme ont été rapportés chez des enfants Noirs allaités au sein (202), et selon les résultats d'une récente enquête nationale, 42% des femmes africaines-américaines avaient de faibles taux plasmatiques de vitamine D (56).

Comme la vitamine D n'est naturellement présente que dans relativement peu d'aliments, les sources alimentaires ne fournissent en général qu'une petite partie des besoins quotidiens. Les principales sources alimentaires de vitamine D sont les poissons de mer comme le hareng, le saumon et les sardines, et l'huile de foie de poisson. On en trouve également de petites quantités dans d'autres produits animaux (par exemple la viande de bœuf, le beurre), et si l'on donne de la vitamine D aux poules, les œufs peuvent en contenir une quantité appréciable. Comme la consommation de ces aliments tend à être relativement faible, dans les pays industrialisés la plus grande partie de la vitamine D d'origine alimentaire provient du lait et de la margarine enrichis. Le lait non enrichi ne fournit à lui seul que de petites quantités de vitamine D.

Plusieurs études ont montré que les effets d'un statut insuffisant en vitamine D sont aggravés lorsque les apports en calcium sont faibles. Ce fait a été démontré chez les adultes en Inde (200) et chez les enfants au Nigeria (203). Au Nigeria, les enfants atteints de rachitisme d'origine nutritionnelle répondaient mieux au calcium, administré avec ou sans vitamine D, qu'à la vitamine D administrée seule (203).

#### 4.6.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Sur le plan clinique, le rachitisme se manifeste par des déformations osseuses et une atteinte des articulations costo-chondrales. Ces lésions sont réversibles après correction de la carence en vitamine D. Dans l'ostéomalacie, les os sont fragilisés par une perte de calcium et de phosphore et les principaux symptômes sont

une faiblesse musculaire et des douleurs osseuses mais peu de déformations. L'ostéomalacie contribue à l'ostéoporose, affection dans laquelle les os deviennent friables et poreux par perte de tissu osseux. La supplémentation en vitamine D a permis de réduire la perte saisonnière de tissu osseux chez des Nord-Américaines (204) et de prévenir les fractures associées à l'ostéoporose chez les personnes âgées.

En beaucoup d'endroits, l'adjonction de vitamine D à certains aliments s'est avérée une mesure de santé publique judicieuse. Au Canada et aux États-Unis d'Amérique, on ajoute de la vitamine D au lait depuis les années 1920, une politique qui a largement contribué à l'élimination du rachitisme par carence chez l'enfant. Cependant, la faible consommation de produits laitiers enrichis que l'on observe chez certaines personnes âgées et certaines populations noires reste associée à un risque beaucoup plus élevé de carence en vitamine D dans ces groupes de population.

## 4.7 Calcium

Le calcium est l'élément minéral le plus abondant dans l'organisme. La plus grande partie (plus de 99%) des 1000–1200 g de calcium que contient le corps humain se trouve dans le squelette sous forme d'hydroxyapatite. Outre son rôle dans le maintien de la rigidité et de la force du squelette, le calcium est impliqué dans un grand nombre de processus métaboliques comme la coagulation du sang, l'adhérence cellulaire, la contraction musculaire, la libération des hormones et des neurotransmetteurs, le métabolisme du glycogène, et la différenciation et la prolifération cellulaires.

L'ostéoporose, une maladie caractérisée par une perte de masse osseuse et par conséquent une plus grande fragilité du squelette et une prédisposition aux fractures, est la conséquence la plus importante d'une insuffisance du statut en calcium. Si une quantité suffisante de calcium est importante à tous les âges de la vie, elle l'est plus encore pendant l'enfance et l'adolescence (qui sont des périodes de croissance rapide du squelette) ainsi que chez les femmes ménopausées et les personnes âgées, chez qui la perte osseuse est plus prononcée.

### 4.7.1 Prévalence de la carence

Il n'existe malheureusement pas d'indicateur du statut en calcium qui soit pratique au niveau d'une population (**Tableau 4.14**). Le taux sérique de calcium, par exemple, est régulé par un mécanisme homéostatique complexe, qui ne permet pas d'en faire un indicateur fiable du statut en cet élément. C'est pourquoi, dans la plupart des pays, la prévalence de la carence est inconnue. En l'absence d'indicateurs biochimiques fiables, la meilleure indication d'un niveau de calcium adéquat, notamment pour les pays en développement, s'obtiendra probablement en comparant les apports alimentaires avec les apports

TABLEAU 4.14

**Indicateurs pour l'évaluation du statut en calcium à l'échelle de la population<sup>a</sup>**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence	Remarques
Calcium	Sérum	Applicable à tous les groupes de population	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Étroitement régulé de façon homéostatique et ne reflète donc pas le statut en calcium.
Calcium	Apport alimentaire	Applicable à tous les groupes de population	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Probablement le meilleur indicateur d'un apport adéquat en calcium.

<sup>a</sup> Il n'existe pas actuellement de mesures biochimiques valables pour évaluer le statut en calcium.

Sources : références 93, 193.

nutritionnels recommandés, malgré la variabilité et l'incertitude de ces valeurs en ce qui concerne le calcium (93, 193). Sachant que la consommation de produits laitiers est faible dans les pays en développement, il est donc hautement probable que les apports de calcium y seront faibles à très faibles.

Dans certains pays, la mesure de la densité osseuse (ostéodensitométrie) et de la teneur des os en minéraux (minéralométrie) offre une alternative lorsqu'il s'agit d'évaluer l'ampleur probable de la carence en calcium. Aux États-Unis d'Amérique, par exemple, on estime que 5 à 6 millions de femmes âgées et 1 à 2 millions d'hommes âgés souffrent d'ostéoporose. D'autres approches consistent à mesurer les marqueurs de la résorption osseuse dans l'urine ou le plasma, qui tendent à augmenter chez les sujets carencés en calcium. Ces méthodes sont toutefois relativement coûteuses. De plus, elles sont toutes affectées, entre autres, par le statut en vitamine D, l'activité physique et les taux d'hormones, ce qui complique l'évaluation du statut en calcium au niveau d'une population.

#### 4.7.2 Facteurs de risque

Les apports alimentaires en calcium tombent très certainement au-dessous des valeurs recommandées lorsque la consommation de produits laitiers est faible. Les produits laitiers fournissent 50–80% du calcium alimentaire dans la plupart des pays industrialisés, et les produits d'origine végétale environ 25%. La teneur en calcium, et donc la contribution, de la plupart des autres aliments est en général relativement faible. L'efficacité de l'absorption du calcium augmente lorsque les réserves de l'organisme sont faibles et que les aliments en contiennent peu. L'absorption est contrôlée selon un mécanisme homéostatique avec régulation par la vitamine D. Le plus puissant inhibiteur connu de l'absorption du calcium est l'oxalate contenu dans les aliments ; viennent ensuite les phytates

(193). Dans la plupart des régimes alimentaires, l'oxalate n'est pas un facteur important (bien qu'assez abondant dans les épinards, les patates douces et les haricots), mais les phytates sont souvent consommés en grandes quantités, par exemple dans les légumineuses et les céréales complètes.

#### 4.7.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Le calcium conserve ses nombreux rôles métaboliques même lorsque les apports sont faibles car si les mécanismes homéostatiques ne parviennent plus à le maintenir à un niveau suffisant dans le liquide extracellulaire, il est extrait des os. C'est pourquoi un apport insuffisant en calcium entraîne une déminéralisation osseuse avec comme conséquence un risque accru d'ostéoporose chez l'adulte (**Tableau 1.2**).

Chez les sujets en bonne santé, la minéralisation osseuse augmente jusque vers l'âge de 30 ans puis commence à diminuer. Des apports faibles pendant l'enfance et l'adolescence peuvent réduire le pic de densité osseuse et donc augmenter le risque d'ostéoporose à l'âge adulte. L'âge d'installation et la gravité de l'ostéoporose dépendent non seulement de la durée de l'apport insuffisant en calcium mais aussi de divers autres facteurs comme les taux d'estrogènes, le statut en vitamine D et l'activité physique.

Si le rachitisme est habituellement associé à la carence en vitamine D (voir section 4.6), on a observé des cas chez des enfants ayant un statut adéquat en vitamine D mais chez qui les apports en calcium étaient faibles (203). Chez des enfants de cinq ans vivant dans la région administrative spéciale de Hong Kong (Chine), des apports inférieurs à 250 mg de calcium par jour étaient associés à une minéralisation osseuse plus faible de 14% et une taille inférieure de 4% par rapport à ceux qui consommaient le double de calcium (205). Une supplémentation à raison de 1000 mg de calcium par jour chez des enfants de Gambie améliorait la minéralisation osseuse (206). Il a été avancé que le calcium pouvait aussi apporter d'autres bénéfices comme la prévention du cancer et de l'hypertension, mais on connaît mal à l'heure actuelle le rôle qu'il joue dans ces affections.

## 4.8 Sélénium

Le sélénium est un élément essentiel et un constituant clé d'au moins 13 sélénoprotéines. Celles-ci peuvent être groupées en plusieurs familles, les glutathion peroxydases et les thioredoxine réductases, qui font partie du système de défense cellulaire basé sur les antioxydants, et l'iodothyronine désiodase, une enzyme qui convertit la tétra-iodothyronine (T4), précurseur inactif de la thyroxine, en tri-iodothyronine (T3) qui est la forme active. Chez l'homme, le rôle biologique du sélénium comprend la protection des tissus contre le stress oxydatif, le maintien des systèmes de défense de l'organisme contre les infections,

et la modulation de la croissance et du développement. La carence sévère peut provoquer le syndrome de Keshan ou la maladie de Kashin-Beck, qui sont endémiques dans certaines parties du monde.

#### 4.8.1 Prévalence de la carence

Il existe plusieurs indicateurs fiables du statut en sélénium, comme la concentration de sélénium dans le plasma, l'urine, les cheveux ou les ongles. Toutefois, le dosage du sélénium dans les échantillons pose divers problèmes techniques qui limitent l'utilité de ces mesures comme indicateurs (**Tableau 4.15**). De fait, le manque de techniques simples de dosage du sélénium implique qu'actuellement on ne dispose pas d'indicateurs biochimiques appropriés pour les enquêtes à l'échelle d'une population. Les informations sur la prévalence de la carence en cet élément reposent donc essentiellement sur les observations cliniques et sont limitées aux formes sévères telles que le syndrome de Keshan ou la maladie de Kashin-Beck.

La carence en sélénium est endémique dans certaines régions de Chine (207), où le syndrome de Keshan a été décrit pour la première fois, et dans certaines parties du Japon, de la Corée, de la Scandinavie et de la Sibérie. La carence endémique tend à s'observer dans des régions caractérisées par une faible teneur en sélénium dans le sol. Par exemple, la distribution du syndrome de Keshan et de la maladie de Kashin-Beck en Chine reflète celle des sols pauvres en sélénium disponible pour le riz, le maïs, le blé et l'herbe des pâturages. L'enrichissement du sol et/ou des engrais par du sélénium est donc indispensable dans ces régions.

#### 4.8.2 Facteurs de risque

Dans la plupart des pays, le régime alimentaire courant couvre les besoins en sélénium. Comme on l'a vu dans la section précédente, la carence n'existe que là où le sol, et par conséquent les denrées alimentaires qui y sont cultivées, est pauvre en sélénium disponible. Au niveau mondial, la teneur en sélénium des produits d'origine animale, des céréales et des autres végétaux varie largement (dans une proportion de 1 à 10 et même plus) en fonction de la teneur du sol en cet élément (209). Le taux de sélénium dans les aliments d'origine végétale va de moins de 0,1 µg/g à plus de 0,8 µg/g, et il est de 0,1 à 1,5 µg/g dans les aliments d'origine animale (210). Lorsque les aliments pour animaux sont enrichis en sélénium, comme aux États-Unis d'Amérique, la teneur en sélénium des produits d'origine animale peut être beaucoup plus élevée. Des teneurs inférieures à 10 ng/g dans les céréales et à 3 ng/g pour le sélénium hydrosoluble présent dans le sol ont été proposées comme critères pour définir les régions pauvres en sélénium (93).

Dans les pays industrialisés, la viande fournit environ la moitié du sélénium alimentaire. Elle en constitue également une bonne source dans les régions où

TABLEAU 4.15  
**Indicateurs pour l'évaluation du statut en sélénium à l'échelle de la population<sup>a</sup>**

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence	Remarques
Sélénium	Plasma, urine	Applicable à tous les groupes de population	0,8–1,1 µmol/l	Peut refléter les apports récents dans les environnements pauvres en sélénium mais les valeurs dépendent de la forme chimique du sélénium ingéré. Ne convient pas pour les enquêtes en population car il est techniquement difficile à mesurer.
Sélénium	Érythrocytes	Applicable à tous les groupes de population	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Reflète les réserves de l'organisme mais ne convient pas pour les enquêtes en population car il est techniquement difficile à mesurer.
Sélénium	Cheveux, ongles	Applicable à tous les groupes de population	Actuellement, pas de seuil généralement reconnu	Il existe des corrélations entre les apports alimentaires et la concentration dans les cheveux et les ongles. Les concentrations sont affectées par plusieurs facteurs comme la fréquence du lavage des cheveux (les shampoings sont riches en sélénium) et la couleur des cheveux.

<sup>a</sup> La meilleure évaluation du statut en sélénium consiste probablement en une association d'indicateurs.

Sources : références 93, 208.

le sol est pauvre en cet élément car les animaux l'absorbent davantage lorsque les apports sont faibles. Une faible consommation de produits d'origine animale risque donc probablement d'augmenter le risque de carence. Il est généralement admis que le sélénium présent dans l'alimentation possède une bonne biodisponibilité.

#### 4.8.3 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Le syndrome de Keshan est une myocardiopathie associée à une insuffisance des apports en sélénium et à des concentrations faibles de sélénium dans le sang et dans les cheveux. Sa présence dans une vaste zone de Chine continentale a été signalée dans la littérature scientifique générale dans les années 1930. On l'a aussi observée par la suite dans certaines régions du sud de la Sibérie. Ce syndrome se manifeste par une insuffisance cardiaque, des arythmies, une cardiopathie congestive et une cardiomégalie (211), qui répondent bien à une supplémentation avec du sélénite de sodium. Comme certains aspects du syndrome de Keshan ne peuvent s'expliquer par la seule carence en sélénium, d'autres facteurs ont été évoqués, notamment une infection par le virus Cocksackie (212).

Le syndrome de carence connu sous le nom de maladie de Kashin-Beck (ou maladie d'Ourov) se rencontre dans certaines parties de la Chine et de la Sibérie et également au Japon et en Corée. Il s'agit d'une maladie du tissu cartilagineux qui survient pendant la préadolescence et l'adolescence et provoque une ostéoarthrite, des problèmes articulaires et un retard de croissance staturale. Comme pour le syndrome de Keshan, d'autres facteurs étiologiques ont été proposés, par exemple une exposition aux mycotoxines de *Fusarium*, une moisissure (213), un déséquilibre en minéraux et une carence en iode (214).

On a pu établir une relation entre les faibles apports en sélénium et une réduction de la conversion de l'hormone thyroïdienne T4 en T3. Du fait des interrelations métaboliques entre le sélénium et l'iode, la carence en l'un de ces éléments peut exacerber les problèmes liés à l'autre. Par exemple, en République démocratique du Congo, on a montré que la carence conjointe en sélénium et en iode contribuait au crétinisme endémique avec myxœdème. Il est apparu que l'administration de sélénium seul aggravait ce problème ; en effet, en rétablissant l'activité de la désiodase dépendant du sélénium, on augmentait la synthèse et l'utilisation de la thyroxine (T4) et de l'iode, ce qui aggravait la carence en iode (215). Une insuffisance des apports en sélénium a également été associée selon certains chercheurs à une incidence accrue des cancers, en particulier de l'œsophage, et à des maladies cardio-vasculaires (216).

Dans les régions où la carence en sélénium est endémique, il a été démontré que l'enrichissement en sélénium augmentait rapidement les taux plasmatiques

de glutathion peroxydase et le sélénium urinaire. Par exemple, après l'adjonction de sélénium aux engrais en Finlande en 1984, les taux plasmatiques de sélénium avaient doublé en 1991 et l'activité de la glutathion peroxydase s'était normalisée (217). De plus, d'après les résultats d'une vaste enquête portant sur plus d'un million de personnes, l'enrichissement du sel de table en sélénium a fait baisser de façon significative la prévalence du syndrome de Keshan en Chine (218).

## 4.9 Fluor

Contrairement aux autres micronutriments examinés dans les présentes Directives, le fluor n'est généralement pas considéré comme un élément nutritif essentiel selon la définition stricte de ce terme (voir Chapitre 2, section 2.1.1). Cependant, il joue un rôle protecteur incontestable contre la carie dentaire.

### 4.9.1 Prévalence de la carie dentaire

Il n'existe pas de méthode universelle pour évaluer le statut en fluor ni de critères reconnus partout pour définir la carence. Cependant, les concentrations urinaires sont parfois utilisées comme indicateur du statut en fluor (**Tableau 4.16**).

Aux États-Unis d'Amérique, la prévalence de la carie dentaire est plus faible de 40–60% dans les régions où l'eau est fluorée par rapport aux autres régions. Cependant, l'utilisation plus répandue de dentifrices fluorés et l'administration de suppléments aux nourrissons et jeunes enfants rend plus difficile la distinction entre les effets de la fluoration de l'eau et ceux des autres sources de cet élément.

TABLEAU 4.16

#### Indicateurs pour l'évaluation du statut en fluor à l'échelle de la population<sup>a</sup>

Indicateur	Échantillon	Groupe de population	Seuil de définition de la carence	Remarques
Fluorures	Urine	Applicable à tous les groupes de population	<0,5 mg/l	Il n'existe pas de critères généralement reconnus pour définir la carence. On utilise cependant parfois les valeurs seuils suivantes pour la fluoridine urinaire : statut adéquat : 0,5–1,0 mg/l ; carence : <0,5 mg/l ; excès : >1,5 mg/l.

<sup>a</sup> Actuellement, il n'existe pas de méthode généralement reconnue pour l'évaluation du statut en fluor.

Source : référence 193.

#### 4.9.2 Facteurs de risque d'apport insuffisant

Les apports en fluor à partir de la plupart des eaux naturelles sont relativement faibles; les faibles teneurs dans l'eau de boisson constituent donc le principal facteur de risque d'apport insuffisant. Au Canada et aux États-Unis d'Amérique, par exemple, les sources d'eau naturelles contiennent généralement moins de 0,4 mg de fluor par litre, alors que la teneur des eaux fluorées atteint 0,7–1,2 mg/l. De plus, le lait maternel contient peu de fluor et les aliments en contiennent bien moins que 0,05 mg par 100 g, à l'exception de ceux qui sont préparés avec de l'eau fluorée et des préparations en poudre pour nourrissons.

#### 4.9.3 Conséquences des faibles apports sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Ingéré avec l'eau ou les aliments sous forme de fluorure, le fluor est incorporé dans la substance minérale des dents en croissance et les rend plus résistantes à la carie. L'exposition continue des surfaces dentaires au fluor pendant toute la vie est également bénéfique car elle réduit l'aptitude des bactéries à provoquer la carie et favorise la reminéralisation des zones cariées. C'est pourquoi l'adjonction de fluor aux réseaux d'alimentation en eau, au sel ou au lait peut être une stratégie efficace de prévention de la carie dentaire (219). Cette pratique n'augmente pas le risque d'ostéoporose chez les personnes âgées (220), et pourrait même, d'après les résultats de plusieurs études, le réduire (221, 222).

L'apport excessif de fluor comporte un risque de fluorose de l'émail dentaire, surtout avant l'âge de huit ans. Dans les cas graves, l'émail paraît taché et piqueté; dans les formes plus légères, il présente des lignes ou des taches opaques. Cette affection n'apparaît pas lorsque les apports en fluor sont inférieurs ou égaux à 0,10 mg de fluor par kg de poids corporel par jour (193). Chez l'adulte, des apports excessifs peuvent entraîner une fluorose des os, avec des symptômes consistant en douleurs osseuses et, dans les cas les plus graves, une calcification et un raccourcissement des muscles. Dans ses formes légères, la fluorose osseuse n'apparaît que lorsque les apports en fluor dépassent 10 mg/jour pendant plus de 10 ans. Elle s'observe rarement dans les communautés où la teneur en fluor de l'eau d'alimentation est inférieure à 20 ppm (20 mg/l).

### 4.10 Carences multiples en micronutriments

#### 4.10.1 Prévalence et facteurs de risque

D'après ce que l'on sait de la prévalence des carences en chacun des micronutriments essentiels, il est probable que des carences multiples seront fréquentes dans diverses régions du monde et certains groupes de population. Les carences multiples en micronutriments sont susceptibles de se rencontrer chez les personnes qui ont une alimentation de qualité nutritionnelle insuffisante

ou qui ont des besoins accrus en éléments nutritifs essentiels, par exemple en période de croissance rapide et/ou en présence d'infections bactériennes ou parasitaires. Un régime pauvre en aliments d'origine animale entraîne classiquement des apports faibles en fer biodisponible et en zinc, calcium, rétinol (vitamine A préformée), vitamine B2 (riboflavine), vitamine B6 et vitamine B12. Souvent, les régimes de qualité nutritionnelle médiocre manquent également de fruits et légumes, ce qui signifie que les apports en vitamine C (acide ascorbique),  $\beta$ -carotène (provitamine A) et folates seront eux aussi insuffisants. La mouture des céréales leur enlève certains éléments nutritifs, notamment le fer et le zinc, plusieurs vitamines du groupe B (thiamine, riboflavine et niacine) et les folates. Les personnes dont l'alimentation se compose essentiellement de céréales raffinées sont donc exposées à un risque accru de carence en tous ces micronutriments. Le lait des mères sous-alimentées ne consommant que des aliments peu variés et présentant des carences multiples en micronutriments sera très probablement pauvre en vitamine A (rétinol), en vitamines du groupe B, en iode et en sélénium. Si la teneur du lait maternel en micronutriments est insuffisante pour le développement optimal de l'enfant, il pourra être nécessaire de donner des suppléments à la mère en attendant que des programmes appropriés d'enrichissement des aliments puissent être lancés.

#### 4.10.2 Conséquences de la carence sur la santé et effets bénéfiques de l'intervention

Comme on l'a vu dans les sous-sections qui précèdent, une carence en un micronutriment peut avoir un effet négatif sur l'utilisation d'un autre. Inversement, si on améliore le statut d'une personne en un micronutriment, ou en plusieurs simultanément, les effets bénéfiques peuvent être augmentés. Par exemple, une carence en fer peut entraîner une séquestration de la vitamine A dans le foie; plusieurs études ont montré que la supplémentation en fer peut à elle seule augmenter sensiblement les taux sériques de rétinol (85). Le goitre résiste davantage à l'amélioration par une supplémentation en iode lorsqu'une carence en fer est également présente, et on a obtenu chez des enfants carencés une amélioration de la réponse du goitre à la prise de suppléments d'iode ou de sel iodé en leur apportant une supplémentation en fer (87). De même, l'addition de vitamine A aux suppléments de fer augmente sensiblement le taux sanguin d'hémoglobine chez des populations anémiques et carencées en vitamine A (99) et peut contribuer à renforcer les réserves de fer (223). Les carences en vitamine B12, en folates, en vitamine B2 (riboflavine) et en plusieurs autres micronutriments peuvent également contribuer à l'anémie (77). Comme la vitamine C (naturellement présente dans les aliments ou ajoutée) améliore l'absorption du fer non hémique présent dans les aliments et dans de nombreux composés d'enrichissement en fer, on l'ajoute souvent en même temps que le fer pour enrichir les aliments.

Dans le passé, les interventions étaient axées sur les carences en fer, en vitamine A et en iode, parce que ces carences étaient plus faciles à détecter et que l'on connaissait bien leurs effets indésirables. Il était classique d'avoir des programmes séparés pour chacun de ces éléments nutritifs. Ces dernières années, il est apparu de plus en plus clairement que pour de nombreuses raisons l'enrichissement multiple en micronutriments pouvait être plus approprié et devait être envisagé. Outre le traitement et la prévention des carences en fer, en vitamine A et en iode, l'enrichissement des aliments offre une bonne opportunité de combattre les carences en d'autres micronutriments, susceptibles de coexister dans de nombreuses populations.



## **PARTIE III**

Composés utilisés pour l'enrichissement: propriétés physiques, sélection et utilisation avec divers véhicules alimentaires



# Introduction

La Partie III des présentes Directives, qui contient un examen critique des composés actuellement disponibles pour enrichir les aliments, est destinée à aider les responsables de programmes à choisir d'abord un véhicule alimentaire approprié, et ensuite un composé d'enrichissement compatible. Après avoir établi, par l'application de critères appropriés, que la nature du risque pour la santé publique que représente une carence en micronutriments justifie une intervention sous la forme d'un enrichissement des aliments, le choix d'une combinaison appropriée d'un véhicule alimentaire et d'un ou plusieurs composés d'enrichissement (aussi appelés «fortifiants»), et plus précisément de la forme chimique du ou des micronutriments à ajouter au véhicule choisi, est à la base de tout programme d'enrichissement des aliments en micronutriments. Les chapitres de la Partie IV couvriront d'autres aspects importants de la planification d'un programme d'enrichissement des aliments (selon les pays, aussi appelé fortification alimentaire), avec le mode de calcul des quantités à ajouter au véhicule alimentaire choisi pour obtenir un effet déterminé sur la santé publique (Chapitre 7), la surveillance et l'évaluation de l'impact du programme (Chapitres 8 et 9), le marketing (Chapitre 10) et les questions de réglementation (Chapitre 11).

Dans la pratique, le choix d'une combinaison véhicule alimentaire-composé d'enrichissement est dicté par un certain nombre de facteurs tant technologiques que réglementaires. Des aliments comme les céréales, les huiles alimentaires, les produits laitiers, les boissons et divers condiments comme le sel, les sauces (par exemple la sauce de soja) et le sucre sont particulièrement bien adaptés à un enrichissement universel obligatoire. Ces aliments possèdent tout ou partie des caractéristiques suivantes :

- Ils sont consommés par une grande partie de la population, notamment les groupes les plus exposés au risque de carence.
- Ils sont régulièrement consommés, en quantités suffisantes et plus ou moins constantes.
- Leur transformation peut être centralisée (la transformation centralisée est préférable pour diverses raisons, mais d'abord parce que moins il y a de sites

dans lesquels l'addition des composés d'enrichissement a lieu, plus il est facile de mettre en œuvre des mesures de contrôle de la qualité, et ensuite parce que les procédures de surveillance et de mise en application de la réglementation seront vraisemblablement plus efficaces).

- Ils permettent d'ajouter relativement facilement un mélange de micronutriments prêt à l'emploi (prémix) au moyen de technologies peu coûteuses, et de façon à assurer une répartition homogène dans les différents lots du produit.
- Ils sont assez rapidement utilisés après leur production et leur achat. Les aliments achetés et utilisés peu après leur production tendent à avoir conservé davantage de vitamines et à présenter moins de modifications organoleptiques car seul un faible surplus de sécurité<sup>1</sup> sera nécessaire.

Le choix du composé qui sera utilisé pour l'enrichissement est souvent un compromis entre un coût raisonnable, une bonne biodisponibilité à partir de l'aliment et l'acceptation par le public de modifications organoleptiques. Lors du choix de la forme chimique la plus appropriée pour l'enrichissement, les principaux points à prendre en compte sont :

- *Problèmes organoleptiques.* Les composés d'enrichissement ne doivent pas provoquer de problèmes organoleptiques inacceptables (modifications de la couleur, de la saveur, de l'odeur ou de la texture de l'aliment) à la dose d'enrichissement prévue, ni se séparer de la matrice de l'aliment, et doivent être stables dans des limites spécifiées. Si un emballage supplémentaire est nécessaire pour améliorer la stabilité du composé d'enrichissement ajouté, il serait préférable que cela n'ajoute pas au coût du produit, le rendant inaccessible au consommateur.
- *Interactions.* Le potentiel d'interactions entre le micronutriment ajouté et le véhicule alimentaire, et avec d'autres éléments nutritifs (naturellement présents dans l'aliment ou ajoutés), notamment toutes interactions qui pourraient interférer avec l'utilisation métabolique du composé d'enrichissement, doit être évalué et contrôlé avant la mise en œuvre du programme.
- *Coût.* Le coût de l'enrichissement ne doit pas affecter l'accessibilité de l'aliment ni sa compétitivité avec l'équivalent non enrichi.
- *Biodisponibilité.* Le composé d'enrichissement doit être suffisamment bien absorbé à partir du véhicule alimentaire et être capable d'améliorer le statut en micronutriments de la population cible.

---

<sup>1</sup> On appelle surplus de sécurité la quantité supplémentaire d'un micronutriment qui est ajoutée au véhicule alimentaire pour compenser les pertes pouvant survenir au cours de la production, du stockage, de la distribution et de la commercialisation.

La question de l'innocuité est également importante. Les quantités consommées pour que l'enrichissement soit efficace doivent être compatibles avec un régime alimentaire sain.

Les deux chapitres qui suivent examinent tous ces facteurs pour divers micronutriments ou groupes de micronutriments. Le Chapitre 5 traite du fer, de la vitamine A et de l'iode ; le Chapitre 6 couvre certains autres micronutriments (par exemple zinc, acide folique et autres vitamines du groupe B, vitamine D et calcium) pour lesquels on connaît moins bien la gravité du problème de santé publique posé par la carence mais on l'estime non négligeable. Cet examen est limité aux composés d'enrichissement et véhicules alimentaires les plus utilisés actuellement ou qui pourraient être plus largement utilisés. Une liste de publications et d'articles donnant plus de détails sur l'enrichissement des aliments en certains micronutriments est donnée dans la partie « Pour en savoir plus », à la suite des références bibliographiques.

## Fer, vitamine A et iode

### 5.1 Fer

#### 5.1.1 Choix du composé d'enrichissement en fer

Techniquement, le fer est le micronutriment dont l'adjonction aux aliments pose le plus de problèmes, car les composés de fer qui ont la meilleure biodisponibilité tendent à être ceux qui interagissent le plus avec les constituants des aliments pour produire des modifications organoleptiques indésirables. Lors du choix d'un composé de fer approprié, l'objectif sera de trouver celui qui est le plus absorbable par l'organisme, c'est-à-dire qui possède la plus grande biodisponibilité relative<sup>1</sup> par rapport au sulfate ferreux tout en ne provoquant pas de modifications inacceptables des qualités organoleptiques (saveur, couleur, texture) de l'aliment utilisé comme véhicule. Le coût est en général une autre considération importante.

Des composés de fer très divers sont actuellement utilisés comme composés d'enrichissement (**Tableau 5.1**). Ils se classent en trois grandes catégories: (224–226)

- solubles dans l'eau;
- peu solubles dans l'eau mais solubles dans les acides dilués;
- insolubles dans l'eau et peu solubles dans les acides dilués.

##### 5.1.1.1 Composés hydrosolubles

Hautement solubles dans le suc gastrique, les composés de fer hydrosolubles ont la plus grande biodisponibilité relative de tous les composés d'enrichissement en fer et sont donc le plus souvent les composés de choix. Cependant, ils sont aussi les plus susceptibles d'avoir des effets indésirables sur les qualités organoleptiques des aliments, en particulier la couleur et l'arôme. Lors d'un stockage prolongé, la présence d'un composé d'enrichissement en fer dans

---

<sup>1</sup> La biodisponibilité relative est une mesure qui permet de noter l'absorbabilité d'un élément nutritif par rapport à celle d'un élément nutritif de référence considéré comme ayant la meilleure absorbabilité.

TABLEAU 5.1

**Caractéristiques principales des composés de fer utilisés pour l'enrichissement des aliments : solubilité, biodisponibilité et coût**

Composé	Teneur en fer (%)	Biodisponibilité relative <sup>a</sup>	Coût relatif <sup>b</sup> (par mg de fer)
<i>Soluble dans l'eau</i>			
Sulfate ferreux.7H <sub>2</sub> O	20	100	1,0
Sulfate ferreux anhydre	33	100	1,0
Gluconate ferreux	12	89	6,7
Lactate ferreux	19	67	7,5
Bisglycinate ferreux	20	>100 <sup>c</sup>	17,6
Citrate ferrique d'ammonium	17	51	4,4
EDTA de sodium et de fer	13	>100 <sup>c</sup>	16,7
<i>Peu soluble dans l'eau, soluble dans les acides dilués</i>			
Fumarate ferreux	33	100	2,2
Succinate ferreux	33	92	9,7
Saccharate ferrique	10	74	8,1
<i>Insoluble dans l'eau, peu soluble dans les acides dilués</i>			
Orthophosphate ferrique	29	25–32	4,0
Pyrophosphate ferrique	25	21–74	4,7
Fer élémentaire	–	–	–
H-réduit	96	13–148 <sup>d</sup>	0,5
Atomisé	96	(24)	0,4
CO-réduit	97	(12–32)	<1,0
Électrolytique	97	75	0,8
Carbonylé	99	5–20	2,2
<i>Formes encapsulées</i>			
Sulfate ferreux	16	100	10,8
Fumarate ferreux	16	100	17,4

EDTA : éthylènediamine tétracétate ; H-réduit : réduit par l'hydrogène ; CO-réduit : réduit par le monoxyde de carbone.

<sup>a</sup> Par rapport au sulfate ferreux hydraté (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) chez l'homme adulte. Les valeurs entre parenthèses sont dérivées d'études chez le rat.

<sup>b</sup> Par rapport au sulfate ferreux anhydre. Par mg de fer, le coût du sulfate ferreux hydraté et du sulfate ferreux anhydre est similaire.

<sup>c</sup> L'absorption est deux à trois fois meilleure que celle du sulfate ferreux lorsque la teneur du véhicule alimentaire en phytates est élevée.

<sup>d</sup> La valeur la plus élevée se rapporte à un fer de granulométrie très fine qui n'a été utilisé que dans des études expérimentales.

Sources : d'après les références 224–225, avec des données supplémentaires communiquées par P. Lohman (données sur les coûts) et T. Walczyk (lactate ferreux, fer élémentaire H-réduit).

certaines aliments peut les faire rancir et leur donner un arrière-goût désagréable. De plus, dans le cas d'un enrichissement multiple, le fer libre produit par la dégradation des composés de fer présents dans l'aliment peut oxyder certaines des vitamines ajoutées dans le même mélange de composés d'enrichissement.

Les composés de fer hydrosolubles conviennent particulièrement bien pour l'enrichissement des farines de céréales qui ont une rotation relativement rapide des stocks, c'est-à-dire sur un mois en climat chaud et humide et trois mois au maximum en climat sec et froid. Les composés hydrosolubles sont également utiles pour les denrées sèches comme les pâtes et le lait en poudre ainsi que pour les préparations en poudre pour nourrissons. Les formes encapsulées, c'est-à-dire des composés de fer qui ont été enrobés afin de séparer le fer des autres constituants des aliments, peuvent être utilisées pour ralentir ou empêcher les modifications organoleptiques.

Le sulfate ferreux est de loin le composé de fer hydrosoluble le plus utilisé pour enrichir les aliments car c'est le moins coûteux. On l'utilise à grande échelle pour enrichir la farine (voir section 5.1.5.1). Cependant, en fonction de ses propriétés physiques, du climat et de la teneur en matières grasses de la farine à enrichir, le sulfate ferreux peut provoquer un rancissement, de sorte qu'il est nécessaire de procéder à des essais pour s'assurer de ses qualités comme composé d'enrichissement avant de l'employer.

#### *5.1.1.2 Composés de fer peu solubles dans l'eau mais solubles dans les acides dilués*

Les composés qui entrent dans la deuxième catégorie de composés d'enrichissement en fer (voir **Tableau 5.1**) sont raisonnablement absorbés à partir des aliments car ils sont solubles dans les acides gastriques produits par les adultes et adolescents en bonne santé. On se pose toutefois des questions quant à leur absorption chez les nourrissons, dont l'estomac pourrait sécréter moins d'acide, mais des recherches complémentaires sont nécessaires avant de pouvoir tirer des conclusions définitives. Mais chez la plupart des sujets, à l'exception peut-être de ceux qui souffrent d'une insuffisance de production d'acide gastrique en raison de problèmes médicaux, l'absorption du fer à partir de ces composés devrait être similaire à celle des composés hydrosolubles. Les composés peu solubles dans l'eau, comme le fumarate ferreux, ont l'avantage de provoquer moins d'effets organoleptiques que les composés hydrosolubles et viennent en deuxième position, surtout lorsque les formes plus solubles provoquent des modifications inacceptables dans l'aliment choisi comme véhicule.

Le fumarate ferreux et le saccharate ferrique sont les composés de ce groupe les plus couramment utilisés, et ont la même biodisponibilité que le sulfate ferreux chez l'adulte. Le fumarate ferreux est souvent utilisé pour enrichir les préparations à base de céréales pour nourrissons et le saccharate ferrique pour enrichir les poudres pour boissons chocolatées. On utilise le fumarate ferreux pour enrichir la farine de maïs au Venezuela et la farine de blé en Amérique centrale, où on l'a aussi proposé pour enrichir le *masa* de maïs. On peut l'utiliser sous forme encapsulée pour limiter ses effets organoleptiques.

### 5.1.1.3 Composés de fer insolubles dans l'eau et peu solubles dans les acides dilués

Par comparaison avec le sulfate ferreux, l'absorption du fer contenu dans les composés insolubles dans l'eau se situe entre environ 20% et 75%. Malgré leur faible absorbabilité, ces composés sont largement utilisés dans l'industrie agroalimentaire comme composés d'enrichissement car ils ont beaucoup moins d'effets sur les qualités organoleptiques des aliments (aux niveaux actuellement utilisés) et aussi car ils sont moins chers que les composés hydrosolubles. Cependant, ils sont considérés comme l'option de dernier recours, surtout lorsque l'alimentation de la population cible contient une proportion importante d'inhibiteurs de l'absorption du fer. S'il est nécessaire d'utiliser un composé d'enrichissement en fer insoluble dans l'eau, celui-ci devrait si possible avoir un taux d'absorption équivalent à au moins 50% de celui du sulfate ferreux (mesuré lors d'essais chez le rat ou chez l'homme), et il faudrait en ajouter deux fois plus pour compenser cette faible absorbabilité.

Dans cette catégorie, les phosphates ferriques – orthophosphate et pyrophosphate – sont utilisés pour enrichir le riz, certaines préparations à base de céréales pour nourrissons et certains aliments chocolatés. Leur biodisponibilité est assez faible, puisque la biodisponibilité relative du pyrophosphate ferrique est de 21–74% et celle de l'orthophosphate ferrique de 25–32%. Mais la biodisponibilité relative des phosphates ferriques peut changer au cours de la transformation de l'aliment (227, 228).

Les poudres de fer élémentaire sont utilisées dans un certain nombre de pays pour enrichir les céréales, mais la biodisponibilité des différentes formes de fer élémentaire actuellement disponibles (**Tableau 5.1**) n'est pas totalement établie (229). La solubilité du fer élémentaire dépend très largement de la taille, de la forme et de la surface des particules de fer (caractéristiques déterminées par le procédé de fabrication<sup>1</sup>), et de la composition des repas avec lesquels il est consommé.

Selon les conclusions du groupe de travail SUSTAIN (Sharing United States Technology to Aid Improvement of Nutrition), seules les poudres de fer obtenues par électrolyse (diamètre <45 microns ou 325 Mesh) se sont avérées suffisamment biodisponibles pour l'homme (229). Au moment de la réunion de ce groupe de travail, les seules poudres de fer électrolytiques testées étaient celles fabriquées par OMG Americas sous le nom de *Glidden 131*.<sup>2</sup> D'après des données plus récentes, le fer carbonylé et certaines poudres de fer réduit par l'hydrogène (H-réduit) ont une biodisponibilité comparable à celle du fer électrolytique. Le fer atomisé et le fer réduit par le monoxyde de carbone (CO-réduit) ne sont pas

<sup>1</sup> Pour plus de détails, voir *Handbook of powder metal technologies and applications* (230).

<sup>2</sup> Au moment de la rédaction des présentes Directives, le Glidden 131 était toujours disponible.

actuellement recommandés en raison de leur faible biodisponibilité. (Le fer atomisé est une poudre de fer réduit obtenue en appliquant des jets d'eau à haute pression sur une coulée de fer en fusion.) Le fer élémentaire en particules de grande taille (diamètre >149 microns ou 100 Mesh) est probablement trop insoluble dans l'intestin et donc déconseillé comme composé d'enrichissement alimentaire. D'autres essais sur la biodisponibilité de diverses poudres de fer élémentaire sont en cours (42).

### 5.1.2 Méthodes utilisées pour augmenter la quantité de fer absorbée à partir des composés d'enrichissement

La biodisponibilité du fer présent dans les composés d'enrichissement alimentaire dépend non seulement de la solubilité du composé comme on l'a vu plus haut, mais aussi de la composition de l'alimentation et en particulier de la proportion d'inhibiteurs de l'absorption du fer, notamment les phytates, qui se lient au fer, et certains composés phénoliques. L'adjonction d'acide ascorbique (vitamine C) ou de sel disodique de l'acide éthylènediamine tétracétique ( $\text{Na}_2\text{EDTA}$ ) et l'élimination des phytates, en réduisant l'effet des inhibiteurs de l'absorption du fer, sont des méthodes qui peuvent augmenter de façon efficace la quantité totale de fer absorbé à partir des aliments enrichis en fer.

#### 5.1.2.1 Acide ascorbique

L'adjonction d'acide ascorbique entraîne une augmentation notable de la quantité de fer absorbé à partir de la plupart de ses composés (40, 224). L'adjonction d'acide ascorbique aux aliments enrichis en fer est donc une pratique largement adoptée dans l'industrie agroalimentaire, en particulier pour les aliments transformés. Cette option est toutefois déconseillée pour les aliments de base et les condiments en raison de problèmes de stabilité (voir section 5.1.5.1). Par exemple, le Chili enrichit à la fois en fer et en acide ascorbique (ainsi qu'en certains autres micronutriments) le lait en poudre qu'il distribue dans le cadre de son programme de santé publique pour lutter contre l'anémie chez les nourrissons et les enfants en bas âge.

Dans la plupart des études, l'adjonction simultanée d'acide ascorbique et de fer dans un rapport molaire de 2:1 (rapport pondéral 6:1) multiplie par 2 à 3 l'absorption du fer contenu dans les aliments, chez l'adulte comme chez l'enfant (224). Ce rapport est recommandé pour l'enrichissement de la plupart des aliments. Un rapport molaire plus élevé (4:1) peut être utilisé pour les aliments riches en phytates. Le principal problème de l'utilisation de l'acide ascorbique comme additif est la perte de quantités importantes au cours du stockage et de la préparation des aliments. Cela implique que, par rapport à certaines alternatives, son utilisation risque d'être coûteuse.

### 5.1.2.2 Sel disodique de l'EDTA

Le sel disodique de l'EDTA est un additif alimentaire (édétate disodique) autorisé dans de nombreux pays et qui, contrairement à l'acide ascorbique, est stable pendant la transformation et le stockage des aliments. À pH faible (comme dans l'estomac), le sel disodique de l'EDTA agit comme chélateur et empêche le fer de se lier à l'acide phytique ou aux composés phénoliques, qui sinon inhiberaient l'absorption du fer (231). Son adjonction augmente l'absorption du fer présent dans les aliments et dans les composés d'enrichissement solubles (232), mais non celle du fer présent dans les composés relativement insolubles comme le fumarate ferreux (233), le pyrophosphate ferrique (232) ni celle du fer élémentaire (234).

Dans le cas d'aliments enrichis en composés de fer solubles, comme le sulfate ferreux, on recommande d'ajouter le sel disodique de l'EDTA dans un rapport molaire  $\text{Na}_2\text{EDTA}:\text{fer}$  compris entre 0,5 et 1,0 (ou un rapport pondéral compris entre 3,3:1 et 6,6:1). Dans ces conditions, l'absorption du fer est multipliée par 2 à 3 (224).

### 5.1.2.3 Déphytinisation des céréales et légumineuses

Plusieurs méthodes permettent de réduire sensiblement la teneur en acide phytique des céréales et des légumineuses (224); certaines d'entre elles conviennent particulièrement pour assurer une absorption suffisante du fer contenu dans les aliments complémentaires à base de céréales ou les préparations en poudre à base de soja destinées aux nourrissons. Il faut cependant abaisser le rapport molaire acide phytique:fer au moins à 1:1 et même à moins de 0,5:1 pour obtenir une augmentation significative de l'absorption du fer.

La mouture élimine au moins 90% de l'acide phytique des graines de céréales, mais les 10% restants sont encore fortement inhibiteurs. Il est en général nécessaire de faire intervenir des enzymes, les phytases, pour obtenir une dégradation complète des phytates. Les phytases naturellement présentes dans les céréales peuvent être activées par des procédés traditionnels, comme le trempage, la germination et la fermentation. Au niveau industriel, il est possible de dégrader complètement l'acide phytique des aliments complémentaires composés de mélanges de céréales et de légumineuses en y ajoutant des phytases exogènes ou en y incorporant du blé ou du seigle complets, qui contiennent naturellement beaucoup de phytases (224, 235–237). En raison du risque de contamination bactérienne, il est préférable d'ajouter les phytases en milieu industriel, mais cette pratique n'a pas encore été adoptée au niveau commercial.

### 5.1.3 Nouveaux composés d'enrichissement en fer

Ces dernières années, le développement et l'essai de nouveaux composés d'enrichissement en fer ont fait l'objet de recherches considérables portant en

particulier sur des composés capables d'offrir une meilleure protection que les composés actuels contre les inhibiteurs de l'absorption du fer. Parmi les composés qui en sont au stade de l'expérimentation figurent les sels de sodium et de fer de l'EDTA (ferédétate de sodium, NaFeEDTA), le bisglycinate ferreux et divers composés de fer encapsulés et micronisés. Récemment, le NaFeEDTA a été choisi par la Chine pour son programme gouvernemental d'enrichissement en fer de la sauce de soja et ses programmes d'enrichissement de la farine de blé, et par le Viet Nam pour l'enrichissement en fer de la sauce de poisson.

#### 5.1.3.1 *Sel de sodium et de fer de l'EDTA*

Dans les aliments riches en phytates, l'absorption du fer à partir du NaFeEDTA est deux à trois fois plus forte qu'à partir du sulfate ou du fumarate ferreux. Dans les aliments qui contiennent peu de phytates, l'absorption du fer est peu différente (231, 232). Outre la meilleure absorption du fer contenu dans les aliments enrichis riches en phytates, le NaFeEDTA offre plusieurs autres avantages : il ne favorise pas l'oxydation des lipides dans les céréales stockées, ni la formation de précipités dans les aliments riches en peptides libres, comme la sauce de soja et la sauce de poisson. Mais il est cher et, comme il se dissout lentement dans l'eau, il peut modifier la couleur de certains aliments.

Le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires a approuvé l'utilisation du NaFeEDTA à la dose de 0,2 mg de fer par kg de poids corporel par jour (238). Cependant, l'utilisation conjointe de Na<sub>2</sub>EDTA et de sulfate ferreux (ou d'autres composés de fer solubles) au lieu de NaFeEDTA pourrait encore s'avérer la meilleure option pour les aliments riches en phytates. Dans la plupart des endroits, le choix de l'une ou l'autre option sera dicté par le coût relatif et l'accessibilité des sels d'EDTA, l'acceptabilité des modifications organoleptiques induites dans les aliments et la législation en vigueur.

#### 5.1.3.2 *Bisglycinate ferreux*

Le bisglycinate ferreux est un chélate fer-acide aminé dans lequel le fer est protégé de l'action des inhibiteurs par sa liaison avec la glycine, un acide aminé. L'absorption du fer à partir de ce composé a été rapportée comme étant 2 à 3 fois meilleure qu'à partir du sulfate ferreux avec des céréales riches en phytates et avec du maïs complet. En revanche, le fer présent dans un composé étroitement apparenté, le triglycinate ferrique, n'est pas bien absorbé avec le maïs (239, 240).

Le bisglycinate ferreux semble particulièrement bien adapté pour l'enrichissement du lait entier et d'autres produits laitiers auxquels le sulfate ferreux confère un arrière-goût rance. Cet effet peut toutefois aussi se produire avec le bisglycinate ferreux par oxydation des graisses contenues dans les aliments, ce qui peut poser un problème avec les farines de céréales et les

aliments complémentaires à base de céréales à moins que l'on n'ajoute en même temps un antioxydant. De plus, le coût du bisglycinate est beaucoup plus élevé que celui de nombreux autres composés de fer.

### 5.1.3.3 Sulfate ferreux et fumarate ferreux encapsulés

Plusieurs composés de fer se trouvent dans le commerce sous forme encapsulée, notamment le sulfate ferreux et le fumarate ferreux, et sont actuellement utilisés dans les laits en poudre et les préparations à base de céréales pour nourrissons, surtout dans les pays industrialisés. À l'avenir, l'utilisation de composés de fer sous forme encapsulée pourrait s'étendre aux pays en développement, bien que le coût puisse être un problème. L'encapsulation multiplie le coût du composé par un facteur 3 à 5 ce qui, rapporté à la quantité de fer, représente un coût dix fois plus élevé que celui du sulfate ferreux anhydre (**Tableau 5.1**).

Comme on l'a déjà vu, l'encapsulation vise principalement à séparer le fer des autres constituants des aliments pour éviter des modifications organoleptiques. Dans le sel doublement enrichi en iode et en fer, il a été démontré que l'encapsulation du fer aidait à réduire les pertes d'iode et à ralentir la coloration.

Lors de la mise au point de produits d'enrichissement en fer sous forme encapsulée, il importe de choisir un enrobage qui assure un bon équilibre entre stabilité et biodisponibilité. Les composés de fer sont généralement encapsulés dans des huiles végétales hydrogénées, mais on utilise aussi des mono- et diglycérides, des maltodextrines et de l'éthylcellulose. Du fait des différentes méthodes de fabrication et de la diversité des matériaux des capsules et de leur épaisseur, il est impératif de confirmer la biodisponibilité du fer, au moins par des tests chez le rat, avant toute utilisation à grande échelle comme composé d'enrichissement. Des tests ont montré que l'encapsulation du sulfate ferreux et du fumarate ferreux ne modifiait pas la biodisponibilité du fer chez le rat. De plus, l'enrichissement double du sel au moyen de fer encapsulé s'est montré efficace chez l'homme (voir section 1.3.2.3) (44).

### 5.1.3.4 Pyrophosphate ferrique micronisé

Tout comme on peut augmenter la biodisponibilité du fer élémentaire en poudre en diminuant la taille des particules, on peut le faire avec les sels de fer insolubles, comme le pyrophosphate ferrique. La micronisation des sels de fer insolubles pour obtenir une taille de particules inférieure au micron ne peut toutefois être réalisée par simple broyage, mais doit passer par un processus chimique.

Une forme micronisée de pyrophosphate ferrique (diamètre des particules: 0,5 microns) a été récemment développée pour l'enrichissement des aliments. Elle est disponible sous forme liquide et sous forme sèche. Pour permettre leur dispersion dans les liquides, les particules de pyrophosphate ferrique sont enrobées d'un émulsifiant. Par rapport au pyrophosphate ferrique ordinaire

(dont la taille moyenne des particules est d'environ 8 microns), l'absorption du fer chez l'adulte est multipliée par 2 à 4 avec les produits laitiers (241). Le principal avantage de la forme micronisée réside dans le fait qu'étant insoluble dans l'eau, elle risque peu de provoquer des modifications organoleptiques, bien que cela reste à vérifier par des tests appropriés. Actuellement, on l'utilise dans le lait et les yoghourts au Japon, mais son coût très élevé empêche d'en généraliser l'emploi dans un avenir prévisible.

#### 5.1.4 Modifications organoleptiques

Les deux problèmes les plus couramment rencontrés avec les produits d'enrichissement en fer sont une augmentation de la rancidité due à l'oxydation des lipides insaturés et des changements de coloration indésirables. Ces derniers consistent classiquement en une coloration verte ou bleuâtre des céréales, une coloration grise du chocolat et du cacao, et une coloration du sel allant du jaune au rouge-brun.

Les modifications organoleptiques sont très variables et pas toujours prévisibles. Si un composé d'enrichissement en fer n'altère pas les qualités organoleptiques d'un aliment dans une situation donnée, cela ne signifie pas nécessairement que le même composé ne posera pas de problème avec le même aliment dans une autre situation. Par conséquent, après avoir sélectionné un composé d'enrichissement potentiel, il est indispensable de déterminer ses effets sur les qualités organoleptiques de l'aliment auquel il sera ajouté avant de passer à son utilisation.

#### 5.1.5 Expérience de l'enrichissement en fer de certains aliments

L'enrichissement en fer est déjà largement pratiqué dans de nombreuses régions du monde. Par exemple, plus de 20 pays d'Amérique latine ont mis en œuvre des programmes d'enrichissement universel de certains aliments en fer, portant pour la plupart sur la farine de blé ou la farine de maïs (237). Ailleurs, on utilise fréquemment comme véhicules alimentaires les aliments complémentaires à base de céréales, la sauce de poisson, la sauce de soja et le lait. Des essais d'efficacité ont été réalisés sur du sel enrichi en fer. Les produits dérivés des farines de céréales (pain, en-cas (*snacks*) à base de céréales et céréales pour petit déjeuner) sont aussi des véhicules utiles, mais la quantité de fer apportée par ces aliments dépend de la quantité consommée et du niveau d'enrichissement. Les composés de fer appropriés pour l'enrichissement de divers aliments sont indiqués dans le **Tableau 5.2**.

##### 5.1.5.1 Farine de blé

L'intérêt nutritionnel de l'enrichissement en fer de la farine de blé a récemment été confirmé par une étude d'efficacité menée en Thaïlande (242). Dans cette

TABLEAU 5.2

**Composés de fer proposés pour l'enrichissement de divers véhicules alimentaires**

Véhicule alimentaire	Composé de fer
Farine de blé de faible taux d'extraction (blanche) ou farine de maïs dégermé	Sulfate ferreux anhydre Fumarate ferreux Fer électrolytique (quantité × 2) Sulfate ferreux encapsulé Fumarate ferreux encapsulé
Farine de blé de taux d'extraction élevé, farine de maïs, farine de maïs <i>masa</i>	EDTA de sodium et de fer Fumarate ferreux (quantité × 2) Sulfate ferreux encapsulé (quantité × 2) Fumarate ferreux encapsulé (quantité × 2)
Pâtes	Sulfate ferreux anhydre
Riz <sup>a</sup>	Pyrophosphate ferrique (quantité × 2)
Lait en poudre	Sulfate ferreux plus acide ascorbique
Lait	Citrate ferrique d'ammonium Bisglycinate ferrique Pyrophosphate ferrique micronisé
Produits chocolatés	Fumarate ferreux plus acide ascorbique Pyrophosphate ferrique (quantité × 2) plus acide ascorbique
Sel <sup>a</sup>	Sulfate ferreux encapsulé Pyrophosphate ferrique (quantité × 2)
Sucre <sup>a</sup>	EDTA de sodium et de fer
Sauce de soja, sauce de poisson	EDTA de sodium et de fer Sulfate ferreux plus acide citrique
Jus, boissons sucrées	Bisglycinate ferreux, lactate ferreux Pyrophosphate ferrique micronisé
Bouillons cubes <sup>a</sup>	Pyrophosphate ferrique micronisé
Aliments complémentaires à base de céréales <sup>b</sup>	Sulfate ferreux Sulfate ferreux encapsulé Fumarate ferreux Fer électrolytique (quantité × 2) Tous, avec acide ascorbique (rapport molaire acide ascorbique : fer ≥ 2 : 1)
Céréales pour petit déjeuner	Fer électrolytique (quantité × 2)

EDTA : éthylènediamine tétracétate.

<sup>a</sup> Il existe encore des problèmes techniques avec l'enrichissement en fer de ces véhicules alimentaires, en particulier des modifications organoleptiques et/ou une ségrégation du fer.

<sup>b</sup> Des travaux récents ont indiqué que les nourrissons n'absorberaient que 25% de la quantité de fumarate ferreux absorbée par l'adulte, d'où la nécessité éventuelle d'ajuster la teneur en composés de fer peu solubles lors de l'enrichissement des aliments complémentaires.

étude, l'efficacité relative du fer électrolytique par rapport au sulfate ferreux était d'environ 70% chez des femmes consommant des biscuits à base de farine de blé enrichie, et de 50% pour le fer réduit par l'hydrogène. D'après ces résultats, l'adjonction d'une quantité double de fer électrolytique ou de fer H-réduit par rapport à la quantité de sulfate ferreux devrait assurer une efficacité équivalente.

Le sulfate ferreux et le fer élémentaire pulvérulent sont traditionnellement utilisés pour enrichir les farines de blé et d'autres céréales. Le fer électrolytique reste la forme de choix pour le fer élémentaire utilisé comme composé d'enrichissement alimentaire, mais le fer H-réduit est également envisageable. De plus, les résultats d'études récentes chez le rat semblent indiquer que le fer carbonylé pourrait convenir aussi bien que le fer électrolytique pour enrichir les aliments, mais doivent encore être confirmés par des essais d'efficacité chez l'homme.

Alors que le sulfate ferreux est utilisé avec succès depuis de nombreuses années au Chili (où la farine enrichie est consommée dans les 6 à 8 semaines suivant son achat) et que le fumarate ferreux est utilisé au Venezuela et dans toute l'Amérique centrale, dans d'autres pays l'adjonction de ces composés à des farines de blé a provoqué un rancissement. Il est possible de surmonter ce problème en utilisant des formes de fer encapsulées pour en améliorer la stabilité. Le sulfate ferreux, et dans une moindre mesure le fumarate ferreux, conviennent également pour l'enrichissement des pâtes qui, du fait de leur faible teneur en eau, sont moins sujettes au rancissement que la farine.

Bien que potentiellement utile pour l'enrichissement des farines riches en phytates, le NaFeEDTA n'est pas utilisé à grande échelle dans des programmes d'enrichissement des aliments en fer car selon certains rapports il interférerait avec le processus de fermentation lors de la fabrication du pain (243). Cependant, la Chine a commencé à l'utiliser dans plusieurs provinces pour enrichir la farine de blé, et actuellement aucun problème n'a été rapporté. Si on ajoute souvent de l'acide ascorbique aux aliments enrichis en fer pour renforcer l'absorption de ce dernier (voir section 5.1.2.1), son utilisation à cette fin dans les farines de boulangerie est limitée par le fait qu'il est détruit par la chaleur lors de la cuisson du pain. On ajoute néanmoins souvent de l'acide ascorbique à la farine, non pas pour augmenter l'absorption du fer, mais plutôt comme agent de levage.

Dans ses directives sur l'enrichissement en fer des aliments de base dérivés de céréales, le groupe de travail SUSTAIN (42) recommandait d'utiliser de préférence le sulfate ferreux, puis le fumarate ferreux et enfin le fer électrolytique (mais au double de la concentration des autres composés de fer). Pour assurer la réussite de l'enrichissement en fer de la farine de blé et des produits qui en dérivent, il peut être nécessaire que les pays adoptent des stratégies différentes pour tenir compte de la diversité du climat, de la qualité des farines, des méthodes de transformation et des conditions de stockage, ainsi que des

différences d'utilisation principale de la farine (pour fabriquer du pain ou d'autres aliments).

### 5.1.5.2 Maïs

En général, les farines de maïs sont au moins aussi difficiles à enrichir en fer que les farines de blé. Le *masa* de maïs traité par la chaux (selon un processus appelé nixtamalisation), denrée de base servant à faire des *tortillas* dans une grande partie de l'Amérique latine, rancit lorsqu'on lui ajoute des composés de fer solubles, comme le sulfate ferreux. De plus, des changements de couleur et de texture surviennent pendant la préparation des *tortillas*. Ces difficultés sont encore aggravées par le fait que l'absorption du fer à partir du *masa* de maïs est fortement inhibée par sa forte teneur en phytates et en calcium. C'est pourquoi l'enrichissement en fer des farines de maïs ne s'est pas généralisé, à l'exception de certains pays d'Amérique latine où le maïs est un aliment largement consommé. Au Venezuela, par exemple, les farines de maïs sont enrichies avec un mélange de fumarate ferreux et de fer élémentaire.

En raison du caractère fortement inhibiteur des farines de maïs (surtout lorsque le grain n'est pas dégermé), l'Organisation panaméricaine de la Santé (OPS) a récemment recommandé l'utilisation du NaFeEDTA ou du fumarate ferreux (en quantité double) pour l'enrichissement de la farine de maïs (237). Ces recommandations sont encore à mettre en pratique. Il reste aussi à évaluer si elles sont appropriées pour la semoule de maïs utilisée pour préparer des bouillies. Pour les farines de maïs qui n'ont pas une teneur élevée en acide phytique (si le maïs est dégermé) et qui ne sont pas traitées par la chaux, les mêmes composés de fer que ceux recommandés pour l'enrichissement de la farine de blé peuvent être envisagés (237).

### 5.1.5.3 Aliments complémentaires à base de céréales

Les aliments complémentaires, préparations que l'on donne aux nourrissons pendant la période de sevrage, sont habituellement à base de céréales à l'état sec et sont consommés sous forme de bouillie préparée avec du lait ou de l'eau. Ils peuvent aussi être composés de mélanges de céréales et de légumineuses, avec lesquels on prépare une bouillie avec de l'eau. L'adjonction à ces produits de sulfate ferreux, de bisglycinate ferreux et d'autres composés de fer solubles peut entraîner un rancissement et parfois aussi une modification de la couleur, surtout si les bouillies sont servies avec des fruits. Pour surmonter ce problème, l'une des options consiste à utiliser des formes encapsulées, par exemple du sulfate ferreux. Mais si l'encapsulation permet d'éviter l'oxydation des graisses pendant le stockage, la capsule est éliminée par le liquide chaud, lait ou eau, et une coloration parasite peut encore apparaître en présence de certains fruits et légumes.

Une autre option consiste à utiliser un composé de fer moins soluble, comme le fumarate ferreux ou le fer électrolytique (mais à une plus forte concentration), qui sont tous deux couramment utilisés pour enrichir les aliments complémentaires. Le pyrophosphate ferrique est une autre possibilité, mais il est rarement utilisé en pratique. Si on devait l'utiliser pour enrichir des aliments complémentaires, il faudrait ici aussi l'ajouter à une concentration double de celle du sulfate ferreux. Des travaux récents ont montré que le fumarate ferreux pouvait être moins bien absorbé chez l'enfant que chez l'adulte (chez l'enfant, l'absorption du fer à partir du fumarate ferreux peut n'être que de 25% de ce qu'elle est chez l'adulte); dans ce cas, on pourrait devoir réévaluer son utilisation comme composé d'enrichissement, ou du moins les doses utilisées (244).

Pour renforcer l'absorption du fer à partir des aliments complémentaires, il est courant, lorsque cela est possible, d'ajouter de l'acide ascorbique avec le composé de fer (voir section 5.1.2.1). Dans l'idéal, l'acide ascorbique et le fer devraient être ajoutés dans un rapport molaire de 2:1 (acide ascorbique:fer). Les aliments complémentaires présentés sous forme sèche devraient également être emballés de façon à réduire au minimum la dégradation de l'acide ascorbique pendant le stockage. Comme on l'a déjà vu (voir section 5.1.2.3), il existe un autre moyen pour optimiser l'absorption du fer à partir des aliments à base de céréales, qui consiste à dégrader l'acide phytique présent dans l'aliment grâce aux phytases naturelles des céréales (en activant les phytases déjà présentes dans l'aliment par trempage, germination ou fermentation) ou par adjonction de phytases microbiennes au cours de la fabrication. Cependant, l'adjonction de phytases aux aliments transformés n'a pas encore été tentée à l'échelle commerciale.

#### 5.1.5.4 Produits laitiers

Le lait entier en poudre et les préparations lactées sous forme de poudre ou prêtes à l'emploi pour nourrissons peuvent être enrichis avec succès avec du sulfate ferreux (plus de l'acide ascorbique pour renforcer l'absorption du fer). Au Chili, par exemple, l'acide ascorbique (700 mg/kg) et le fer (100 mg sous forme de sulfate ferreux/kg) sont ajoutés en routine aux laits en poudre pour nourrissons. Dans le cas des préparations à base de soja, il s'est avéré nécessaire d'encapsuler le sulfate ferreux avec de la maltodextrine pour éviter que la poudre ne prenne une coloration foncée indésirable.

Le sulfate ferreux et de nombreux autres composés de fer solubles ne peuvent pas être utilisés pour enrichir le lait entier sous forme liquide et les autres produits laitiers car ils les font rancir et leur donnent un arrière-goût. Le citrate ferrique d'ammonium (245), le bisglycinate ferrique et le pyrophosphate ferrique micronisé conviennent en général mieux pour ces produits. Il est préférable d'ajouter les composés d'enrichissement en fer après homogénéisation du lait et

piégeage des graisses dans des micelles de façon à éviter dans la mesure du possible l'oxydation. Le bisglycinate ferrique est largement utilisé pour enrichir le lait entier et les produits laitiers au Brésil et en Italie ; le pyrophosphate ferrique micronisé est utilisé dans les produits laitiers au Japon (voir aussi section 5.1.3.4).

#### 5.1.5.5 Riz

L'enrichissement des grains de riz pose un certain nombre de problèmes techniques. Il peut être réalisé, comme aux États-Unis d'Amérique, par enrobage du grain avec une préparation appropriée. On peut aussi mélanger à des grains de riz non traités des grains artificiels à base de riz obtenus par extrusion et contenant une forte concentration de fer (habituellement dans une proportion de 1:200). Le pyrophosphate ferrique, ajouté en concentration double, et le pyrophosphate ferrique micronisé (0,5 microns) ont récemment été recommandés pour l'incorporation dans ces grains de riz artificiels (246).

Les difficultés techniques, s'ajoutant aux préférences culturelles pour certains types de riz, rendent l'enrichissement généralisé du riz problématique, même s'il est souhaitable. Le fait que dans la plupart des pays grands producteurs de riz la production ait lieu dans des milliers de petites exploitations pose des problèmes lorsqu'il s'agit d'enrichir le riz de façon systématique. Ces exploitations sont d'une part sensibles à de petites augmentations des coûts, et d'autre part leur très grand nombre ajoute à la difficulté de mettre en place des programmes appropriés de contrôle de la qualité. Même si les grains extrudés ont pu trouver une application dans des programmes ciblés d'enrichissement des aliments, par exemple dans les écoles, il reste à accomplir bien des travaux de recherche et développement avant de pouvoir mettre en œuvre des programmes d'enrichissement systématique du riz sur une plus grande échelle.

#### 5.1.5.6 Produits chocolatés

Comme le cacao est naturellement riche en composés phénoliques, l'adjonction de sulfate ferreux et d'autres composés de fer solubles dans l'eau tend à provoquer des changements de coloration dans les produits à base de cacao (247). Le fumarate ferreux peut constituer une alternative pour certains produits, mais l'apparition d'une coloration grise ou bleu-grisâtre pose encore des problèmes pour les boissons chocolatées, surtout si elles sont préparées avec de l'eau bouillante (227). De plus, les composés de fer encapsulés actuellement disponibles ne conviennent pas pour l'enrichissement des boissons chocolatées car l'enrobage est détruit par la chaleur pendant la fabrication du produit ou la préparation de la boisson.

Le pyrophosphate ferrique, le saccharate ferrique ou l'orthophosphate ferrique conviennent habituellement pour enrichir les produits chocolatés car ils ont

moins tendance à donner une coloration indésirable. Cependant, par rapport au sulfate ferreux, il faut en ajouter davantage pour tenir compte de leur plus faible absorption. L'adjonction d'acide ascorbique est également nécessaire (dans un rapport molaire d'au moins 2:1) pour compenser l'effet inhibiteur des composés présents dans le cacao sur l'absorption du fer (227, 248).

#### 5.1.5.7 *Sauce de soja et sauce de poisson*

Le sel de fer et de sodium de l'EDTA s'est avéré utile pour l'enrichissement en fer de la sauce de poisson et de la sauce de soja (voir aussi section 1.3.1). Il a été démontré que l'absorption du fer par des sujets ayant consommé de la sauce de poisson ou de soja enrichie en NaFeEDTA ajoutée à des plats de riz était similaire à celle observée avec les mêmes plats auxquels de la sauce enrichie en sulfate ferreux avait été ajoutée (249). Le statut martial de femmes vietnamiennes carencées s'améliorait de façon significative après consommation régulière de sauce de poisson enrichie en NaFeEDTA sur une période de six mois (28) (voir aussi section 1.3.1.1). De même, lors d'essais réalisés en Chine, la consommation de sauce de soja enrichie en NaFeEDTA et apportant 20 mg de fer par jour améliorait significativement le statut martial chez des adolescents anémiques (250). Des études d'efficacité à grande échelle sur l'enrichissement de la sauce de soja en NaFeEDTA sont en cours au Viet Nam et en Chine.

Jusqu'à une époque très récente, le NaFeEDTA était le composé préféré pour l'enrichissement des sauces de soja et de poisson car la plupart des autres composés d'enrichissement potentiels (des composés de fer solubles) provoquaient une précipitation des peptides pendant le stockage. Mais on a utilisé dernièrement avec succès du sulfate ferreux stabilisé par de l'acide citrique pour enrichir de la sauce de poisson en Thaïlande, ce qui pourrait constituer une alternative meilleur marché que le NaFeEDTA.

#### 5.1.5.8 *Sel*

Le succès des programmes d'iodation du sel (voir section 5.3.2.1) a conduit plusieurs pays à envisager d'utiliser le sel comme support pour l'enrichissement en fer. En pratique, cela suppose un double enrichissement du sel en iode et en fer. On procède actuellement à des essais avec des approches envisageables telles que l'adjonction de fumarate ferreux encapsulé, de sulfate ferreux encapsulé (voir section 1.3.2.3) ou de pyrophosphate ferrique (en concentration double). L'encapsulation est nécessaire car le sulfate ferreux, le fumarate ferreux et d'autres composés de fer solubles provoquent très rapidement une coloration jaune ou rouge/brun dans le sel humide et de qualité inférieure couramment utilisé dans de nombreux pays en développement. L'encapsulation a pour principal inconvénient d'augmenter le prix du produit enrichi, dans une proportion pouvant aller jusqu'à 30%.

### 5.1.6 Questions d'innocuité

Des craintes ont été émises au sujet de l'augmentation des apports en fer, notamment en ce qui concerne les effets potentiels sur les taux d'infections et sur le risque de maladies cardio-vasculaires et de cancer. Ces craintes portent toutefois sur les suppléments de fer produits par l'industrie pharmaceutique et non sur les aliments enrichis.

Un examen récent d'études d'intervention portant sur le lait ou les céréales enrichis en fer a conclu que l'enrichissement en fer n'augmentait pas la morbidité infectieuse chez les enfants de moins de 18 mois (251). D'après des études réalisées au Chili (252), en Hongrie (253) et en Afrique du Sud (254), le fer ajouté aux laits en poudre pour bébés n'avait aucune influence sur le statut par rapport aux maladies infectieuses. Seule une étude réalisée dans une communauté pauvre du Chili a rapporté une augmentation des épisodes de diarrhée chez des jeunes nourrissons alimentés avec du lait en poudre enrichi en fer (255). Mais d'autres études indiquaient au contraire que l'enrichissement en fer des laits en poudre pour bébés était sans danger (251).

Il a été avancé que des apports en fer élevés et des réserves importantes dans l'organisme pouvaient constituer des facteurs de risque pour les maladies coronariennes et le cancer. Les résultats des études réalisées ces dix dernières années pour tester cette hypothèse se sont toutefois révélés non concluants. L'association entre le taux de ferritine sérique et le risque de maladie coronarienne a été examinée dans au moins 12 études, mais une méta-analyse des résultats n'a pas permis d'établir une relation nette (256). La présence d'une réponse inflammatoire est un facteur de risque important pour les maladies coronariennes, et en même temps elle augmente le taux de ferritine sérique, ce qui pourrait expliquer pourquoi une association entre le risque de maladie coronarienne et une élévation du taux de ferritine sérique est parfois observée.

L'existence d'une relation possible entre le cancer et les apports ou le statut en fer n'a été examinée que dans quelques études, mais avec des résultats dans l'ensemble non concluants. On a émis l'hypothèse que la présence dans l'organisme de fer non absorbé provenant d'un composé d'enrichissement, et dont la plus grande partie atteint le côlon, conduirait à la production de radicaux libres endommageant la muqueuse colique (257). Cependant, le fer est hautement soluble au pH rencontré dans le côlon, et même si le sulfate ferreux non absorbé peut augmenter la production de radicaux libres dans les selles (257), rien ne montre que ces radicaux libres séjournent suffisamment longtemps dans l'intestin pour provoquer des lésions tissulaires. L'observation de taux sériques élevés de transferrine chez des hommes atteints de cancer du côlon (258) n'a pas été confirmée lors d'une période de suivi portée à 17 ans.

---

## Résumé: enrichissement en fer

- Pour la plupart des véhicules alimentaires, les composés d'enrichissement en fer recommandés sont, par ordre de préférence, le sulfate ferreux, le fumarate ferreux, le sulfate ou le fumarate ferreux encapsulés, le fer électrolytique (en concentration double) et le pyrophosphate ferrique (en concentration double).
  - L'adjonction simultanée d'acide ascorbique dans un rapport molaire de 2:1 est recommandée, afin de renforcer l'absorption du fer. Elle s'applique aux aliments pour nourrissons et aux aliments enrichis dans un but commercial. Dans le cas des aliments à teneur élevée en acide phytique, le rapport molaire acide ascorbique: fer peut être porté à 4:1.
  - Le NaFeEDTA est recommandé pour l'enrichissement universel des farines de céréales riches en phytates et des sauces à teneur élevée en peptides (par exemple la sauce de poisson et la sauce de soja).
  - Pour les produits laitiers sous forme liquide, les composés d'enrichissement en fer les plus appropriés sont le bisglycinate ferreux, le pyrophosphate ferrique micronisé et le citrate ferrique d'ammonium.
- 

## 5.2 Vitamine A et $\beta$ -carotène

### 5.2.1 Choix du composé d'enrichissement en vitamine A

Le choix d'un composé d'enrichissement en vitamine A est largement dicté par les caractéristiques du véhicule alimentaire ainsi que par diverses considérations technologiques, réglementaires et religieuses. Comme la vitamine A préformée (rétinol) est un composé instable, dans les préparations commerciales elle est estérifiée, en général avec de l'acide palmitique ou de l'acide acétique, en esters plus stables, l'acétate de rétinyle et le palmitate de rétinyle. Ceux-ci, avec la provitamine A ( $\beta$ -carotène), sont par conséquent les principales formes commerciales de vitamine A utilisables comme composés d'enrichissement alimentaire. La couleur orange vif du  $\beta$ -carotène empêche de l'utiliser dans de nombreux aliments, mais on l'utilise en revanche largement pour donner une coloration jaune-orangé à la margarine et à diverses boissons.

Comme la vitamine A est liposoluble, il est facile de l'incorporer à des aliments à base de graisses ou riches en huile. Lorsque le véhicule alimentaire est un produit sec ou à base d'eau, la vitamine doit être encapsulée. On peut ainsi diviser les composés d'enrichissement en vitamine A en deux catégories:

- Les formes huileuses qui peuvent être directement incorporées aux aliments à base de graisses ou émulsionnées dans les aliments à base d'eau (comme le lait).

- Les formes sèches qui peuvent être mélangées à sec aux aliments ou dispersées dans l'eau, selon qu'elles sont dispersables ou non dans l'eau froide.

La vitamine A pure et le  $\beta$ -carotène en solution sont instables lorsqu'ils sont exposés à la lumière ultraviolette, à l'oxygène ou à l'air. C'est pourquoi toutes les formes de vitamine A (en solution huileuse ou sèches) sont protégées par des antioxydants afin de prolonger leur durée de conservation. Un emballage étanche à l'air assure une protection supplémentaire. Par exemple, la perte de vitamine A dans des bidons d'huile scellés est minime, mais les pertes observées dans des céréales, du sucre ou de l'huile enrichis peuvent atteindre 40 %, selon les conditions ambiantes et la durée du stockage (259–261). Un emballage opaque est indispensable pour assurer la stabilité de la vitamine A dans les huiles enrichies.

Les caractéristiques et les applications des diverses formes de vitamine A sont indiquées dans le **Tableau 5.3**. Chaque formulation contient des stabilisants et toutes sont compatibles avec la réglementation en vigueur sur les denrées alimentaires (par exemple, elles contiennent des antioxydants autorisés) et/ou avec les prescriptions religieuses (par exemple pour les produits casher ou halal). Le prix des formes de rétinol liposolubles est compris entre le tiers et la moitié de celui des formes sèches. Les composés d'enrichissement en vitamine A appropriés pour divers véhicules alimentaires sont indiqués dans le **Tableau 5.4**.

### 5.2.2 Expérience de l'enrichissement en vitamine A de certains aliments

Parmi les véhicules alimentaires appropriés pour un enrichissement universel en micronutriments, la margarine est celui qui est le plus fréquemment associé à la vitamine A. Dans les pays industrialisés comme dans ceux en développement, les huiles végétales sont également utilisées et, depuis plusieurs années, on procède de plus en plus souvent, dans certaines régions du monde, à l'enrichissement des farines de céréales en vitamine A. Dans certaines parties de l'Amérique centrale, le sucre est souvent le véhicule alimentaire préféré pour la vitamine A. Les quantités et les formes de vitamine A utilisées dans divers programmes d'enrichissement des aliments sont indiquées dans le **Tableau 5.5**. On estime qu'en général, environ 90 % de la vitamine A ajoutée sont absorbés (262).

#### 5.2.2.1 Huiles et margarine

Les margarines et les huiles sont les aliments de choix pour l'enrichissement en vitamine A, pour deux raisons. Tout d'abord la forme liposoluble de la vitamine est la moins chère, et de plus l'huile protège la vitamine de l'oxydation pendant le stockage et facilite ainsi son absorption (264). L'enrichissement de la margarine

TABLEAU 5.3

**Formes de vitamine A disponibles dans le commerce, leurs caractéristiques et leurs principales applications**

Produit	Caractéristiques	Applications
Acétate de vitamine A en solution huileuse	Ester de rétinol de l'acide acétique; peut être stabilisé par des antioxydants	Enrichissement d'aliments riches en matières grasses, en particulier la margarine et les produits laitiers
Palmitate de vitamine A en solution huileuse	Ester de rétinol de l'acide palmitique; peut être stabilisé par des antioxydants	Enrichissement d'aliments riches en matières grasses, en particulier la margarine et les produits laitiers
Palmitate ou acétate de vitamine A en solution huileuse, avec vitamine D3	Mélange d'ester de rétinol et de cholécalférol, stabilisé par des antioxydants	Enrichissement d'aliments riches en matières grasses, en particulier la margarine et les produits laitiers, lorsque l'association des deux vitamines est nécessaire
Palmitate ou acétate de vitamine A sous forme sèche	Vitamine A en inclusion dans une matrice soluble dans l'eau (p. ex. gélatine, gomme arabique, amidon) et stabilisée par des antioxydants	Enrichissement des denrées alimentaires sèches (farine, lait en poudre, poudres pour boissons) et des aliments riches en eau
Palmitate ou acétate de vitamine A sous forme sèche, avec vitamine D3	Vitamine A et vitamine D3 en inclusion dans une matrice soluble dans l'eau (p. ex. gélatine, gomme arabique, amidon) et stabilisées par des antioxydants	Enrichissement des denrées alimentaires sèches (farine, lait en poudre, poudres pour boissons) et des aliments riches en eau

Source: Hector Cori, communication personnelle, 2004.

en vitamine A est relativement ancien, puisque certains pays l'ont adopté dès les années 1920, lorsqu'on s'est aperçu que le remplacement du beurre par la margarine dans l'alimentation était à l'origine de nombreux cas de xérophtalmie chez l'enfant (265). L'enrichissement de la margarine en vitamine A à Terre-Neuve (Canada), par exemple, a conduit à une amélioration sensible du statut vitaminique A (266). De même, en Inde, une huile hydrogénée (*vanaspati*), utilisée en remplacement du beurre clarifié (*ghee*), est enrichie en vitamine A depuis 1953 (267).

Bien que la technologie permettant d'ajouter de la vitamine A aux huiles soit simple et peu coûteuse, et que les huiles soient très largement utilisées, leur enrichissement est relativement rare, au moins par rapport à celui des margarines.

TABLEAU 5.4

**Composés utilisés pour l'enrichissement en vitamine A et leur stabilité dans différents véhicules alimentaires**

Véhicule alimentaire	Forme de vitamine A	Stabilité
Farines de céréales	Acétate ou palmitate de rétinyle (formes sèches stabilisées)	Assez bonne
Graisses et huiles	$\beta$ -carotène et acétate ou palmitate de rétinyle (formes solubles dans l'huile)	Bonne
Sucre	Palmitate de rétinyle (formes dispersables dans l'eau)	Assez bonne
Lait en poudre	Acétate ou palmitate de rétinyle (formes sèches dispersables dans l'eau)	Bonne
Lait	Acétate de rétinyle (de préférence) ou palmitate de rétinyle (forme huileuse, émulsifiée)	Bonne/assez bonne selon le conditionnement
Préparations en poudre pour nourrissons	Palmitate de rétinyle (microbilles dispersables dans l'eau)	Bonne
Pâtes à tartiner	Acétate ou palmitate de rétinyle (forme huileuse)	Bonne

Source: Hector Cori, communication personnelle, 2004.

L'adjonction de vitamine A aux huiles est donc un moyen potentiellement utile d'élargir la gamme des aliments déjà enrichis en cette vitamine. La stabilité peut poser des problèmes dans certains contextes; des études expérimentales ont montré que lorsqu'on ajoute de la vitamine A à l'huile de soja conservée en bidons scellés, elle reste stable jusqu'à neuf mois. Mais, alors que moins de 15 % de la vitamine sont perdus lors de la cuisson du riz ou des haricots secs à l'eau bouillante ou en autocuiseur, la perte atteint 60 % lorsque l'huile est réutilisée plusieurs fois pour la friture (260).

Peu d'évaluations systématiques de l'efficacité de l'enrichissement de la margarine et de l'huile ont été réalisées, même si des données historiques collectées en Europe indiquent qu'il s'agit d'un moyen efficace de lutte contre l'avitaminose A. Aux Philippines, la consommation de «Star margarine», un produit enrichi à raison de 25 mg de vitamine A plus 3,5 mg de  $\beta$ -carotène par kg, a réduit de façon significative la prévalence des faibles rétinolémies. L'huile végétale PL-480, distribuée dans les programmes d'aide alimentaire d'urgence, est destinée à apporter environ 50 % de l'apport journalier recommandé de vitamine A pour un adulte de sexe masculin (en supposant une consommation journalière de 16 g par personne) (voir **Tableau 5.5**). La stabilité de la vitamine A dans l'huile PL-480 conservée dans des bidons non entamés est excellente,

TABLEAU 5.5  
Exemples de programmes d'enrichissement en vitamine A

Produit alimentaire	Pays ou programme	Quantité de rétinol ajoutée (mg/kg)	Forme de vitamine A ajoutée	Quantité d'aliment consommée (g/jour)	Contribution à l'apport journalier recommandé (%)
Margarine	Philippines	25	Palmitate de rétinyle (forme huileuse)	24 (enfants d'âge préscolaire)	150 <sup>a</sup>
Margarine	Divers	1-15	Palmitate de rétinyle (forme huileuse)	15	2-40 <sup>a</sup>
Huile végétale (PL-480)	US Food Aid	18	Palmitate de rétinyle (forme huileuse)	16	50 <sup>a</sup>
Graisse hydrogénée	Inde, Pakistan	7,5	Palmitate de rétinyle (forme huileuse)	0,3-17	0,4-21 <sup>a</sup>
Farine de maïs	Venezuela	2,7	Palmitate de rétinyle (forme sèche)	80	30
Farine de blé	Philippines	4,5	Palmitate de rétinyle (forme sèche)	40 (pain)	19 <sup>a</sup>
Farine de blé	US Food Aid	6,6-7,9	Palmitate de rétinyle (forme sèche)	75	80-100 <sup>a</sup>
Sucre	Guatemala	15	Palmitate de rétinyle (forme sèche)	30-120 (moyenne : 60) (adultes)	45-180 (adultes)
				20-30 (enfants en bas âge)	30 (moins de 3 ans)

<sup>a</sup> En supposant qu'il n'y a pas de pertes pendant le transport, le stockage ou la préparation de l'aliment. Sauf indication contraire, la contribution à l'apport nutritionnel recommandé (RNI) est basée sur un RNI pour l'adulte de sexe masculin, soit 600 µg/jour.

Source : d'après la référence 263.

mais une perte de 30% peut s'observer au bout de 30 jours dans les bidons entamés. La rétention de la vitamine dans l'huile est également bonne, la perte ne dépassant pas 10% après 30 minutes de chauffage (268).

#### 5.2.2.2 Produits céréaliers et farines de céréales

Les céréales complètes et les farines de céréales contiennent tout au plus des quantités négligeables de vitamine A intrinsèque. Les farines sont néanmoins de bons véhicules potentiels pour l'enrichissement en vitamine A, car les formes sèches de cette vitamine peuvent facilement y être incorporées ainsi que d'autres additifs. Malgré cela, la plupart des pays industrialisés n'enrichissent pas les farines de céréales en vitamine A car, pour des raisons historiques, les margarines sont le véhicule alimentaire de choix, et aussi parce que la carence en vitamine A n'est plus un problème important. Aux États-Unis d'Amérique, le programme *United States Title II Food Aid Program* enrichit en vitamine A les mélanges blé-soja et maïs-soja depuis une trentaine d'années; partant du principe que les bénéficiaires dépendront en grande partie de ces aliments enrichis pour couvrir leurs besoins en vitamine A, ce programme ajoute cette vitamine en quantités suffisantes pour couvrir 100% des apports journaliers recommandés (269). Cependant, entre 30 et 50% de la vitamine A ajoutée aux mélanges de céréales sont perdus pendant le transport et le stockage (268, 270).

Dans certaines minoteries des Philippines, la farine de blé est enrichie à raison de 4,5 mg de rétinol par kg, une pratique qui donne une concentration moyenne dans le pain de 2,2 µg de rétinol par gramme (**Tableau 5.5**). Cette quantité apporte environ 33% de l'apport journalier de vitamine A recommandé pour les enfants d'âge scolaire. À ce niveau d'enrichissement, les réserves hépatiques de rétinol chez les enfants carencés étaient significativement améliorées à la fin d'un essai d'efficacité d'une durée de 30 semaines (33) (voir aussi section 1.3.1.2).

Au Venezuela, la farine de maïs précuite est enrichie en vitamine A depuis 1993 (**Tableau 5.5**). Avec un niveau d'enrichissement de 2,7 mg/kg et une consommation de farine de 80 g par jour, cette pratique fournit environ 40% de l'apport recommandé pour une famille moyenne (271). Cependant, l'impact de l'enrichissement de la farine de maïs en vitamine A sur le statut vitaminique de la population générale n'est pas connu.

#### 5.2.2.3 Sucre

Dans les années 1970, le Costa Rica et le Guatemala ont mis en œuvre l'enrichissement du sucre en vitamine A, car le sucre était le seul véhicule alimentaire produit de façon centralisée et consommé en quantités suffisantes par les couches les plus pauvres de la population. Ces programmes ont été interrompus pendant un certain temps au cours des années 1980, mais ont

repris et sont actuellement en cours au Guatemala et également en El Salvador, au Honduras et au Nicaragua où ils reçoivent un soutien important de la part de l'industrie sucrière (272). Une évaluation réalisée au début du programme d'enrichissement du sucre en vitamine A au Guatemala a montré qu'il s'agissait d'une stratégie efficace d'amélioration du statut vitaminique A et d'augmentation de la quantité de vitamine dans le lait maternel (273) (voir aussi section 1.3.2.4). Au Guatemala, le sucre enrichi apporte aux enfants environ un tiers de l'apport recommandé en vitamine A (274) (Tableau 5.5). L'enrichissement du sucre est maintenant pratiqué dans d'autres régions du monde, par exemple en Zambie.

De grandes quantités de sucre sont utilisées dans les aliments du commerce, par exemple en confiserie et dans les boissons sucrées (*soft drinks*). Le rétinol présent dans le sucre brut enrichi résiste à la cuisson mais disparaît au cours du processus de fabrication des boissons sucrées (au bout de 2 semaines de stockage, il ne reste plus qu'un tiers de la quantité de rétinol initialement présente dans le sucre brut enrichi). Selon le volume de la production de boissons sucrées, ces pertes peuvent avoir des répercussions importantes en termes de coûts et il pourrait être approprié d'exempter le secteur des boissons sucrées de l'obligation d'utiliser du sucre enrichi (275).

#### 5.2.2.4 Riz

Comme le riz est une importante denrée de base dans de nombreux pays où la prévalence de l'avitaminose A est élevée, son enrichissement en vitamine A peut constituer une stratégie de santé publique efficace en vue de l'élimination de cette carence. Cependant, de même que pour l'enrichissement en fer, des raisons techniques font que l'enrichissement du riz en vitamine A n'en est encore qu'au stade expérimental. Ici encore, la prédominance des petites exploitations dans les pays producteurs de riz empêche la mise en œuvre de programmes d'enrichissement utilisant le riz comme véhicule principal.

#### 5.2.2.5 Autres aliments et boissons

D'autres aliments ont été enrichis avec succès en vitamine A préformée ou en provitamine A :

- lait en poudre ;
- aliments complémentaires pour nourrissons et enfants en bas âge ;
- biscuits et boissons, vendus dans le commerce ou utilisés dans des programmes nutritionnels scolaires tels que ceux qui ont été mis en œuvre en Indonésie, au Mexique et dans d'autres pays d'Amérique centrale (276, 277), au Pérou (278) et en Afrique du Sud (34) ;

- nouilles instantanées (en Thaïlande), dans lesquelles la vitamine A (et le fer élémentaire<sup>1</sup>) sont ajoutés aux épices contenues dans un sachet séparé (279);
- yoghourt (dans le monde entier) (280).

### 5.2.3 Questions d'innocuité

Des effets physiologiques indésirables sont associés à la fois à l'hypervitaminose A aiguë et à des apports durablement élevés. La consommation régulière de grandes quantités de vitamine A sur une période prolongée peut entraîner divers symptômes de toxicité tels que lésions hépatiques, anomalies osseuses et douleurs articulaires, alopécie, céphalées, vomissements et desquamation cutanée (93).

En ce qui concerne les apports quotidiens à long terme, l'United States Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine (IOM/FNB) a défini des apports maximaux tolérables (UL) pour la vitamine A comme suit (91) :

- 600 µg/jour pour les enfants de moins de 3 ans;
- 900 µg/jour pour les enfants de 4 à 8 ans;
- 1700 µg/jour pour les enfants de 9 à 13 ans;
- 2800 µg/jour pour les adolescents;
- 3000 µg/jour pour les femmes susceptibles de devenir enceintes et les hommes adultes.

L'apport maximal tolérable chez l'enfant, c'est-à-dire l'apport quotidien de vitamine A le plus élevé qui ne comporte probablement pas de risque ni d'effets indésirables sur la santé, est égal au dixième de la dose à laquelle un effet toxique quelconque a été observé dans ce groupe d'âge.

Les valeurs de l'apport maximal tolérable définies par l'United States Food and Nutrition Board s'appuient sur des données obtenues dans des populations en bonne santé de pays développés. Elles peuvent ne pas s'appliquer, et ne sont pas destinées à le faire, à des communautés malnutries qui reçoivent de la vitamine A à titre prophylactique, soit périodiquement soit par enrichissement des aliments, comme moyen de prévention de l'avitaminose A. Une étude récente a montré que, chez les femmes et les jeunes enfants, le risque de consommation excessive de vitamine A du fait des aliments enrichis était probablement négligeable (281), mais que cette question méritait d'être suivie attentivement étant donné que de nombreux aliments sont de plus en plus fréquemment enrichis en vitamine A.

<sup>1</sup> Le fer élémentaire est ici utilisé car les composés de fer plus solubles donneraient aux épices une coloration noirâtre.

Le  $\beta$ -carotène et les autres caroténoïdes provitaminiques A posent moins de problèmes de toxicité potentielle car ce ne sont pas des formes actives de la vitamine et à doses élevées ils sont moins efficacement absorbés (91). De plus, la synthèse de la vitamine A à partir du  $\beta$ -carotène et des autres caroténoïdes est strictement régulée par l'organisme. Il n'a jamais été rapporté de cas d'hypervitaminose A résultant d'une supplémentation en provitamine A.

---

## Résumé: enrichissement en vitamine A

- Diverses formes huileuses et sèches de l'acétate de rétinyle et du palmitate de rétinyle, des esters du rétinol, sont disponibles aux fins d'enrichissement des aliments. Les formes sèches sont habituellement enrobées de gélatine, d'amidon ou de gomme et toutes les formes de vitamine A contiennent des antioxydants.
  - L'absorption de toutes les formes de vitamine A est bonne (environ 90%), mais les pertes au cours de la transformation, du stockage et de la préparation des denrées alimentaires peuvent être importantes.
  - L'enrichissement de la margarine et du sucre en vitamine A a fait la preuve de son efficacité. Les huiles végétales et les farines de céréales sont également considérées comme de bons véhicules pour l'enrichissement en vitamine A.
  - Des effets indésirables sur la santé ont été associés à des apports aigus et chroniques élevés de rétinol (principalement par supplémentation) mais non à des apports élevés en caroténoïdes (provitamines A).
- 

## 5.3 Iode

### 5.3.1 Choix du composé d'enrichissement en iode

Deux formes chimiques d'iode conviennent pour l'utilisation comme composé d'enrichissement alimentaire, les iodates et les iodures. On les ajoute en général aux denrées alimentaires sous forme de sels de potassium, mais aussi parfois sous forme de sels de calcium ou de sodium (Tableau 5.6).

TABLEAU 5.6

#### Composés utilisés pour l'enrichissement en iode: formule chimique et teneur en iode

Composé	Formule chimique	Teneur en iode (%)
Iodure de calcium	$\text{CaI}_2$	86,5
Iodate de calcium	$\text{Ca}(\text{IO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	65,0
Iodure de potassium	KI	76,5
Iodate de potassium	$\text{KIO}_3$	59,5
Iodure de sodium	$\text{NaI} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	68,0
Iodate de sodium	$\text{NaIO}_3$	64,0

L'iodure de potassium est utilisé comme additif dans le pain et le sel depuis environ 80 ans, et l'iodate de potassium depuis environ 50 ans. Les iodates sont moins solubles dans l'eau que les iodures, résistent mieux à l'oxydation et à l'évaporation et, comme ils sont plus stables dans des conditions climatiques défavorables, ils n'exigent pas l'adjonction simultanée de stabilisants. Bien que plus coûteux, l'iodate de potassium est ainsi préféré à l'iodure de potassium, surtout en climat chaud et humide, et est recommandé comme additif dans de nombreux aliments, notamment le sel (282, 283). Pour des raisons historiques, les pays d'Europe et d'Amérique du Nord continuent à utiliser l'iodure de potassium, tandis que la plupart des pays tropicaux utilisent l'iodate de potassium. Les pertes d'iode dues à l'oxydation de l'iodure sont augmentées par l'humidité, l'exposition à la chaleur et au rayonnement solaire, et par la présence d'impuretés dans le sel auquel il est ajouté.

### 5.3.2 Expérience de l'enrichissement en iode de certains aliments

#### 5.3.2.1 Sel

Le sel est le véhicule alimentaire le plus largement utilisé pour l'enrichissement en iode. En effet, l'iodation universelle du sel, c'est-à-dire de tout le sel destiné à la consommation humaine (industrie agroalimentaire et ménages) et animale, est la stratégie recommandée par l'OMS pour lutter contre les troubles dus à la carence en iode (284). Le choix de cette stratégie repose sur les facteurs suivants :

- le sel est l'une des rares denrées consommées par l'ensemble de la population;
- la consommation de sel est assez stable pendant toute l'année;
- la production de sel est en général limitée à quelques zones géographiques;
- la technologie d'iodation du sel est facile à mettre en œuvre et est accessible à tous les pays en développement à un coût raisonnable (0,2–0,3 US *cent* par kg, soit 1 US *cent* par personne et par an);
- l'adjonction d'iode au sel n'affecte pas sa couleur, sa saveur ni son odeur;
- la qualité du sel iodé peut être surveillée au niveau de la production, du commerce de détail et des ménages.

L'extraction des dépôts salins présents dans le sous-sol est la principale source de sel en Australie, en Europe et en Amérique du Nord. Ailleurs, comme en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud, l'évaporation au soleil de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre de lacs et de nappes souterraines est la principale source de sel. Après extraction, le sel brut est raffiné pour faire passer sa teneur en NaCl de 85–95 % à 99 %. Les spécifications relatives aux propriétés physiques et à la

composition chimique du sel de qualité alimentaire sont établies par le Codex Alimentarius (285).

Habituellement, on ajoute l'iode au sel une fois celui-ci raffiné et séché, au moyen de l'une ou l'autre de deux techniques principales. Dans la méthode par voie humide, une solution d'iodate de potassium ( $KIO_3$ ) est ajoutée par aspersion ou pulvérisation, à un taux constant, sur le sel acheminé par un convoyeur à bande. Cette technique possède un très bon rapport coût-efficacité. Par exemple, en Suisse, un seul dispositif comportant un convoyeur à bande et un système de pulvérisation permet d'obtenir assez de sel pour une population de 6 millions de personnes à un coût de US\$ 1 par 100 kg de sel soit 7 US cents par personne et par an (286). L'autre méthode, réalisée à sec, consiste à projeter de l'iodure de potassium (KI) ou de l'iodate de potassium ( $KIO_3$ ) en poudre sur le sel sec. Cette technique est plus exigeante car elle nécessite un sel formé de petits cristaux homogènes et un mélange soigneux du sel après adjonction du composé iodé pour assurer une répartition uniforme de l'iode. Un mélange défectueux est une cause majeure de teneur inappropriée en iode. On trouvera ailleurs des informations techniques sur les procédés d'iodation du sel (287).

La stabilité de l'iode dans le sel dépend de la teneur en eau, de l'acidité et de la pureté du sel auquel le composé iodé est ajouté. Pour réduire les pertes d'iode pendant le stockage, le sel iodé doit être aussi pur et sec que possible, et doit être correctement emballé. Lorsque la teneur en eau est trop élevée, l'iode tend à migrer vers le fond du récipient. Si l'acidité du sel est trop forte, l'iode s'évaporerait. Il peut aussi y avoir des pertes lorsque l'emballage est doublé d'un textile imperméable; si l'extérieur s'humidifie, l'iode migre du sel dans la couche textile puis s'évapore. Cela risque moins de se produire avec l'iodate de potassium car les iodates sont moins solubles et plus résistants à l'oxydation. Pour éviter les pertes d'iode, on peut utiliser des emballages en sacs de polyéthylène de haute densité, soit laminés avec du polyéthylène de basse densité soit doublés d'un film continu résistant à la perforation. Dans une étude réalisée dans plusieurs pays sur les pertes d'iode dans le sel, un taux d'humidité élevé combiné à un matériau d'emballage poreux (par exemple des sacs de jute) provoquait une perte d'iode de 30–80% sur une période de six mois (288).

Comme l'iodation du sel est peu coûteuse et facile à mettre en œuvre, les programmes ont enregistré de grands progrès en relativement peu de temps (Tableau 5.7). Pendant la période de dix ans s'étendant de 1989 à 1999, la proportion de ménages consommant du sel iodé est passée de 10% à 68% et en 1999, sur 130 pays affectés par la carence en iode, 98 avaient mis en place une législation imposant l'iodation du sel (284). Plusieurs facteurs empêchent encore d'atteindre l'objectif de l'iodation universelle du sel: difficultés à faire appliquer la loi sur l'iodation du sel, problèmes dus au grand nombre de petits producteurs de sel, et absence de système de surveillance opérationnel. L'existence de poches de population vivant dans des zones reculées qui ne

TABLEAU 5.7

**Progrès sur la voie de l'iodation universelle du sel dans les Régions OMS (situation en 1999)**

Région OMS	Couverture (% des ménages)	Nombre de pays possédant une législation sur l'iodation du sel
Afrique	63	34
Amériques	90	17
Asie du Sud-Est	70	7
Europe	27	20
Méditerranée orientale	66	14
Pacifique occidental	76	6
Total	68	98

Source: d'après les références 284, 289.

peuvent avoir facilement accès à du sel iodé vient aussi compliquer la mise en œuvre efficace des programmes d'iodation du sel et leur pérennité dans certains pays. Pour aider les pays à mettre en œuvre et maintenir des programmes efficaces d'iodation du sel, plusieurs organisations internationales, dont l'OMS, ont établi en commun un mécanisme de renforcement des capacités nationales en matière d'activités de soutien à l'iodation du sel, en particulier en ce qui concerne l'assurance de la qualité et la surveillance. Le travail du réseau IRLI (International Resource Laboratory for Iodine), qui comporte des activités de transfert de technologies et de partage de l'information, est décrit plus en détail dans l'**Annexe B**.

### 5.3.2.2 Pain

D'un point de vue technique, le pain est un bon véhicule pour l'adjonction d'iode et s'est révélé un moyen efficace d'assurer un apport constant d'iode alimentaire. L'iodation du pain est utilisée dans quelques pays d'Europe où cet aliment est une denrée de base, par exemple la Russie (290, 291) et en Tasmanie. Aux Pays-Bas, le principal support de l'iode est le sel ajouté au pain, c'est-à-dire le sel de boulangerie, qui est enrichi en iode depuis 1942. Ces dernières années, la teneur du sel de boulangerie en iodure de potassium aux Pays-Bas a été augmentée.

### 5.3.2.3 Eau

L'eau étant consommée quotidiennement, elle constitue aussi un véhicule potentiel pour l'enrichissement en iode. Son principal inconvénient, par comparaison avec le sel, est que les sources d'eau potable sont si nombreuses partout qu'une iodation serait difficile à contrôler. De plus, l'iode ne possède qu'une stabilité limitée dans l'eau (pas plus de 24 heures) de sorte qu'un apport continu et quotidien dans le réseau d'alimentation en eau serait nécessaire. Bien

que l'utilisation de l'eau comme véhicule pour l'enrichissement en iode soit techniquement plus difficile que celle du sel, il existe des circonstances dans lesquelles l'iodation de l'eau peut être un moyen approprié de correction des carences en iode.

Le moyen le plus simple d'enrichir l'eau en iode est d'ajouter goutte à goutte une solution concentrée d'iode (sous forme d'iodure ou d'iodate de potassium) jusqu'à obtention de la concentration souhaitée dans l'eau contenue dans un récipient déterminé. Cette méthode est largement utilisée dans les écoles dans le nord de la Thaïlande (292). Dans le cas de l'eau pompée à la main ou prélevée dans des puits ouverts, il est possible d'introduire dans la source d'eau un réservoir en polymère poreux contenant de l'iode. La solution d'iodure de potassium est alors libérée peu à peu dans l'eau. Toutefois, ces réservoirs ont une durée de vie limitée et doivent être remplacés une fois par an. Ces pratiques ont donné de bons résultats dans plusieurs régions du monde: en Afrique, en République centrafricaine, au Mali (293) et au Soudan (294), en Asie, dans les républiques d'Asie centrale, en Malaisie (295) et en Thaïlande, et en Europe, en Italie (Sicile). Dans la plupart des cas, le facteur limitant, surtout en termes de coût-efficacité, tient au fait que l'ensemble de la population, ainsi que le bétail, doit utiliser le point d'eau traité pour bénéficier de l'iodation (296). Une troisième option, qui convient pour l'eau acheminée dans des canalisations, consiste à dériver une partie de l'eau pour la faire passer au travers d'une cartouche contenant des cristaux d'iode et de la réintroduire dans la canalisation principale. On a également essayé d'ajouter directement une solution d'iode dans les sources d'eau douce. Par exemple, en Chine, on a introduit pendant une période de 12 à 24 jours une solution à 5% d'iodate de potassium dans la seule rivière fournissant l'eau à une population isolée (297). On a pu ainsi obtenir une amélioration des taux urinaires d'iode chez les enfants et une augmentation relativement stable du taux d'iode dans le sol.

Un examen de l'efficacité et du rapport coût-efficacité des différentes méthodes d'iodation de l'eau a conclu que bien que ces méthodes soient dans l'ensemble efficaces, il ne fait pas de doute que leur coût, s'ajoutant à la nécessité de systèmes de surveillance, pose davantage de problèmes que dans le cas du sel iodé (296).

#### 5.3.2.4 Lait

Le lait enrichi en iode est utilisé dans plusieurs pays pour combattre la carence en iode. Mais il s'agit surtout d'une conséquence de l'utilisation d'iodophores dans l'industrie laitière plus que de l'adjonction délibérée d'iode au lait. Le lait enrichi en iode est devenu une source secondaire majeure d'iode dans de nombreux pays d'Europe du Nord, au Royaume-Uni (298) et aux États-Unis d'Amérique. L'utilisation de pain enrichi en iode a été abandonnée en Tasmanie

lorsque d'autres sources d'iode, principalement le lait (à la suite de l'utilisation d'iodophores dans l'industrie laitière) sont devenues disponibles.

#### 5.3.2.5 Autres véhicules

La faisabilité de l'utilisation du sucre comme véhicule d'enrichissement en iode a été évaluée lors d'études pilotes réalisées au Soudan (299), et celle de la sauce de poisson en Asie du Sud-Est, où elle constitue une source majeure de sodium alimentaire (du fait du sel qu'elle contient). En plus de l'enrichissement du sel de table (300), la Finlande enrichit le fourrage des animaux ce qui augmente la teneur en iode des aliments d'origine animale.

#### 5.3.3 Questions d'innocuité

L'enrichissement en iode ne comporte en général aucun danger. On l'ajoute au sel et au pain depuis plus de 50 ans sans aucun effet toxique notable (301). Lors de sa cinquante-troisième réunion en 1999, le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires a conclu que l'iodure de potassium et l'iodate de potassium pouvaient continuer à être utilisés pour enrichir le sel dans le cadre de la prévention et de la correction des troubles dus à la carence en iode (238). Comme la synthèse et la libération des hormones thyroïdiennes sont en général bien régulées, grâce à des mécanismes qui permettent à l'organisme de s'ajuster face à des apports en iode très variables, des apports pouvant aller jusqu'à 1 mg (1000 µg) par jour sont tolérés par la plupart des personnes.

Néanmoins, une augmentation importante et soudaine de l'apport d'iode peut aggraver le risque de toxicité chez des sujets sensibles, notamment ceux qui ont présenté une carence chronique en cet élément. Cet effet, l'hyperthyroïdie induite par l'iode, est la complication la plus fréquente de l'apport d'iode en prophylaxie. Des flambées ont été observées dans presque tous les programmes de supplémentation en iode (302). L'hyperthyroïdie induite par l'iode tend à se produire au début de la mise en œuvre des programmes et touche surtout les personnes âgées porteuses depuis longtemps de nodules thyroïdiens. Elle est cependant en général transitoire et son taux d'incidence se normalise au bout de 1 à 10 ans d'intervention.

Des flambées d'hyperthyroïdie induite par l'iode, attribuées *a posteriori* à l'introduction soudaine d'un sel excessivement iodé dans des populations qui étaient gravement carencées depuis très longtemps, ont récemment été rapportées en République démocratique du Congo (303) et au Zimbabwe (304). Ces rapports pourraient indiquer la survenue possible de ce type d'hyperthyroïdie en cas d'iodation excessive du sel (305). Si une flambée de cas devait survenir après l'introduction du sel iodé, on peut prévoir qu'elle se comporterait de la même façon que celles qui ont été observées lors des programmes de supplémentation en iode, c'est-à-dire qu'elle se manifesterait en début de

programme et principalement chez les personnes âgées. La prévention de l'hyperthyroïdie induite par l'iode passe par une surveillance des taux d'iodation du sel et du statut en iode de la population, associée à une formation appropriée du personnel de santé en matière d'identification et de traitement de cette affection (306).

La thyroïdite induite par l'iode est une autre affection qui peut être aggravée ou même provoquée par une augmentation des apports d'iode (307). À l'heure actuelle, aucune investigation à grande échelle n'a été menée sur l'impact des programmes d'intervention contre la carence en iode sur la thyroïdite induite par l'iode.

---

### Résumé: enrichissement en iode

- L'iodation universelle du sel, c'est-à-dire l'iodation de la totalité du sel destiné à la consommation humaine et animale, est la stratégie recommandée par l'OMS pour corriger la carence en iode.
  - L'iodate de potassium est utilisé de préférence à l'iodure de potassium car il est plus stable.
  - Les bénéfices de la correction de la carence en iode l'emportent largement sur les risques potentiels de l'enrichissement en iode. L'hyperthyroïdie induite par l'iode et autres effets indésirables de l'enrichissement en iode peuvent être entièrement évités grâce à une surveillance et une assurance de la qualité appropriées et suivies.
-

## CHAPITRE 6

# Zinc, acide folique et autres vitamines du groupe B, vitamine C, vitamine D, calcium, sélénium et fluor

### 6.1 Zinc

#### 6.1.1 Choix du composé d'enrichissement en zinc

Les composés de zinc qui conviennent pour l'enrichissement des aliments sont le sulfate, le chlorure, le gluconate, l'oxyde et le stéarate. Tous sont blancs ou incolores, mais leur solubilité est variable; quelques-uns ont une saveur désagréable lorsqu'ils sont ajoutés à certains aliments. Bien que peu soluble dans l'eau, l'oxyde de zinc est le moins coûteux des composés d'enrichissement en zinc et c'est donc celui que l'on tend à choisir de préférence. Des travaux récents ont montré que l'absorption du zinc à partir de produits céréaliers enrichis en oxyde de zinc était aussi bonne qu'à partir des produits enrichis avec du sulfate de zinc, plus soluble (308, 309), probablement parce que l'oxyde de zinc est soluble dans les acides gastriques. Cependant, l'absorption du zinc à partir de son oxyde peut être insuffisante chez les sujets qui ont une faible sécrétion d'acide gastrique.

#### 6.1.2 Biodisponibilité du zinc

L'absorption du zinc à partir des aliments dépend de la quantité de zinc consommée et du rapport phytate :zinc dans l'aliment. D'après des estimations récentes de l'IZiNCG (International Zinc Nutrition Consultative Group), lorsque l'apport en zinc est juste suffisant pour assurer une quantité de zinc absorbé répondant aux besoins physiologiques, chez l'homme adulte environ 27% de la quantité de zinc sont absorbés à partir d'aliments dont le rapport molaire phytate :zinc est inférieur à 18, et cette proportion tombe à environ 19% quand le rapport molaire phytate :zinc dépasse 18 (aliments riches en phytates). Les taux d'absorption correspondants chez la femme adulte sont de 35% et 26% (109). Lorsque l'apport en zinc est supérieur à la quantité couvrant les besoins, la fraction absorbée diminue progressivement, bien que l'absorption nette augmente légèrement. Lors d'une étude réalisée aux États-Unis d'Amérique et portant sur des adultes bien nourris et en bonne santé, l'absorption du zinc à partir du sulfate ou de l'oxyde ajouté à une portion de pain à faible teneur en phytates était d'environ 14% (teneur totale en zinc: 3,1–3,7 mg par repas), contre 6% environ à partir des mêmes composés d'enrichissement ajoutés à une

portion de porridge riche en phytates (teneur totale en zinc: 2,7–3,1 mg par portion) (309).

### 6.1.3 Méthodes utilisées pour augmenter l'absorption du zinc à partir du composé d'enrichissement

Compte tenu de ces résultats et de la similitude avec les composés d'enrichissement en fer (voir section 5.1.2), on peut raisonnablement supposer qu'en réduisant la teneur des aliments en phytates, on augmentera l'absorption du zinc à partir des composés d'enrichissement, au moins chez l'adulte (310). On n'est pas certain qu'il en soit de même chez les nourrissons et les enfants en bas âge. Un taux d'extraction plus faible entraînerait une baisse de la teneur des céréales en phytates mais aussi une baisse de la teneur en zinc, de sorte que l'effet net sur l'apport en zinc serait minime. On peut aussi réduire la teneur en phytates en activant les phytases naturellement présentes dans la plupart des aliments contenant des phytates (par germination, fermentation et/ou trempage) ou en ajoutant des phytases bactériennes ou fongiques. Il a été également démontré que l'introduction de sources de protéines animales dans l'alimentation constituait un moyen efficace d'améliorer l'absorption du zinc à partir des aliments riches en phytates (93).

Il n'existe pas pour le zinc de composés qui renforcent l'absorption comme c'est le cas de l'acide ascorbique pour le fer. Cependant, d'après les résultats d'une étude menée sur des femmes adultes, l'adjonction de NaFeEDTA pouvait augmenter l'absorption du zinc à partir de l'alimentation, qui passait dans ce cas de 20% à 35%; sur la quantité supplémentaire de zinc absorbé, 1% était excrété dans les urines (311). Ces résultats doivent encore être confirmés par d'autres études. Mais si, comme semblent l'indiquer certains rapports, l'addition de Na<sub>2</sub>EDTA ou de NaFeEDTA aux farines de céréales inhibe l'action de la levure, ces composés seraient d'un usage limité, au moins dans ce type de produits.

### 6.1.4 Expérience de l'enrichissement en zinc de certains aliments

Jusqu'à maintenant, l'enrichissement des aliments en zinc est resté assez limité, et concerne en général les laits en poudre pour nourrissons (avec du sulfate de zinc), les aliments complémentaires et les céréales pour petit déjeuner prêtes à consommer (aux États-Unis d'Amérique). En Indonésie, l'adjonction de zinc est obligatoire pour les nouilles de blé. Récemment, plusieurs pays d'Amérique latine ont manifesté leur intérêt pour un enrichissement en zinc des farines de céréales.

Plusieurs études ont montré les effets bénéfiques de la supplémentation en zinc sur la croissance chez l'enfant (voir section 4.1.3). Cependant, très peu d'essais ont évalué l'efficacité théorique et pratique de l'enrichissement des

aliments en zinc. Même si l'adjonction d'oxyde de zinc aux céréales pour petit déjeuner a augmenté les concentrations plasmatiques de zinc chez des enfants d'âge préscolaire aux États-Unis d'Amérique, rien n'a montré une augmentation concomitante de la croissance ni des apports alimentaires (312). Toutefois, en Turquie, l'enrichissement du pain en zinc a augmenté la croissance chez des enfants d'âge scolaire qui avaient auparavant des taux faibles de zinc dans le plasma (313).

On connaît mal les effets du zinc ajouté aux aliments sur leurs propriétés organoleptiques. L'enrichissement de la farine de blé avec des quantités relativement élevées de zinc (sous forme d'acétate) n'avait pas d'effets contraires sur le comportement à la cuisson ni les qualités organoleptiques de la pâte à pain (313). De même, l'addition de 60 ou 100 mg de zinc par kg de farine de blé (sous forme de sulfate ou d'oxyde) ne modifiait pas l'acceptabilité du pain (314). L'encapsulation des composés de zinc est possible mais n'a pas encore été envisagée. Ce serait toutefois un moyen commode de masquer la saveur déplaisante de certains composés de zinc.

## 6.2 Acide folique et autres vitamines du groupe B

Les vitamines du groupe B sont examinées ensemble dans ce chapitre car non seulement elles ont en commun certaines propriétés lorsqu'elles sont utilisées comme composés d'enrichissement alimentaire, mais elles sont souvent utilisées dans les mêmes aliments. Les membres de ce groupe examinés ici sont l'acide folique (vitamine B9), la thiamine (vitamine B1), la riboflavine (vitamine B2), la niacine, la pyridoxine (vitamine B6) et la vitamine B12 (cobalamine).

### 6.2.1 Choix des composés d'enrichissement en vitamines du groupe B

Les caractéristiques des composés de vitamine B qui conviennent pour l'enrichissement des aliments sont résumées dans le **Tableau 6.1**. En général, les vitamines du groupe B sont relativement stables, la thiamine étant la plus instable à la chaleur. L'acide folique de synthèse, sous forme d'acide ptéroylmonoglutamique, est modérément stable à la chaleur (315) mais est sensible aux effets des agents oxydants et réducteurs (316).

Une certaine perte de composé d'enrichissement est inévitable, dans des proportions qui dépendent de facteurs comme la température utilisée pour la transformation ou la préparation de l'aliment, la teneur en eau, la pression et la température d'extrusion, la présence d'autres micronutriments (dans le prémélange et dans l'aliment enrichi), la nature du conditionnement, et la durée de conservation prévue pour le produit enrichi. Les quantités de vitamine retrouvées dans le pain fabriqué à partir de farine enrichie vont d'environ 70% à 95% pour la niacine et de 75% à 90% pour la thiamine et la pyridoxine.

TABLEAU 6.1

**Composés utilisés pour l'enrichissement en vitamines du groupe B : propriétés physiques et stabilité**

Vitamine	Composé utilisé pour l'enrichissement	Propriétés physiques	Stabilité
Thiamine (B1)	Chlorhydrate de thiamine  Mononitrate de thiamine	Plus soluble dans l'eau que le mononitrate Blanc ou blanchâtre  Blanc ou blanchâtre	Les deux sels sont stables à l'oxygène en l'absence de lumière et d'humidité mais instables en solution neutre ou alcaline et en présence de sulfites. Les pertes pendant le lavage et la cuisson sont estimées à 15-20 %. Disponibles sous forme enrobée. Le mononitrate est préférable pour les produits à l'état sec.
Riboflavine (B2)	Riboflavine	Relativement insoluble dans l'eau Jaune	Très instable à la lumière. Pertes rapides dans le lait exposé à la lumière mais stable dans le pain blanc.
Niacine	Sel de sodium du 5'-phosphate de riboflavine Niacine (acide nicotinique)	Soluble dans l'eau Jaune Soluble dans les bases, peu soluble dans l'eau	Très stable à l'oxygène, à la chaleur et à la lumière, à l'état sec et en solution aqueuse.
Pyridoxine (B6)	Niacinamide (nicotinamide) Chlorhydrate de pyridoxine	Blanc Soluble dans l'eau Blanc Soluble dans l'eau Blanc ou blanchâtre	Stable à l'oxygène et à la chaleur mais relativement sensible à la lumière UV. Disponible sous forme enrobée. Moyennement stable à la chaleur.
Acide folique (B9)	Acide ptéroylmonoglutamique	Peu soluble dans l'eau, soluble dans les acides et bases dilués Jaune-orangé	Stable en solution à pH neutre mais de plus en plus instable à pH plus faible ou plus élevé. Instable à la lumière UV.
Vitamine B12 (cobalamine)	Cyanocobalamine	La vitamine B12 pure est peu soluble dans l'eau, mais les formes diluées sont totalement solubles Rouge foncé, souvent fourni dilué sur un vecteur (0,1 %)	Relativement stable à l'oxygène et à la chaleur en solution neutre et acide, mais instable dans les bases et les acides forts, à la lumière vive et en solution alcaline à plus de 100 °C.

Lorsqu'on utilise de la farine enrichie pour la fabrication des pâtes, environ 70 % de la thiamine, de la pyridoxine et de la niacine ajoutées sont conservés, même après séchage et cuisson. À partir de ces données, et en supposant que les vitamines ajoutées sont absorbées à 100 %, il suffit d'ajouter à la farine un excédent d'environ 20 à 30 % pour assurer que les quantités souhaitées se retrouvent dans des produits tels que le pain et les céréales.

L'acide folique a une couleur jaune clair, qui ne se communique pas aux aliments étant donné les faibles quantités ajoutées, en général entre 1,5 et 2,4 ppm. Une partie des vitamines est perdue lors de l'exposition à la lumière ainsi que pendant la cuisson. Les pertes les plus fortes s'observent dans les pâtes et les biscuits, mais elles ne dépassent probablement pas 20 %. Comme les concentrations d'acide folique dans les aliments sont difficiles à mesurer, les taux rapportés dans la farine enrichie et les produits de boulangerie sont souvent entachés d'erreurs de mesure considérables.

### 6.2.2 Expérience de l'enrichissement de certains aliments en vitamines du groupe B

On a déjà une longue expérience de l'adjonction de vitamines du groupe B aux céréales (y compris les farines de blé et de maïs) et au riz, aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en développement. Les effets bénéfiques de la restitution de la thiamine, de la riboflavine et de la niacine dans les céréales et les farines de céréales, où les pertes de ces vitamines peuvent atteindre 65–80 % lors de la mouture, sont depuis longtemps reconnus. L'enrichissement des farines et des céréales a dès le début apporté une contribution majeure à l'obtention des apports recommandés en vitamines du groupe B, même dans les pays industrialisés (317). La quantité de niacine ajoutée à la farine de blé se situe en général entre 15 et 70 mg/kg (178), celle de thiamine entre 1,5 et 11 mg/kg et celle de vitamine B12 entre 1,3 et 4 mg/kg (318).

Environ 75 % des folates contenus dans le blé complet sont également perdus au cours de la mouture, mais l'acide folique n'a été introduit qu'à une époque relativement récente dans les programmes d'enrichissement des céréales. En 1998, l'enrichissement des céréales en acide folique est devenu obligatoire aux États-Unis d'Amérique, dans le but de réduire la prévalence des cas de défaut de fermeture du tube neural (DFTN) chez le nouveau-né. Le taux d'enrichissement exigé est de 154 µg par 100 g de farine (Mandate 21 CFR 137.165). Selon une évaluation, l'impact de cette mesure s'est traduit par une diminution de 26 % de l'incidence des cas de DFTN (48). L'enrichissement obligatoire en acide folique a également fait baisser assez rapidement la prévalence des faibles folatémies chez l'adulte, d'environ 22 % à presque zéro, et a réduit d'environ 50 % la prévalence des taux élevés d'homocystéine dans le plasma (49). Outre les États-Unis d'Amérique, une trentaine de pays ajoutent maintenant de l'acide folique

à la farine, dont le Canada (150 µg/100 g), le Chili (220 µg/100 g dans la farine de blé), le Costa Rica (180 µg/100 g), El Salvador (180 µg/100 g), le Guatemala (180 µg/100 g), le Honduras (180 µg/100 g), l'Indonésie (200 µg/100 g dans la farine de blé), le Mexique (200 µg/100 g dans la farine de blé), le Nicaragua (180 µg/100 g), le Panama (180 µg/100 g) et la République dominicaine (180 µg/100 g) (318).

Les vitamines du groupe B sont ajoutées directement à la farine en tant qu'éléments nutritifs isolés ou en prémélange (lequel contient aussi en général du fer), ou sont diluées avec une petite quantité de farine sur le site de la minoterie avant d'être ajoutées au stock de farine en vrac. Dans le cas des céréales pour petit déjeuner prêtes à consommer, les vitamines B peuvent être ajoutées au mélange sec avant extrusion ou autre processus de fabrication, ou mises en solution ou en suspension puis appliquées par pulvérisation sur les céréales une fois séchées au four. La riboflavine possède une coloration jaune intense et une saveur légèrement amère, mais aux quantités généralement ajoutées dans la farine blanche d'éventuels problèmes de couleur ou de saveur seraient probablement minimes. Il existe des formes enrobées pour les vitamines hydrosolubles comme la thiamine et la vitamine B6, en cas de problèmes d'arrière-goût ou autres (**Tableau 6.1**).

### 6.2.3 Questions d'innocuité

#### 6.2.3.1 Thiamine, riboflavine et vitamine B6

Comme la toxicité n'est pas un problème, l'United States Food and Nutrition Board n'a pas défini de limites supérieures d'apport (UL) pour la thiamine et la riboflavine. Dans le cas de la vitamine B6, la survenue d'une neuropathie sensitive a été mise en relation avec des apports élevés de suppléments vitaminiques mais, selon l'United States Food and Nutrition Board, aucun effet indésirable associé à la vitamine B6 présente dans les aliments n'a été rapporté, mais cela ne signifie pas qu'il n'y ait pas de potentiel d'effets indésirables à la suite d'apports élevés, et comme les données sur les effets indésirables de la vitamine B6 sont limitées, la prudence peut être justifiée. Une limite supérieure d'apport de 100 mg chez l'adulte et 30–40 mg chez l'enfant a donc été établie (128). Il est très peu probable que de telles quantités puissent être atteintes à partir d'aliments enrichis.

#### 6.2.3.2 Niacine (acide nicotinique et nicotinamide)

Des cas de vasodilatation ou de bouffées congestives (sensation de chaleur ou de démangeaison intéressant le visage, les bras et la poitrine) ont été observés comme premier effet indésirable chez des patients prenant de fortes doses d'acide nicotinique pour le traitement de l'hyperlipidémie. Au vu de ces

données, l'United States Food and Nutrition Board a défini une limite supérieure d'apport de 35 mg/jour pour l'acide nicotinique (128). Les apports de nicotinamide (ou niacinamide) n'ont en revanche pas été associés à de tels effets.

Étant donné les caractéristiques différentes des deux formes de niacine, le Comité scientifique de l'alimentation humaine (Union européenne) a proposé une limite supérieure de 10 mg/jour pour l'acide nicotinique et une limite distincte, beaucoup plus élevée, de 900 mg/jour pour le nicotinamide (319). Ce dernier composé ne pose donc pas de problèmes de limite de sécurité dans la pratique courante de l'enrichissement des aliments.

### 6.2.3.3 Composés d'enrichissement en acide folique

La consommation d'acide folique aux quantités normalement présentes dans les aliments enrichis n'a jusqu'à présent pas été associée à des effets indésirables sur la santé. Cependant, on s'est demandé si un apport important en acide folique ne pourrait pas masquer ou exacerber certains problèmes neurologiques, comme l'anémie pernicieuse, chez des personnes ayant un faible apport en vitamine B12 (128). Cela a conduit certains pays à hésiter à enrichir les aliments en acide folique. Cette question se pose en particulier pour les sujets qui consomment de l'acide folique à la fois dans des suppléments alimentaires et dans toute une variété d'aliments enrichis, comme c'est le cas dans de nombreux pays industrialisés. Dans ces conditions, certaines personnes peuvent dépasser la limite supérieure d'apport, fixée à 1 mg/jour pour l'acide folique (128, 129). Une solution évidente à ce problème potentiel consiste à enrichir les aliments à la fois en vitamine B12 et en acide folique.

Pour éviter tout risque possible d'effets indésirables, les programmes d'enrichissement en acide folique doivent être conçus de façon à limiter les apports quotidiens réguliers à un maximum de 1 mg. De plus, on pourra envisager des mesures exigeant que les suppléments alimentaires contenant de l'acide folique et les aliments enrichis contiennent également de la vitamine B12, surtout dans le cas de produits consommés par des personnes âgées davantage exposées au risque de carence en vitamine B12 et aux affections qui lui sont associées, notamment l'anémie pernicieuse.

## 6.3 Vitamine C (acide ascorbique)

### 6.3.1 Choix du composé d'enrichissement en vitamine C

L'acide ascorbique et le palmitate d'ascorbyle sont souvent ajoutés aux huiles, graisses, boissons sucrées et divers autres aliments comme moyen d'améliorer la stabilité d'autres micronutriments ajoutés (par exemple la vitamine A) ou pour renforcer l'absorption du fer (voir section 5.1.2.1). Toutefois, l'acide ascorbique

est lui-même relativement instable en présence d'oxygène, de métaux, et d'humidité et/ou de températures élevées. Pour préserver l'intégrité de la vitamine C (en particulier pendant le stockage), les aliments doivent donc être correctement emballés, ou l'acide ascorbique encapsulé.

### 6.3.2 Expérience de l'enrichissement en vitamine C de certains aliments

D'une façon générale, les aliments qui ne sont pas cuits avant consommation sont de meilleurs véhicules pour l'enrichissement en vitamine C. Les aliments prêts à l'emploi, comme ceux qui sont utilisés dans les programmes d'aide alimentaire dans les situations d'urgence, étaient souvent enrichis en vitamine C car on pensait qu'il s'agissait du moyen le plus efficace de fournir cette vitamine à des populations supposées carencées. Cependant, un essai réalisé avec des céréales PL-480 a montré que, bien que la quasi-totalité de l'acide ascorbique encapsulé ajouté comme composé d'enrichissement ait été préservée pendant le transport entre les États-Unis d'Amérique et l'Afrique, la vitamine était rapidement détruite après une cuisson de 10 minutes (270). En revanche, l'adjonction de vitamine C aux produits transformés vendus dans le commerce comme le lait en poudre, les préparations en poudre pour nourrissons, les aliments complémentaires à base de céréales, les poudres pour boisson chocolatée et diverses boissons s'est révélée efficace pour améliorer les apports en cette vitamine. Comme le sucre aide à protéger l'acide ascorbique dans les boissons sucrées (*soft drinks*), il a été proposé comme véhicule possible pour la vitamine C (184).

## 6.4 Vitamine D

### 6.4.1 Choix du composé d'enrichissement en vitamine D

On peut ajouter aux aliments soit la vitamine D2 (ergocalciférol) soit la vitamine D3 (cholécalférol). Ces deux formes ont des activités biologiques similaires, sont toutes deux très sensibles à l'oxygène et à l'humidité, et interagissent avec les minéraux. Pour la plupart des applications commerciales, on utilise une forme sèche stabilisée qui contient un antioxydant (en général le tocophérol) qui préserve l'activité de la vitamine même en présence de minéraux.

### 6.4.2 Expérience de l'enrichissement en vitamine D de certains aliments

Le lait et les produits laitiers, y compris le lait en poudre et le lait condensé, sont souvent enrichis en vitamine D. De nombreux pays ajoutent également cette vitamine à la margarine.

Un déficit d'exposition à la lumière solaire constitue un facteur de risque pour la carence en vitamine D et peut poser un problème chez les habitants des régions situées aux latitudes élevées dans l'hémisphère nord comme dans

l'hémisphère sud, où le rayonnement UV est faible pendant les mois d'hiver, ainsi que chez les femmes qui, pour des raisons culturelles, passent une grande partie de leur temps à l'intérieur ou portent des vêtements très couvrants. Dans de tels cas, l'enrichissement du lait et de la margarine en vitamine D s'est révélé une stratégie utile pour augmenter les apports, avec pour objectif un apport avoisinant 200 UI par jour dans l'alimentation totale.

## 6.5 Calcium

Par rapport aux autres micronutriments, le calcium est nécessaire en quantités relativement importantes. Ces dernières années, la prise de conscience de la nécessité d'augmenter les apports en calcium pour la prévention de l'ostéoporose a conduit à s'intéresser davantage à l'enrichissement des aliments en calcium.

### 6.5.1 Choix du composé d'enrichissement en calcium

Les sels de calcium qui conviennent pour l'enrichissement des aliments sont indiqués dans le **Tableau 6.2**. Les formes biodisponibles recommandées pour l'enrichissement des préparations en poudre pour nourrissons et des aliments complémentaires sont le carbonate (qui peut libérer du CO<sub>2</sub> en système acide), le chlorure, le citrate et le citrate-maléate, le gluconate, le glycérophosphate, le lactate, les phosphates mono-, di- et tribasique, l'orthophosphate, l'hydroxyde et l'oxyde (320). Tous ces sels sont soit blancs soit incolores. La plupart sont insipides sauf le citrate qui possède une saveur acide, l'hydroxyde qui est légèrement amer, et le chlorure et le lactate qui, aux fortes concentrations, peuvent avoir une saveur désagréable. Le coût du carbonate est très faible, en général inférieur à celui de la farine.

Comme la quantité journalière de calcium nécessaire est plusieurs milliers de fois supérieure à celle de la plupart des autres micronutriments, on ajoute souvent cet élément séparément (et non dans un prémélange). La teneur en calcium des sels disponibles dans le commerce est comprise entre 9 % (gluconate) et 71 % (oxyde) (**Tableau 6.2**). Les sels ayant une concentration plus faible en calcium devront être ajoutés en plus grandes quantités, un facteur qui peut influencer sur le choix du composé d'enrichissement.

Il n'y a guère de raisons de penser que la faible solubilité représente une contrainte majeure en ce qui concerne la biodisponibilité du composé d'enrichissement en calcium. En général, l'absorption du calcium ajouté est du même ordre que celle du calcium naturellement présent dans les aliments, qui se situe entre 10 et 30%. Toutefois, en quantité élevée, le calcium inhibe l'absorption du fer à partir des aliments et il faut en tenir compte lors du choix des doses d'enrichissement. L'adjonction concomitante d'acide ascorbique peut aider à éviter l'effet inhibiteur du calcium sur l'absorption du fer.

TABLEAU 6.2

**Composés utilisés pour l'enrichissement en calcium : propriétés physiques**

Composé	Teneur en calcium (%)	Couleur	Saveur	Odeur	Solubilité (mmol/l)
Carbonate	40	Incolore	Savon, citron	Inodore	0,153
Chlorure	36	Incolore	Salé, amer	–	6712
Sulfate	29	Variable	–	–	15,3
Hydroxyapatite	40	–	–	–	0,08
Phosphate dibasique	30	Blanc	Plâtreux, douceâtre	–	1,84
Phosphate monobasique	17	Incolore	Plâtreux, douceâtre	–	71,4
Phosphate tribasique	38	Blanc	Plâtreux, douceâtre	Inodore	0,064
Pyrophosphate	31	Incolore	–	–	Insoluble
Glycérophosphate	19	Blanc	Presque insipide	Inodore	95,2
Acétate	25	Incolore	–	–	2364
Lactate	13	Blanc	Neutre	Presque inodore	0,13
Citrate	24	Incolore	Acide, « propre »	Inodore	1,49
Citrate-maléate	23	Incolore	–	–	80,0
Gluconate	9	Blanc	Douceâtre	Inodore	73,6
Hydroxyde	54	Incolore	Légèrement amer	Inodore	25,0
Oxyde	71	Incolore	–	–	23,3

Source: d'après la référence 320.

### 6.5.2 Expérience de l'enrichissement en calcium

La farine de blé a été enrichie en calcium pour la première fois au Royaume-Uni en 1943, afin de restituer le calcium perdu lors du processus de mouture. Actuellement, il est obligatoire d'ajouter du carbonate de calcium à raison de 940–1560 mg par kg dans la farine blanche et la farine bise (mais non dans la farine complète) produite dans les minoteries du Royaume-Uni. Aux États-Unis d'Amérique, l'adjonction de calcium à la farine est facultative depuis le début des années 1940. Le sulfate, le carbonate, le chlorure, le phosphate, l'acétate et le lactate de calcium conviennent tous pour l'enrichissement de la farine blanche, mais l'oxyde et l'hydroxyde peuvent nécessiter un ajustement du pH de la pâte pour obtenir une bonne panification (321).

La gamme des aliments enrichis en calcium s'est régulièrement élargie au fil des ans, à mesure de la découverte de l'insuffisance des apports en cet élément dans de nombreuses populations. Les sels de calcium les plus solubles, comme le citrate-maléate et le gluconate, sont généralement utilisés pour enrichir les jus et autres boissons. Le phosphate tribasique de calcium, et parfois le carbonate et le lactate, sont utilisés pour enrichir le lait, auquel il faut aussi ajouter des gommes (par exemple carraghén, gomme de guar) pour empêcher le sel de

calcium de se déposer. Le yoghourt et le fromage blanc peuvent aussi être enrichis en calcium à l'aide de ces composés. Dans les pays industrialisés et dans certains pays d'Asie, où des boissons au soja sont commercialisées pour remplacer le lait de vache, elles doivent également être enrichies en calcium. Des stabilisants tels que l'hexamétaphosphate de sodium ou le citrate de potassium peuvent améliorer la qualité des boissons au soja enrichies en gluconate ou en lactogluconate de calcium.

L'adjonction de sels de calcium à certains aliments peut provoquer des modifications indésirables au niveau de la couleur, de la texture et de la stabilité en augmentant les liaisons croisées entre les protéines, les pectines et les gommes. Les composés d'enrichissement en calcium peuvent également donner une couleur plus foncée aux boissons chocolatées.

## 6.6 Sélénium

### 6.6.1 Choix du composé d'enrichissement en sélénium

Pour l'enrichissement des aliments, les sels de sodium sont en général considérés comme les plus appropriés en tant que source de sélénium. Le sélénite de sodium est un composé blanc, soluble dans l'eau, à partir duquel l'absorption du sélénium est de 50%. Il est facilement réduit par les agents réducteurs, comme l'acide ascorbique et le dioxyde de soufre, en sélénium élémentaire non absorbable. Le sélénate de sodium est incolore, moins soluble dans l'eau et plus stable que le sélénite, notamment en présence de cuivre et de fer. Il possède le meilleur taux d'absorption (près de 100% pour le composé d'enrichissement seul et 50–80% selon le véhicule alimentaire auquel il a été ajouté), et de plus il augmente plus efficacement l'activité de la glutathion peroxydase, une enzyme. Lors d'essais réalisés avec du lait en poudre pour nourrissons, une plus grande quantité de sélénium était absorbée à partir du sélénate (97% contre 73%), mais comme davantage de sélénium était excrété dans les urines avec le sélénate (36% contre 10%), la rétention nette du sélénium semble du même ordre quel que soit le composé utilisé (322). La rétention relative du sélénium à partir d'autres aliments enrichis, dont le sel, n'a pas été étudiée. Les formes organiques du sélénium, comme la sélénométhionine, sont aussi bien absorbées que le sélénate, mais elles restent plus longtemps dans l'organisme et comportent donc théoriquement un risque plus élevé de toxicité. C'est pourquoi elles sont peu utilisées pour l'enrichissement des aliments.

### 6.6.2 Expérience de l'enrichissement en sélénium de certains aliments

Dans les régions de Chine où la carence en sélénium est endémique, le sel est enrichi en sélénite de sodium (15 mg/kg) depuis 1983. Cette mesure a permis de faire passer les apports quotidiens moyens en sélénium de 11 µg à 80 µg

et a efficacement abaissé la prévalence du syndrome de Keshan (voir aussi section 4.8.3).

Le sélénate de sodium est actuellement utilisé pour enrichir divers types d'aliments dans différentes régions du monde. En Finlande, par exemple, on ajoute du sélénate de sodium dans les engrais utilisés dans les régions où le sol est pauvre en sélénium; des augmentations mesurables de la teneur en sélénium du lait, de la viande et des céréales obtenus sur ces sols ont été observées au bout de six mois (217). Le sélénate de sodium entre dans la composition de certaines boissons à l'usage des sportifs (environ 10 µg par litre), et est utilisé aux États-Unis d'Amérique pour enrichir les aliments pour bébés. Jusqu'en 1985, le pain apportait la moitié environ de l'apport en sélénium chez les habitants du Royaume-Uni, mais après 1985, lorsque le blé européen a été remplacé par du blé canadien, cette proportion est tombée aux environs de 20%.

## 6.7 Fluor

### 6.7.1 Choix du composé d'enrichissement en fluor

Il existe diverses méthodes qui permettent d'augmenter les apports en fluor: le fluor peut être introduit à la source dans les réseaux d'alimentation en eau ou ajouté aux dentifrices. Le composé fluoré le plus couramment utilisé pour la fluoration de l'eau à grande échelle est l'hexafluorosilicate, que l'on ajoute sous forme de solution aqueuse concentrée. La fluoration du sel et l'enrichissement du lait en fluor sont d'autres options qui ont été adoptées dans certaines régions du monde.

### 6.7.2 Expérience de la fluoration

L'introduction d'un programme de fluoration du sel à la Jamaïque a été associée à une diminution importante de la carie dentaire chez l'enfant, mesurée lors d'une évaluation réalisée au bout de 7 ans (323). Toutefois, un essai à plus petite échelle en Hongrie a indiqué que le fait d'avoir résidé pendant la petite enfance dans une région où le sel était fluoré n'était pas associé à une réduction du risque de carie plus tard dans la vie (324). Au Costa Rica, un programme national de fluoration du sel comportant l'adjonction de 225–275 mg de fluor par kg de sel a été rendu obligatoire en 1989. On a lors observé un recul progressif et très net de la carie dentaire et en 1999, au vu des mesures des taux urinaires d'excrétion du fluor, la teneur du sel en fluor a été abaissée à 175–225 mg/kg (325). Il se peut toutefois que d'autres sources de fluor (dentifrices) aient contribué à la diminution observée de la prévalence de la carie dentaire au Costa Rica.

Là où il n'est pas réalisable ni acceptable d'ajouter du fluor dans l'eau ou le sel, la fluoration du lait peut constituer une autre approche de prévention de la carie dentaire. D'une façon générale, le niveau de fluoration est alors dicté par les quantités habituelles de lait consommées par les enfants en bas âge. Des

directives pour la fluoration du lait et des produits laitiers ont été publiées ailleurs (326).

Une évaluation récente de la faisabilité de l'adjonction de fluor au lait distribué dans les écoles au Royaume-Uni a conclu qu'un tel enrichissement était à la fois réalisable et souhaitable (327). Lors d'un essai réalisé dans des zones rurales du Chili, des enfants d'âge préscolaire ont reçu pendant 4 ans du fluor à raison de 0,25–0,75 mg par jour dans du lait en poudre enrichi en cet élément. Le taux de dents cariées, absentes ou obturées a sensiblement diminué par comparaison avec une communauté témoin, et le pourcentage d'enfants n'ayant aucune carie a doublé (328). Des résultats favorables ont également été rapportés à Beijing chez des enfants ayant consommé 0,5 mg de fluor par jour dans le lait au jardin d'enfants et 0,6 mg à domicile pendant les week-ends (329). De même, en Écosse, chez des enfants d'âge scolaire qui avaient consommé 1,5 mg de fluor par jour dans 200 ml de lait, la prévalence de la carie dentaire était significativement plus faible que chez les enfants d'un groupe témoin au bout de 5 ans (330). Toutefois, ces résultats n'ont pas été retrouvés lors d'une étude plus récente réalisée dans une autre région du Royaume-Uni (331).



## **PARTIE IV**

Mise en œuvre de  
programmes efficaces et  
durables d'enrichissement  
des aliments



# Introduction

Comme on l'a vu dans les chapitres qui précèdent, l'enrichissement des aliments en micronutriments est une pratique qui a fait ses preuves depuis longtemps. Des succès remarquables ont été obtenus dans le cas de l'iodation du sel, de l'enrichissement de la farine en diverses vitamines du groupe B et de l'enrichissement de la margarine en vitamine A. Il serait pourtant quelque peu exagéré de dire que ces succès ont été le résultat d'évaluations formelles, reposant sur des bases scientifiques rigoureuses, du statut et des besoins nutritionnels des populations cibles. Dans de nombreux cas, les décisions quant à la quantité de composé d'enrichissement à ajouter à un véhicule alimentaire choisi reposaient sur ce que l'on savait techniquement possible à l'époque et étaient guidées par les contraintes budgétaires.

Afin de donner à la planification des programmes d'enrichissement des aliments (selon les pays, aussi appelés programmes de fortification alimentaire) une assise plus solide, la présente section des Directives décrit une approche méthodologique de la conception et de la planification d'un programme d'enrichissement. Les éléments clés de cette approche sont les suivants :

- définition et fixation des objectifs nutritionnels (c'est-à-dire donner un cadre aux décisions sur les quantités de micronutriments à ajouter à des aliments déterminés) ;
- surveillance et évaluation du programme (c'est-à-dire établir des procédures pour vérifier que les aliments enrichis contiennent la quantité prévue de micronutriment(s) et qu'ils sont consommés en quantités suffisantes par la population cible) ;
- communication et promotion des programmes d'enrichissement alimentaire (c'est-à-dire informer la population cible quant aux bénéfices de l'enrichissement des aliments de façon telle que ses membres choisissent de consommer les aliments enrichis).

Pour pouvoir corriger une carence en micronutriments dans une population, ce qui est l'objectif principal de tout programme d'enrichissement des aliments, il est nécessaire d'évaluer en premier lieu l'étendue de cette carence puis de déterminer de quelle quantité les apports doivent être augmentés de façon à

couvrir les besoins quotidiens pour le micronutriment considéré. Le Chapitre 7 explique comment appliquer la méthode du seuil des besoins moyens estimés (BME) au problème du calcul des quantités de micronutriments qu'il est nécessaire d'ajouter aux aliments pour abaisser à un niveau acceptable la prévalence des faibles apports parmi la population cible. Cette méthode est celle qui est recommandée par l'OMS et elle est applicable à tous les micronutriments couverts par les présentes Directives à l'exception du fer, pour lequel une autre méthodologie est décrite. Les besoins en matière d'information pour ces calculs, notamment en ce qui concerne les données sur la distribution des apports en aliments et en éléments nutritifs, sont également examinés. Une fois défini le niveau idéal d'adjonction de micronutriment nécessaire pour atteindre un objectif nutritionnel donné, il est conseillé aux planificateurs des programmes d'examiner si ce niveau d'enrichissement est réalisable compte tenu des technologies disponibles et de toutes contraintes d'innocuité ou de coût qui pourraient exister, ou si d'autres mesures, par exemple une supplémentation, pourraient constituer un meilleur moyen d'atteindre les objectifs nutritionnels, au moins pour certains sous-groupes de population. Les limites inhérentes à la technologie, à l'innocuité et au coût sont définies et une série d'exemples sont donnés pour montrer comment tous ces facteurs peuvent être pris en compte dans la décision finale quant aux niveaux d'enrichissement en micronutriments appropriés dans une situation donnée.

L'objectif principal des activités de surveillance et d'évaluation consiste à vérifier si, une fois mis en œuvre, un programme d'enrichissement des aliments atteint ou non ses objectifs nutritionnels. Ces activités sont déterminantes pour la réussite de tout programme d'enrichissement alimentaire et doivent être considérées comme faisant partie intégrante de la planification générale du programme. Les activités de surveillance et d'évaluation se situent à plusieurs niveaux. La surveillance a pour principal objectif de suivre la performance opérationnelle (c'est-à-dire l'efficacité pratique de la mise en œuvre) du programme. Ce n'est qu'après que la surveillance a démontré qu'un produit enrichi de la qualité souhaitable est disponible et accessible à la population cible en quantité suffisante que l'on peut évaluer l'impact de l'intervention. Actuellement, assez peu de programmes d'enrichissement des aliments ont été correctement évalués, ce qui est dû en partie au fait que l'évaluation d'impact est en général perçue comme une tâche complexe et coûteuse. Les méthodologies décrites dans le Chapitre 8 visent à démystifier le processus d'évaluation de l'impact des programmes. Le Chapitre 9 examine l'intérêt potentiel de l'application – qui n'est est qu'à ses tout débuts – des techniques d'analyse de coût-efficacité et de coût-bénéfice aux interventions d'enrichissement des aliments. Les exemples donnés démontrent clairement que l'enrichissement des aliments peut apporter dans de nombreux contextes une solution de très bon rapport coût-efficacité au problème de la malnutrition par carence en micronutriments.

Pour assurer que les aliments enrichis sont consommés en quantités suffisantes par ceux qui en ont le plus besoin, tous les programmes d'enrichissement des aliments auront besoin d'être soutenus par des activités d'éducation et de marketing social judicieusement dosées. Comme la surveillance et l'évaluation, ce troisième élément clé devra être envisagé dès le stade de la conception et de la planification du programme. Le Chapitre 10 expose les besoins en matière de communication de toutes les parties impliquées dans le fonctionnement du programme, qui ne se limitent pas aux consommateurs, et indique comment faire passer les messages pour répondre au mieux à ces besoins. Il est également indispensable de connaître le cadre réglementaire dans lequel se situera le programme, et c'est pourquoi les présentes Directives s'achèvent sur un aperçu des mécanismes de réglementation de l'enrichissement des aliments par le biais de la législation sur les denrées alimentaires. Lorsqu'il y a lieu, il est fait référence au contexte international.

## CHAPITRE 7

# Définition et fixation des objectifs du programme

### 7.1 Besoins en matière d'information

Pour être en mesure de concevoir un programme d'enrichissement des aliments qui atteigne ses objectifs nutritionnels, il est nécessaire de rassembler au départ certaines données générales et nutritionnelles, en particulier :

- des données biochimiques et chimiques sur l'état nutritionnel (c'est-à-dire des données sur l'ampleur et la gravité des carences spécifiques en éléments nutritifs dans différents groupes de population ; voir Partie II) ;
- des données sur les habitudes alimentaires (c'est-à-dire sur la composition du régime alimentaire habituel) ;
- des informations détaillées sur les apports alimentaires en micronutriments spécifiques (c'est-à-dire sur la distribution des apports habituels en ces micronutriments dans une population).

Ces informations sont indispensables pour confirmer, preuves à l'appui, la nécessité d'un programme d'enrichissement en micronutriments. Une fois établie la nécessité d'une intervention, ces mêmes informations et données peuvent être utilisées pour identifier et classer par ordre de priorité les groupes de population cibles, décider quels micronutriments et en quelles quantités seront ajoutés à quels aliments, et identifier et analyser toutes contraintes (par exemple dues à des considérations d'innocuité, de coût ou de technologie) qui peuvent avoir des conséquences sur les quantités de micronutriments qui peuvent être ajoutées dans des aliments déterminés. Les besoins plus spécifiques sont examinés en détail dans les sections qui suivent, tandis que les questions d'ordre plus général, mais tout aussi importantes au stade de la planification des programmes d'enrichissement alimentaire, sont résumées dans l'**Encadré 7.1**.

#### 7.1.1 Données biochimiques et cliniques attestant l'existence de carences spécifiques en micronutriments

La Partie II des présentes Directives décrit la façon dont il est possible de classer la gravité d'un problème de santé publique dû à des carences en certains micronutriments en se servant de divers indicateurs et critères biochimiques et

**ENCADRÉ 7.1****Planification et élaboration d'un programme d'enrichissement des aliments: préliminaires**

- La décision de mettre en œuvre un programme d'enrichissement en micronutriments exige que l'on dispose de preuves dûment étayées que la teneur de l'alimentation en micronutriments est insuffisante ou que l'enrichissement des aliments apportera un bénéfice sur le plan de la santé. L'objectif est d'abaisser la prévalence des carences en micronutriments dans la population et d'optimiser la santé.
- Dans certaines situations, un apport insuffisant en micronutriments ne constitue pas le seul facteur de risque de carence. D'autres facteurs peuvent jouer un rôle non négligeable notamment, par exemple, la présence d'infections et de parasitoses (qui peuvent aussi, entre autres, contribuer à une prévalence élevée de l'anémie). Dans de tels cas, il importe de déterminer si l'enrichissement des aliments est une stratégie d'un bon rapport coût-efficacité par rapport à d'autres interventions (par exemple la lutte contre les maladies infectieuses et parasitaires).
- La nécessité d'un programme d'enrichissement des aliments en micronutriments doit toujours être envisagée dans le cadre plus large de l'ensemble des options possibles de lutte contre les carences en micronutriments. Il se peut que, globalement, plusieurs interventions combinées (enrichissement alimentaire plus d'autres interventions) offrent le meilleur rapport coût-efficacité. Par exemple, la combinaison d'une supplémentation et d'un enrichissement des aliments pourrait être un meilleur moyen que l'enrichissement seul pour assurer que des groupes de population particuliers (par exemple les femmes enceintes et les enfants en bas âge, qui sont souvent les groupes les plus vulnérables) sont protégés contre les carences en micronutriments.
- Les autorités sanitaires qui envisagent de mettre en place un programme d'enrichissement des aliments ne doivent pas le faire avant d'avoir d'abord rassemblé des données sur les apports alimentaires complétées par d'autres informations telles que des données biochimiques sur l'état nutritionnel. Ces informations sont indispensables pour justifier le programme, pour décider en connaissance de cause des types et des quantités de micronutriments à ajouter aux aliments, et pour savoir quels aliments constitueraient des véhicules appropriés pour l'enrichissement. Étant donné l'effort et l'investissement de longue durée nécessaires pour mettre en œuvre et entretenir un programme d'enrichissement alimentaire, et la nécessité d'assurer que le résultat d'un tel programme sera l'obtention d'apports alimentaires suffisants sans être excessifs, il est indispensable de réaliser cet investissement initial dans la collecte de données appropriées. On fera appel à des nutritionnistes qualifiés lors de la planification détaillée du programme et aux stades ultérieurs de la surveillance et de l'évaluation, destinés à déterminer quelle a été l'influence du programme sur les apports en micronutriments et l'état nutritionnel des groupes cibles.

cliniques. Lorsque les données cliniques ou biochimiques indiquent une prévalence élevée de la carence en un micronutriment spécifique, on considère habituellement cette situation comme la preuve que le régime alimentaire n'apporte pas une quantité suffisante du micronutriment en question et qu'un enrichissement est justifié. Plus la carence est sévère et répandue, plus une intervention est nécessaire.

En ce qui concerne l'obtention d'informations fiables sur le statut en micronutriments au niveau de la population, les données biochimiques et cliniques ont cependant des limites. Tout d'abord, les ressources disponibles ne permettent en général de tester ou d'observer qu'un nombre relativement réduit de sujets, et les sujets composant l'échantillon ne sont pas toujours représentatifs de tous les sous-groupes de population pertinents. Ensuite, certaines données biochimiques sont difficiles à interpréter car il existe des facteurs de confusion tels que la présence de maladies infectieuses ou parasitaires ou les interactions entre les différentes carences en micronutriments (voir les **Tableaux 3.1, 3.4, 3.6, 4.1, 4.3–4.5, 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, 4.13–4.16**). Les indicateurs biochimiques du statut en fer sont particulièrement sujets à de tels problèmes (**Tableau 3.1**). Il est particulièrement important de reconnaître les situations où des facteurs non alimentaires, par exemple des parasitoses, peuvent être une cause majeure de carences en micronutriments ; cela se traduira par une plus grande prévalence et des carences plus sévères que ce qu'on pourrait attendre au vu des données nutritionnelles. Dans ces conditions, d'autres mesures de santé publique peuvent être nécessaires, en plus de l'enrichissement des aliments, pour réduire la charge de la malnutrition par carence en micronutriments.

Un autre inconvénient réside dans le manque de données, soit du fait de l'absence d'un biomarqueur approprié soit simplement parce qu'à l'heure actuelle peu d'investigations ont été réalisées. Il s'ensuit que la prévalence de nombreuses carences supposées relativement courantes (par exemple en riboflavine (vitamine B2), en vitamine B12, en zinc et en calcium) est mal connue (**Tableau 1.2**). Il arrive toutefois que dans certains cas, les preuves de l'existence d'une carence en un micronutriment soient des indices de l'existence de carences en d'autres micronutriments. Par exemple, une forte prévalence de l'anémie et de la carence en vitamine A s'accompagne souvent de carences en zinc, en vitamine B12 et en riboflavine (vitamine B2), car dans tous les cas le problème sous-jacent est un apport insuffisant d'aliments d'origine animale (voir Chapitre 4).

### 7.1.2 Modes de consommation alimentaire

L'information sur les aliments habituellement consommés peut compléter utilement les preuves biochimiques et cliniques de l'existence d'une carence en micronutriments et peut, en l'absence de telles données, aider à déterminer quels micronutriments risquent le plus de faire défaut dans l'alimentation. Par exemple,

les aliments d'origine animale sont la source principale de vitamines A et D, de thiamine (vitamine B1), de riboflavine (vitamine B2), de fer, de zinc et de calcium, et sont la *seule* source de vitamine B12. Ils apportent également une quantité importante de matières grasses, dont la présence dans l'alimentation améliore l'absorption des vitamines liposolubles. Les populations qui consomment peu d'aliments d'origine animale risquent par conséquent de présenter des carences en certains de ces micronutriments, voire en tous.

Il est fréquent que la consommation d'aliments d'origine animale soit faible dans les populations défavorisées; parfois ces aliments sont évités pour des raisons religieuses ou autres. Un autre problème très répandu, surtout parmi les réfugiés et les personnes déplacées, est la consommation insuffisante de fruits et légumes avec comme conséquence des apports faibles en vitamine C (acide ascorbique) et en folates. Dans les régions où la teneur de l'alimentation en phytates ou en polyphénols est élevée, le risque de carence en fer et en zinc est augmenté car la biodisponibilité de ces deux éléments est réduite en présence de ces composés.

Au niveau de la population, des fiches de bilan nutritionnel, comme celles qui sont produites par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), peuvent donner des informations utiles sur les habitudes alimentaires et sur la consommation moyenne de certains aliments riches en micronutriments ou en inhibiteurs de l'absorption des micronutriments, informations qui peuvent à leur tour servir à prévoir quelles seront les carences probables. Ces informations, qui indiquent la consommation moyenne dans la population générale, ont toutefois pour principal inconvénient de ne pas refléter la distribution des apports nutritionnels au niveau des sous-groupes de population.

### 7.1.3 Apports alimentaires habituels

Comme elles constituent la base des décisions quant à la nature des micronutriments à ajouter à quels aliments et en quelles quantités, l'obtention de données quantitatives sur la consommation d'aliments et les apports d'éléments nutritifs est un préalable indispensable à tout programme d'enrichissement des aliments. Les données sur les apports alimentaires sont également nécessaires pour établir des prévisions quant à l'impact probable des interventions potentielles d'enrichissement en micronutriments. Toutes ces informations devront être disponibles, ou obtenues, pour différents groupes de population (différant par exemple par leur situation socio-économique, leur appartenance ethnique ou leurs croyances religieuses) et pour différents groupes selon l'état physiologique (par exemple enfants, femmes).

En fait, il existe habituellement une grande diversité d'apports alimentaires et nutritionnels au sein d'un même sous-groupe de population. Comme on le verra plus en détail dans la suite de ce chapitre, c'est la diversité ou la distribution des

apports habituels qui présente le plus d'intérêt et qui sert de base pour la planification et l'évaluation des interventions d'enrichissement des aliments (voir sections 7.2 et 7.3).

## 7.2 Définition des objectifs nutritionnels : notions de base

Le principal objectif d'un programme d'enrichissement des aliments en micronutriments (selon les pays, aussi appelé programme de fortification alimentaire) est de corriger les apports insuffisants en micronutriments par l'enrichissement des aliments, avec pour résultat de prévenir les carences en micronutriments ou d'en réduire la gravité et la prévalence. Les interventions de cette nature peuvent consister en l'enrichissement d'un seul type d'aliment (par exemple l'iodation du sel) ou de plusieurs aliments.

En pratique, les programmes d'enrichissement des aliments sont conçus de façon à assurer un niveau d'enrichissement tel que, une fois le programme en place, la probabilité d'un apport inadéquat en éléments nutritifs – insuffisant ou excessif – dans une population donnée soit acceptablement faible.

L'objectif nutritionnel de l'enrichissement des aliments est défini dans les présentes Directives comme suit : assurer à la plupart (97,5 %) des membres du ou des groupes de population les plus exposés au risque de carence un apport adéquat en micronutriments spécifiques, sans créer un risque d'apport excessif dans ces groupes ou dans d'autres.

### 7.2.1 La méthode du seuil des besoins moyens estimés

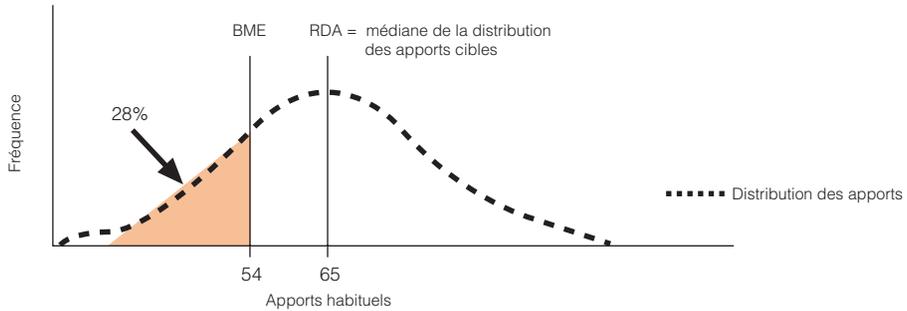
L'approche recommandée dans les présentes Directives OMS pour établir les niveaux de composés d'enrichissement en micronutriments dans les aliments est la méthode du seuil des besoins moyens estimés (*EAR cut-point method*).<sup>1</sup> Cette approche a été proposée il y a quelques années et elle est décrite en détail dans un rapport de l'United States Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine (FNB/IOM) sur les apports nutritionnels de référence (333).

Au départ, la méthode du seuil des BME suppose que la proportion d'une population ayant des apports inférieurs aux BME pour un élément nutritif donné correspond à la proportion ayant un apport insuffisant en cet élément nutritif (voir **Figure 7.1**). Dans l'approche du seuil des BME, on commence

<sup>1</sup> La valeur des besoins moyens estimés (BME, EAR en anglais – *Estimated Average Requirement*) en un micronutriment est définie comme l'apport quotidien moyen estimé couvrir les besoins de la moitié des individus en bonne santé appartenant à un sous-groupe d'âge, de sexe et d'état physiologique (332).

FIGURE 7.1

**Exemple de distribution des apports habituels dans laquelle l'apport médian se situe à la valeur de l'apport nutritionnel recommandé (RNI ou RDA) (approche anciennement adoptée)**



Source: d'après la référence 333, avec l'autorisation de l'United States National Academy Press.

par définir la prévalence acceptable des apports insuffisants (et excessifs) (en général on opte pour une valeur de 2 à 3 % pour les raisons expliquées plus en détail dans la section 7.3.1). Puis, en combinant les informations sur la fourchette des apports habituels dans un sous-groupe de population avec les informations sur les besoins en micronutriments pour ce sous-groupe (c'est-à-dire les BME), il est possible de définir un niveau d'enrichissement qui modifiera la distribution des apports pour que les apports habituels en éléments nutritifs couvrent les besoins de tous les membres du sous-groupe à l'exception d'une faible proportion, qui sera spécifiée. En d'autres termes, cette méthode permet à ses utilisateurs de savoir quel serait l'apport additionnel de micronutriments qui déplacerait la distribution des apports vers le haut de façon que seule une petite proportion du groupe de population considéré se trouve à risque d'apport inadéquat. Ici, le terme « sous-groupe » se rapporte à divers groupes de populations définis par l'âge, le sexe ou l'état physiologique (par exemple, femmes enceintes ou allaitantes). La méthodologie du seuil des BME est décrite plus en détail dans la section 7.3 et est illustrée par un exemple.

La méthode du seuil des BME est une version simplifiée, et plus facile à utiliser, de la méthode des probabilités, qui suppose de calculer la probabilité d'apport inadéquat pour chaque individu faisant partie d'un sous-groupe de population, de faire la moyenne des probabilités puis d'utiliser cette moyenne comme estimation de la prévalence des apports inadéquats (333). Ces deux approches, la méthode du seuil des BME et la méthode des probabilités, donnent des résultats similaires tant que les hypothèses de départ sont respectées. Pour la méthode des probabilités, il ne doit pas y avoir de corrélation, ou seulement une corrélation très faible, entre les apports et les besoins, ce qui est supposé

vrai pour tous les éléments nutritifs à l'exception de l'apport énergétique. En ce qui concerne la méthode du seuil des BME, la variation des apports en un élément nutritif au sein d'un groupe de population doit être plus grande que la variation des besoins en cet élément nutritif (ce qui est également supposé vrai pour la plupart des éléments nutritifs et la plupart des groupes), et la distribution des besoins doit être symétrique (ce que l'on suppose vrai pour tous les éléments nutritifs à l'exception du fer). Ainsi, pour la plupart des applications et des éléments nutritifs, les deux méthodes conviennent, sauf pour le fer pour lequel seule la méthode des probabilités est applicable (voir section 7.3.3.1).

L'approche du seuil des BME diffère de la pratique adoptée dans le passé et qui consistait à utiliser l'apport nutritionnel recommandé (RNI ou RDA) en un élément nutritif donné en tant qu'apport souhaitable ou « cible ». Pour des raisons qui seront expliquées plus en détail dans les sections suivantes, cette dernière approche est valable pour déterminer l'apport nutritionnel souhaitable pour un individu, mais non pour une population.

## 7.2.2 Valeurs nutritionnelles de référence: besoins moyens estimés, apports nutritionnels recommandés et limites supérieures d'apport

### 7.2.2.1 Apports nutritionnels recommandés

Des normes nutritionnelles pour les divers micronutriments, qui ont pour but de réduire le risque de déficit ou d'excès d'apports d'éléments nutritifs, ont été spécifiées par divers organismes nationaux et internationaux, dont la FAO et l'OMS. L'apport nutritionnel recommandé (RNI) est défini par la FAO/OMS comme l'apport alimentaire journalier qui suffit pour couvrir les besoins nutritionnels de la grande majorité (97–98%) des individus en bonne santé appartenant à un groupe déterminé d'âge, de sexe et d'état physiologique (93). Pour la plupart des éléments nutritifs, le RNI est fixé à environ 2 écarts types au-dessus de la quantité moyenne nécessaire pour un groupe de population (c'est-à-dire le BME), de façon que les besoins de presque tous les membres du groupe soient couverts. L'écart type (ou le coefficient de variation)<sup>1</sup> sur le besoin en chaque élément nutritif varie selon l'âge, le sexe et l'état physiologique mais pour la plupart des éléments nutritifs et des sous-groupes il se situe entre 10 et 20%.

Le **Tableau 7.1** donne la liste des valeurs publiées par la FAO/OMS pour tous les micronutriments couverts par les présentes Directives et pour divers groupes d'âge et de sexe (93). Ces valeurs sont dans l'ensemble similaires aux valeurs nutritionnelles de référence définies par d'autres organismes nationaux

<sup>1</sup> Le coefficient de variation est égal à l'écart type divisé par la moyenne et est exprimé en pourcentage.

TABLEAU 7.1

**Apports nutritionnels recommandés (RNI) établis par la FAO/OMS pour divers sous-groupes de population**

Élément nutritif (unité)	Enfants 1–3 ans	Enfants 4–6 ans	Femmes 19–50 ans	Femmes enceintes, deuxième trimestre	Femmes allaitantes, 0–3 mois	Hommes 19–50 ans
Vitamine A (µg RE) <sup>a</sup>	400	450	500	800	850	600
Vitamine D (µg) <sup>b</sup>	5	5	5	5	5	5
Vitamine E (mg D-tocophérol)	5,0	5,0	7,5	7,5	7,5	10,0
Vitamine C (mg)	30	30	45	55	70	45
Thiamine (vitamine B1) (mg)	0,5	0,6	1,1	1,4	1,5	1,2
Riboflavine (vitamine B2) (mg)	0,5	0,6	1,1	1,4	1,6	1,3
Niacine (vitamine B3) (mg NE)	6	8	14	18	17	16
Vitamine B6 (mg)	0,5	0,6	1,3	1,9	2,0	1,3
Folates (µg DFE) <sup>c</sup>	150	200	400	600	500	400
Vitamine B12 (µg)	0,9	1,2	2,4	2,6	2,8	2,4
Fer (mg) <sup>d</sup>						
■ Biodisponibilité 15%	3,9	4,2	19,6	>50,0	10,0	9,1
■ Biodisponibilité 10%	5,8	6,3	29,4	>50,0	15,0	13,7
■ Biodisponibilité 5%	11,6	12,6	58,8	>50,0	30,0	27,4
Zinc (mg) <sup>e</sup>						
■ Biodisponibilité élevée	2,4	2,9	3,0	4,2	5,8	4,2
■ Biodisponibilité moyenne	>4,1	4,8	4,9	7,0	9,5	7,0
■ Biodisponibilité faible	>8,3	9,6	9,8	14,0	19,0	14,0
Calcium (mg)	500	600	1000	1000	1000	1000
Sélénium (µg)	17	22	26	28	35	34
Iode (µg)	90	90	150	200	200	150

<sup>a</sup> 1 RE = 1 µg de rétinol = 12 µg de β-carotène ou 24 µg d'autres caroténoïdes provitaminiques A. Dans l'huile, le facteur de conversion vitamine A (rétinol) : β-carotène est de 1 : 2. Le facteur de conversion correspondant pour le β-carotène de synthèse est incertain, mais on considère généralement qu'un facteur de 1 : 6 est raisonnable. 1 µg RE = 0,004 3,33 UI de vitamine A.

<sup>b</sup> En l'absence d'une exposition adéquate à la lumière solaire, RNI exprimé en quantité de calciférol (1 µg de calciférol = 40 UI de vitamine D).

<sup>c</sup> 1 DFE = équivalent folate alimentaire = 1 µg de folate alimentaire = 0,6 µg d'acide folique provenant des aliments enrichis, ce qui signifie que 1 µg d'acide folique = 1,7 DFE.

<sup>d</sup> Le RNI dépend de la composition du régime alimentaire. Pour un régime riche en vitamine C et en protéines animales, la biodisponibilité du fer est de 15% ; pour les régimes riches en céréales mais contenant des sources de vitamine C, elle est de 10%, et pour les régimes pauvres en vitamine C et en protéines animales, elle descend à 5%.

<sup>e</sup> Le RNI dépend de la composition du régime alimentaire. La biodisponibilité du zinc est élevée pour les régimes riches en protéines animales, moyenne pour les régimes riches en légumineuses ou les régimes qui contiennent des céréales fermentées, et faible pour les régimes pauvres en protéines animales ou en aliments d'origine végétale riches en zinc.

Source : référence 93, qui donne aussi des valeurs pour d'autres groupes d'âge et de sexe.

**ENCADRÉ 7.2****Les apports nutritionnels recommandés (RNI) de la FAO/OMS: comparaison avec les valeurs nutritionnelles de référence définies par d'autres organismes****1. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine (FNB/IOM), États-Unis d'Amérique**

L'apport nutritionnel recommandé (RNI – *Recommended Nutrient Intake*) de la FAO/OMS est par son principe équivalent au RDA (*Recommended Dietary Allowance*), l'une des quatre valeurs d'apports alimentaires de référence utilisées au Canada et aux États-Unis d'Amérique. Les trois autres valeurs sont l'*Estimated Average Requirement* (EAR), l'*Adequate Intake* (AI) et le *Tolerable Upper Level* (UL).<sup>1</sup>

**2. Department of Health, Royaume-Uni**

L'apport nutritionnel recommandé (RNI – *Recommended Nutrient Intake*) de la FAO/OMS est dans son principe équivalent au *Reference Nutrient Intake* (RNA), l'une des quatre valeurs d'apports alimentaires de référence utilisées au Royaume-Uni (334). Les trois autres valeurs sont l'*Estimated Average Requirement*, le *Lower Reference Nutrient Intake* (notion unique au Royaume-Uni) et le *Safe Intake*, par son principe similaire à l'*Adequate Intake* défini par le FNB/OIM des États-Unis d'Amérique.

**3. Comité scientifique de l'alimentation humaine, Commission européenne**

La Commission européenne utilise actuellement trois valeurs nutritionnelles de référence: le *Population Requirement Intake* ou apport de référence pour la population (PRI), par son principe équivalent au RNI de la FAO/OMS, l'*Average Requirement* ou besoin moyen (AR) et le *Lower Threshold Intake* ou seuil d'apport minimal (LTI) (335).

et internationaux. Les diverses valeurs nutritionnelles de référence d'usage courant et leurs équivalents sont indiquées dans l'Encadré 7.2.

Pour la plupart des micronutriments, les apports recommandés les plus élevés concernent les adultes de sexe masculin, à l'exception notable du fer. Néanmoins, ce sous-groupe de population a en général le plus faible risque de carence en micronutriments du fait de sa consommation alimentaire plus importante et de ses besoins plus faibles en micronutriments par unité de poids corporel. Les individus les plus exposés au risque d'apports inférieurs au RNI sont les nourrissons, les enfants en bas âge et les femmes en âge de procréer, en particulier les femmes enceintes et allaitantes. Certains de ces groupes (femmes enceintes ou allaitantes notamment) peuvent même avoir des besoins plus élevés en certains micronutriments que les hommes adultes.

<sup>1</sup> Pour de plus amples informations sur les travaux et les publications du Food and Nutrition Board, consulter le site Internet de The National Academies Press (<http://www.nap.edu>).

### 7.2.2.2 Calcul des besoins moyens estimés à partir des apports nutritionnels recommandés

Bien qu'ils constituent la base de la plupart des RNI (habituellement fixés à 2 écarts types au-dessus des BME correspondants pour un sous-groupe de population donné), la FAO et l'OMS ne publient pas systématiquement les valeurs des BME. Cependant, les RNI publiés par ces deux organisations, ou les recommandations équivalentes formulées par d'autres pays ou régions, peuvent être facilement convertis en BME au moyen de facteurs de conversion appropriés. Les facteurs de conversion, présentés dans l'**Annexe C** pour les micronutriments couverts par les présentes Directives, reviennent en fait à soustraire 2 écarts types du RNI. Par exemple, l'écart type sur le besoin en vitamine A chez les enfants de 1 à 3 ans est de 20%; en divisant le RNI correspondant (400 µg de rétinol) par 1,4 ( $1 + (2 \times 0,2)$ ), on obtient un BME de 286 µg de rétinol. Les BME correspondant aux RNI donnés dans le **Tableau 7.1**, calculés de cette façon, sont donnés dans le **Tableau 7.2**.

### 7.2.2.3 Limites supérieures d'apport

La valeur de référence la plus appropriée pour déterminer si les apports en micronutriments dans un sous-groupe de population sont sans danger, c'est-à-dire qu'ils n'atteignent pas un niveau auquel il y aurait un risque d'apport excessif, est l'apport maximal tolérable (UL, *Tolerable Upper Intake Level*). Cette limite est l'apport moyen le plus élevé qui ne comporte pas de risque d'effets indésirables sur la santé pour pratiquement tous les individus d'une population. Le risque d'effets indésirables augmente lorsque les apports sont supérieurs à cette valeur. Les risques associés aux apports excessifs sont décrits en détail par la FAO/OMS (93) et par le FNB/IOM des États-Unis d'Amérique (332, 333).

Comme les BME et les RNI, les UL varient selon l'âge et le sexe mais tendent à être plus faibles pour les jeunes enfants et les femmes enceintes. Les limites supérieures d'apport pour divers micronutriments sont indiquées dans le **Tableau 7.3**. En ce qui concerne les micronutriments pour lesquels la FAO/OMS n'a pas recommandé de limites (fer, acide folique, fluor et iode), les valeurs données dans le tableau s'appuient sur les recommandations du FNB/IOM des États-Unis d'Amérique ou du Comité scientifique de l'alimentation humaine de la Commission européenne.

## 7.3 Utilisation de la méthode du seuil des BME pour fixer les objectifs et évaluer l'impact et l'innocuité de l'enrichissement des aliments en micronutriments

Dans la réalité, les apports en un élément nutritif donné sont habituellement très variables au sein d'un sous-groupe de population. La fourchette des apports habituels doit être mesurée et utilisée comme base pour la planification et

TABLEAU 7.2

**Besoins moyens estimés (valeurs calculées) basés sur les apports nutritionnels recommandés (RNI) de la FAO/OMS**

Élément nutritif (unité)	Enfants 1-3 ans	Enfants 4-6 ans	Femmes 19-50 ans	Femmes enceintes, deuxième trimestre	Femmes allaitantes, 0-3 mois	Hommes 19-50 ans
Vitamine A (µg RE) <sup>a</sup>	286	321	357	571	607	429
Vitamine D (µg) <sup>b</sup>	5	5	5	5	5	5
Vitamine E (mg α-tocophérol)	4	4	6	6	6	8
Vitamine C (mg)	25	25	37	46	58	37
Thiamine (vitamine B1) (mg)	0,4	0,5	0,9	1,2	1,3	1,0
Riboflavine (vitamine B2) (mg)	0,4	0,5	0,9	1,2	1,3	1,1
Niacine (vitamine B3) (mg NE)	5	6	11	14	13	12
Vitamine B6 (mg)	0,4	0,5	1,1	1,6	1,7	1,1
Folates (µg DFE) <sup>c</sup>	120	160	320	480	400	320
Vitamine B12 (µg)	0,7	1,0	2,0	2,2	2,3	2,0
Fer (mg) <sup>d</sup>						
■ Biodisponibilité 15 %	3,9 <sup>e</sup>	4,2 <sup>e</sup>	19,6 <sup>e</sup>	>40,0	7,8	7,2
■ Biodisponibilité 10 %	5,8 <sup>e</sup>	6,3 <sup>e</sup>	29,4 <sup>e</sup>	>40,0	11,7	10,8
■ Biodisponibilité 5 %	11,6 <sup>e</sup>	12,6 <sup>e</sup>	58,8 <sup>e</sup>	>40,0	23,4	21,6
Zinc (mg) <sup>f</sup>						
■ Biodisponibilité élevée	2,0	2,4	2,5	3,5	4,8	3,5
■ Biodisponibilité moyenne	3,4	4,0	4,1	5,8	7,9	5,8
■ Biodisponibilité faible	6,9	8,0	8,2	11,7	15,8	11,7
Calcium (mg)	417	500	833	833	833	833
Sélénium (µg)	14	17	22	23	29	28
Iode (µg)	64	64	107	143	143	107

<sup>a</sup> 1 RE = 1 µg de rétinol = 12 µg de β-carotène ou 24 µg d'autres caroténoïdes provitaminiques A. Dans l'huile, le facteur de conversion vitamine A (rétinol) : β-carotène est de 1:2. Le facteur de conversion correspondant pour le β-carotène de synthèse est incertain, mais on considère généralement qu'un facteur de 1 : 6 est raisonnable. 1 µg RE = 3,33 UI de vitamine A.

<sup>b</sup> En l'absence d'une exposition adéquate à la lumière solaire, BME exprimé en quantité de calciférol (1 µg de calciférol = 40 UI de vitamine D).

<sup>c</sup> 1 DFE = équivalent folate alimentaire = 1 µg de folate alimentaire = 0,6 µg d'acide folique provenant des aliments enrichis, ce qui signifie que 1 µg d'acide folique = 1,7 DFE.

<sup>d</sup> Le RNI et donc les BME calculés dépendent de la composition du régime alimentaire. Pour un régime riche en vitamine C et en protéines animales, la biodisponibilité du fer est de 15%; pour les régimes riches en céréales mais contenant des sources de vitamine C, elle est de 10%, et pour les régimes pauvres en vitamine C et en protéines animales, elle descend à 5%.

<sup>e</sup> Les BME ne peuvent pas être calculés à partir des RNI pour ces groupes d'âge en raison de l'asymétrie marquée de la distribution des besoins en fer du fait des jeunes enfants et des femmes réglées. Pour ces groupes, le tableau indique les RNI au lieu des BME.

<sup>f</sup> Le RNI et donc les BME calculés dépendent de la composition du régime alimentaire. La biodisponibilité du zinc est élevée pour les régimes riches en protéines animales, moyenne pour les régimes riches en légumineuses ou les régimes qui contiennent des céréales fermentées, et faible pour les régimes pauvres en protéines animales ou en aliments d'origine végétale riches en zinc.

Source : valeurs calculées à partir des RNI de la FAO/OMS, en utilisant les facteurs de conversion indiqués dans l'**Annexe C** des présentes Directives.

TABLEAU 7.3

**Apports maximaux tolérables (UL)**

Élément nutritif (unité) <sup>a</sup>	1–3 ans	4–8 ans	9–13 ans	19–70 ans
Vitamine A (µg RE) <sup>b</sup>	600	900	1700	3000
Vitamine D (µg) <sup>c</sup>	50	50	50	50
Vitamine E (mg α-tocophérol)	200	300	600	1000
Vitamine C (mg)	400	650	1200	1000 <sup>d</sup>
Niacine (vitamine B3) (mg NE) <sup>e</sup>	10	15	20	35
Vitamine B6 (mg)	30	40	60	100
Acide folique (µg DFE) <sup>f</sup>	300	400	600	1000
Choline (mg)	1000	1000	2000	3500
Fer (mg)	40	40	40	45
Zinc (mg)	7	12	23	45 <sup>g</sup>
Cuivre (mg)	1	3	5	10
Calcium (mg)	2500	2500	2500	3000 <sup>h</sup>
Phosphore (mg)	3000	3000	4000	4000
Manganèse (mg)	2	3	6	11
Molybdène (µg)	300	600	1100	2000
Sélénium (µg)	90	150	280	400
Iode (µg)	200	300	600	1100
Fluor (µg)	1300	2200	10000	10000

<sup>a</sup> Bien qu'aucune limite ne soit spécifiée pour l'arsenic, le silicium et le vanadium, rien ne justifie l'adjonction de ces substances aux aliments.

<sup>b</sup> Concerne uniquement la vitamine A préformée (esters de rétinol); 1 µg RE = 3,33 UI de vitamine A.

<sup>c</sup> En quantité de calciférol (1 µg de calciférol = 40 UI de vitamine D).

<sup>d</sup> L'United States Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine recommande une limite maximale de 2000 mg de vitamine C par jour pour l'adulte.

<sup>e</sup> Valeur basée sur les effets vasoactifs de l'acide nicotinique. Si l'enrichissement est réalisé avec du niacinamide, la valeur limite sera beaucoup plus élevée. La Commission européenne a recommandé une limite maximale de 900 mg de niacinamide par jour pour l'adulte (319).

<sup>f</sup> Concerne l'acide folique provenant des aliments enrichis ou de suppléments.

<sup>g</sup> L'United States Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine recommande une limite maximale de 40 mg de zinc par jour pour l'adulte (91).

<sup>h</sup> L'United States Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine recommande une limite maximale de 2500 mg de calcium par jour pour l'adulte (193).

Sources : d'après les références 91, 93. La FAO et l'OMS n'ont recommandé d'apports maximaux tolérables pour les vitamines A, B3 (niacine), B6, C, D et E, le calcium, le sélénium et le zinc que pour l'adulte. Les autres valeurs sont celles recommandées par l'United States Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine.

l'évaluation. Comme on l'a déjà vu, le but de l'enrichissement des aliments en micronutriments est de déplacer vers le haut la distribution des apports habituels dans une population cible de façon que seule une petite fraction de la population soit à risque d'apport insuffisant, mais pas au point que ceux qui consomment de grandes quantités de l'aliment enrichi se trouvent exposés à un risque d'apport excessif. La médiane de la nouvelle distribution des apports habituels est appelée « apport médian cible ». Par conséquent, l'une des premières décisions à prendre

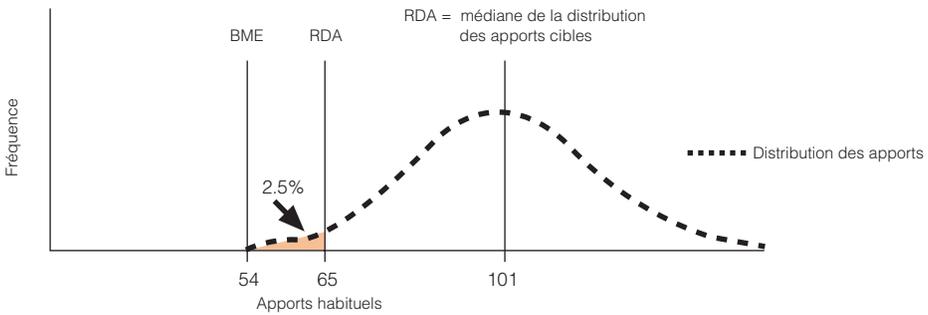
lors de la planification d'interventions d'enrichissement des aliments sera de définir la prévalence acceptable de l'inadéquation des apports, aussi bien insuffisants qu'excessifs.

### 7.3.1 Définition d'une prévalence acceptable des faibles apports nutritionnels en micronutriments

On trouvera ci-dessous une comparaison entre trois façons de déterminer une distribution des apports en un élément nutritif hypothétique, pour lequel on suppose un BME de 54 et un RNI de 65 (Figures 7.1–7.3). Pour simplifier, les distributions des apports présentées dans ces exemples sont normales, alors que dans la réalité elles sont en général légèrement asymétriques.

FIGURE 7.2

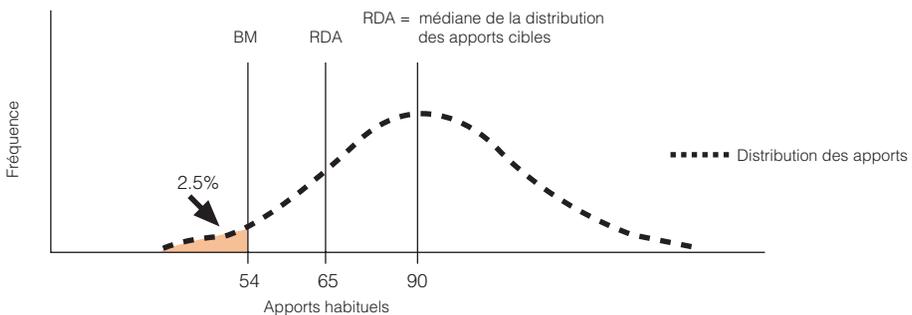
#### Exemple de distribution des apports habituels dans laquelle seuls 2,5% des sujets du groupe ont des apports inférieurs au RNI (ou au RDA)



Source: d'après la référence 333, avec l'autorisation de l'United States National Academy Press.

FIGURE 7.3

#### Exemple de distribution des apports habituels dans laquelle 2,5% des sujets du groupe ont des apports inférieurs au BME (approche recommandée)



Source: d'après la référence 333, avec l'autorisation de l'United States National Academy Press.

### Scénario 1

Jusqu'à une époque relativement récente, les nutritionnistes utilisaient les RNI comme base pour la planification et l'évaluation des interventions nutritionnelles et recherchaient comme but optimal une distribution des apports nutritionnels dans la population dans laquelle la moyenne ou la médiane des apports nutritionnels dans un sous-groupe de population correspondait au RNI pour l'élément nutritif considéré (ou, en Amérique du Nord, au RDA). En supposant une distribution normale des apports nutritionnels, il apparaît clairement d'après la **Figure 7.1** que, selon ce scénario, la moitié du sous-groupe de population aurait des apports inférieurs au RNI ou au RDA, tandis que l'autre moitié aurait des apports dépassant ces valeurs. Plus important encore, un pourcentage relativement élevé de ce sous-groupe aurait des apports habituels inférieurs au BME (28% dans cet exemple). On s'accorde maintenant à considérer qu'un apport médian cible fixé à la valeur du RNI entraîne une prévalence trop élevée et inacceptable des apports insuffisants.

### Scénario 2

Une approche qui prévoirait que les apports habituels pour tous les membres du groupe sauf 2,5% seraient supérieurs au RNI (ou au RDA) est également inacceptable. Pour atteindre ce but, il faudrait fixer l'apport médian cible pour le groupe à une valeur très élevée, presque le double du RNI (ou du RDA). Pratiquement aucun apport ne serait inférieur au BME (**Figure 7.2**). En adoptant cette approche, on augmenterait le risque de dépasser la limite supérieure d'apport (si elle existe) et également d'avoir des effets indésirables sur les qualités organoleptiques des aliments (du fait de leur teneur relativement élevée en micronutriments ajoutés). Une telle approche est dans l'ensemble considérée comme irréaliste, coûteuse, inefficace et potentiellement dangereuse.

### Scénario 3

La stratégie recommandée consiste donc à déplacer vers le haut la distribution des apports habituels de façon que l'apport en chaque micronutriment soit au moins égal au BME pour tous les individus du sous-groupe de population cible sauf 2 à 3% (**Figure 7.3**). Dans cet exemple, si les interventions prévoient que seuls 2 à 3% des individus composant le groupe auront un apport inférieur au BME, l'apport médian cible devrait être d'environ 1,5 fois le RNI (ou le RDA) et environ 20% des individus du groupe devraient avoir des apports inférieurs au RNI (ou au RDA). On peut donc dire que le programme serait satisfaisant si les BME étaient couverts chez la plupart (97–98%) des individus de la population, ou encore si la plupart des individus de la population recevaient 80% de l'apport nutritionnel recommandé.

### 7.3.2 Calcul des quantités de micronutriments à ajouter

Cette section des Directives décrit plus en détail l'application de la méthode du seuil des BME au calcul des niveaux d'enrichissement (c'est-à-dire la quantité de composé d'enrichissement nécessaire pour assurer le déplacement vers le haut souhaité de la distribution des apports habituels pour le micronutriment considéré). Ce calcul comporte quatre étapes. La première consiste à examiner la prévalence des apports insuffisants en chaque micronutriment dans des groupes de population spécifiques. Après avoir identifié les sous-groupes de population dans lesquels la prévalence des apports insuffisants est la plus élevée (étape 2) et estimé la consommation habituelle, dans ces sous-groupes, du véhicule alimentaire choisi (étape 3), l'étape finale consistera à calculer la baisse de prévalence des apports insuffisants (proportion de la population dans laquelle les apports se situent au-dessous du BME) et le risque d'apports excessifs (proportion de la population dans laquelle les apports se situent au-dessus de la limite supérieure) que l'on observerait pour différents niveaux d'enrichissement. Cette méthodologie est illustrée par un exemple hypothétique concernant l'enrichissement de la farine de blé en vitamine A.

#### *Étape 1. Observer la distribution habituelle des apports nutritionnels dans des sous-groupes de population spécifiques*

Comme on l'a vu dans la section 7.1.3, la planification du programme nécessite des données quantitatives sur les apports alimentaires pour évaluer, dans un premier temps, le niveau actuel des apports en éléments nutritifs dans un sous-groupe de population. Cette information est également nécessaire pour estimer la quantité de micronutriment qui devrait être fournie par un programme d'enrichissement et pour calculer l'impact de l'adjonction de différentes quantités de micronutriments à divers aliments.

Il n'est pas nécessaire de réaliser de vastes enquêtes, mais les données sur les apports doivent être recueillies dans un échantillon stratifié représentatif de l'ensemble du secteur cible. Dans l'idéal, tous les sous-groupes de population devraient être représentés. Pour obtenir suffisamment d'informations valides, on peut recueillir des données sur environ 200 individus de chaque sous-groupe de population ayant le risque de carence le plus élevé (par exemple les enfants d'âge préscolaire et les femmes en âge de procréer appartenant au groupe de revenu le plus bas en zone rurale) et le risque d'apport excessif le plus élevé (par exemple les hommes appartenant au groupe de revenu le plus élevé en zone urbaine, dans le cas des aliments de base), et de tout autre groupe concerné au plan local. Il est utile de choisir des sous-groupes de population dans des tranches d'âges similaires, comme celles pour lesquelles les BME sont définis (voir **Tableau 7.2**). Les femmes enceintes et allaitantes doivent en général être considérées comme des sous-groupes à part.

Les données quantitatives sur les apports alimentaires s'obtiennent habituellement par la méthode du rappel des 24 heures ou par une combinaison de mesures ou de pesées des apports et de la méthode du rappel, selon les possibilités locales. La distribution des apports habituels ainsi obtenue peut être trop étendue, ce qui peut être dû au fait que des personnes peuvent avoir consommé l'aliment considéré en quantité inhabituellement faible ou forte le jour de la mesure. En recueillant pour chaque individu les données quantitatives sur deux jours (de préférence non consécutifs), on peut estimer la variabilité des apports d'un jour à l'autre ou intra-individuelle et ajuster la distribution en conséquence. Pour davantage de détails sur les techniques statistiques qui permettent de réduire la variabilité journalière des données sur les apports alimentaires, on pourra consulter divers documents cités dans la bibliographie (332, 333, 336, 337).<sup>1</sup> Si on ne dispose pas de deux jours de données alimentaires par personne, ou si ces données ne peuvent être recueillies pour ce qu'on estime être un échantillon représentatif des groupes de population cibles, il faudra utiliser une estimation de la variabilité journalière obtenue ailleurs, mais de préférence sur une population similaire. Une étude de la variabilité des apports alimentaires dans une population du Malawi a récemment été publiée et pourra être utile à cet égard (338).

La prise en compte de la variabilité journalière a généralement pour effet de rétrécir la distribution des apports, de sorte qu'une plus faible proportion de la population sera au-dessous du BME ou au-dessus de la limite supérieure d'apport. Si l'on ne procède à aucun ajustement pour tenir compte de la variabilité des apports, l'estimation de la prévalence des apports insuffisants ou excessifs pourra être incorrecte, la distribution ne reflétant pas les apports habituels chez les individus appartenant au groupe considéré.

Après avoir rassemblé les informations sur les quantités de divers aliments consommées, on peut utiliser des tables locales, régionales ou internationales de composition des aliments pour convertir les données en quantités d'éléments nutritifs consommés. Si les informations locales sont insuffisantes, il existe plusieurs bases de données internationales et régionales établies expressément pour cet usage. Le groupe INFOODS<sup>2</sup> des Nations Unies rassemble des bases de données de ce type et constitue une source d'information de référence pour

<sup>1</sup> La méthode statistique décrite par le Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine (332) pour réduire la variabilité des données sur les apports peut aussi être consultée à l'adresse Internet <http://www.nap.edu/catalog/9956.html>.

<sup>2</sup> INFOODS est l'acronyme d'International Network of Food Data Systems (Réseau international des systèmes de données sur l'alimentation), créé en 1984 sur la recommandation d'un groupe international d'experts réuni sous l'égide de l'Université des Nations Unies. Il a pour but de stimuler et coordonner les efforts en vue d'améliorer la qualité et la disponibilité des données d'analyse alimentaire dans le monde entier et d'assurer que des données exactes et fiables sur la composition des aliments sont facilement consultables par tous. On trouvera de plus amples informations sur le site Internet <http://www.fao.org/infoods>.

les organisations et les personnes intéressées par des données sur la composition des aliments. Le site Internet d'INFOODS comporte des liens vers divers logiciels, par exemple le système d'évaluation alimentaire WorldFood,<sup>3</sup> qui peut être utilisé pour calculer les apports nutritionnels à partir des données alimentaires recueillies sur une journée. Les résultats, à savoir la distribution des apports habituels pour chaque élément nutritif et chaque groupe de population, sont présentés sous forme de centiles.

### Exemple

L'analyse des données quantitatives d'enquêtes sur les apports alimentaires, réalisée selon la méthodologie exposée ci-dessus, montre que chez les femmes adultes, la distribution des apports en vitamine A correspond à une consommation médiane de 240 µg d'équivalent rétinol par jour, 5 % des femmes adultes ont des apports inférieurs à 120 µg par jour et 25 % ont des apports inférieurs à 200 µg par jour. Voir **Tableau 7.4**.

### *Étape 2. Identifier les sous-groupes de population les plus exposés au risque d'apport insuffisant en micronutriments spécifiques*

Certains sous-groupes de population (en général des femmes et des enfants) tendent à être davantage exposés au risque d'apport insuffisant en certains éléments nutritifs. À la fin de l'étape 1, on saura quels sont les sous-groupes qui ont la plus forte prévalence d'apports insuffisants et en quels éléments nutritifs. Il importe de déterminer quels sont les groupes les plus à risque de façon à pouvoir cibler le programme d'apport de micronutriments.

### Exemple

Dans cet exemple, on a trouvé que 65 % des femmes adultes avaient des apports insuffisants en vitamine A, c'est-à-dire inférieurs au BME pour cette vitamine (357 µg/jour). La proportion de femmes risquant de dépasser la limite supérieure d'apport (3000 µg/jour) était très faible (**Tableau 7.4**).

### *Étape 3. Mesurer la quantité habituelle du ou des véhicules alimentaires envisagés consommée par le sous-groupe de population le plus exposé au risque d'apport insuffisant ou excessif*

Il importe d'obtenir des estimations de la consommation du véhicule alimentaire non seulement pour les sous-groupes qui ont la plus forte prévalence d'apports insuffisants, mais aussi pour ceux qui ont les plus forts taux de consommation de

<sup>3</sup> On trouvera les liens vers les logiciels à l'adresse Internet [http://www.fao.org/infoods/software\\_fr.stm](http://www.fao.org/infoods/software_fr.stm).

TABLEAU 7.4  
**Effet prévu de l'enrichissement de la farine de blé par différents niveaux de vitamine A sur la distribution des apports alimentaires chez les femmes adultes<sup>a</sup>**

Centile	Distribution de la consommation habituelle de blé (g/jour)	Distribution de l'apport en vitamine A de toutes sources (µg/jour)			Apport en vitamine A par rapport au BME et à l'apport maximal tolérable (UL)		
		Avant enrichissement	Après enrichissement à raison de 3 mg/kg	Après enrichissement à raison de 5 mg/kg	Avant enrichissement	Après enrichissement à raison de 3 mg/kg	Après enrichissement à raison de 5 mg/kg
<i>Groupe à risque de carence</i>							
5	30	120	210	270	—	—	—
10	45	160	295	385	—	—	*
25	120	200	560	800	—	*	*
50	180	240	780	1140	—	*	*
<i>Groupe à risque d'excès</i>							
75	240	600	1320	1800	*	*	*
90	300	1000	1900	2500	*	*	*
95	360	1250	2330	3050	*	*	+
<i>Prévalence des apports insuffisants et du risque de toxicité</i>							
Proportion de femmes avec des apports inférieurs au BME (%)				65		15	8
Proportion de femmes avec des apports supérieurs à l'UL (%)				0		2	6

— : apport inférieur au BME ; \* : apport supérieur au BME mais inférieur à l'UL ; + : apport supérieur à l'UL.

<sup>a</sup> Pour la vitamine A, on suppose un BME de 357 µg par jour. Cette valeur est obtenue à partir du RNI de la FAO/OMS pour cette vitamine (500 µg par jour), auquel on a appliqué un facteur de conversion de 1,4 (voir Annexe C). La limite maximale est de 3000 µg par jour. Si l'on utilisait du β-carotène au lieu de vitamine A préformée (rétrinol), il n'y aurait pas de limite maximale.

ces aliments (c'est-à-dire le plus grand risque d'apports excessifs). Cette information sera utilisée pour calculer les effets de différents niveaux d'enrichissement sur la quantité totale de l'élément nutritif consommée (voir étape 4).

### Exemple

Des valeurs hypothétiques de la consommation habituelle de blé par des femmes adultes pour les différents centiles de l'apport en vitamine A sont indiquées dans le **Tableau 7.4**. La consommation médiane de blé est de 180 g/jour. Dans l'idéal, la consommation du véhicule alimentaire proposé devrait être plus élevée dans les groupes de population ayant la plus forte prévalence d'apports vitaminiques insuffisants, et plus faible dans les groupes relativement bien nourris, ce qui réduirait le risque, chez les gros consommateurs de blé, d'atteindre un niveau d'apport excessif en vitamine A. Malheureusement, dans les pays où la farine de blé tend à être consommée en plus grandes quantités par les individus les plus aisés (et les mieux nourris), cela risque de ne pas être le cas. Le **Tableau 7.4** présente le cas des femmes adultes, mais il importe de souligner ici que les hommes adultes sont en général le groupe qui a la plus forte consommation d'aliments de base.

### Étape 4. Simuler l'effet de l'adjonction de différents niveaux du ou des éléments nutritifs au véhicule alimentaire envisagé

La simulation de l'effet de l'adjonction de micronutriments (qui consiste à recalculer la distribution des apports en vitamine A en supposant cette fois que la farine de blé contient 3 ou 5 mg de vitamine A de plus par kg) aide à déterminer le niveau d'enrichissement le plus approprié pour un véhicule alimentaire donné, c'est-à-dire le niveau capable de prévenir la carence dans la population à risque tout en évitant d'avoir une proportion importante d'apports très élevés.

### Exemple

Les données présentées dans le **Tableau 7.4** montrent l'effet de l'enrichissement généralisé de la farine de blé par de la vitamine A (sous forme de rétinol) au taux de 3 ou 5 mg/kg, sur la distribution des apports totaux en vitamine A chez les femmes adultes, le sous-groupe de population identifié comme étant à haut risque de carence vitaminique A. Avant l'intervention, la prévalence des apports insuffisants dans ce groupe était de 65 % (voir étape 2).

Avec un taux d'enrichissement de la farine de blé de 3 mg/kg, la prévalence des apports insuffisants (c'est-à-dire la proportion de femmes ayant des apports inférieurs au BME fixé à 357 µg/jour) tomberait de sa valeur avant l'intervention, soit environ 65 % (50–75 %) à 15 % (10–25 %). En d'autres termes, du fait de l'enrichissement, la moitié environ des femmes adultes auraient vu leur apport vitaminique A passer d'insuffisant à adéquat. Si on augmente à 5 mg/kg le taux d'enrichissement de la farine en vitamine A, seules 8 % des femmes auraient encore un apport insuffisant. Mais dans ce cas, les 6 % correspondant aux plus

grosses consommatrices de farine de blé auraient un apport en vitamine A qui pourrait dépasser la limite supérieure fixée à 3000 µg/jour.

Comme le calcul ne tient pas compte de la consommation de vitamine A par les hommes adultes, il pourrait être préférable de choisir un taux d'enrichissement de 3 mg/kg puis de trouver un autre véhicule alimentaire ou un autre mécanisme de distribution de vitamine A pour couvrir les besoins des 15% de femmes dont les apports en cette vitamine restent insuffisants malgré la consommation de farine de blé enrichie. Des décisions de cette nature ne peuvent être prises que sur la base des données locales et en ne perdant pas de vue les risques potentiels associés à un apport excessif en vitamine A (voir section 7.5).

L'étape 4 sera répétée de façon à déterminer le niveau approprié d'enrichissement de la farine de blé en vitamine A pour les autres groupes de population à risque identifiés à l'étape 2. Il faudra ensuite répéter les étapes 3 et 4 pour chacun des autres micronutriments envisagés par le programme d'enrichissement, et pour lesquels on aura besoin des BME et des données sur la distribution actuelle des apports alimentaires.

### 7.3.3 Adaptation de la méthodologie du seuil des BME à divers micronutriments

#### 7.3.3.1 Fer

L'approche selon la méthode du seuil des BME ne peut pas être utilisée pour estimer la prévalence des apports en fer inadéquats dans certains sous-groupes de population, notamment les enfants, les adolescentes réglées et les femmes adultes, car leurs besoins en fer ne suivent pas une distribution normale (voir section 7.2.1). Chez les adolescentes et des femmes, cela est dû à l'asymétrie de la distribution de leurs pertes de fer, en particulier celles qui sont associées aux pertes de sang menstruelles (91). En supposant pour les besoins de la présente démonstration qu'un coefficient de variation (CV) supérieur à 40% indique une distribution asymétrique, les groupes de population pour lesquels la distribution des besoins en fer présente cette caractéristique seraient les suivants (d'après les données du FNB/IOM des États-Unis d'Amérique (91)) :

- enfants de 1 à 3 ans (CV = 67%);
- enfants de 4 à 8 ans (CV = 75%);
- adolescentes réglées, 14 à 18 ans (CV = 45%);
- femmes réglées (CV = 63%).

Pour les autres groupes de population, le coefficient de variation de la distribution des besoins en fer ne dépasse pas 30%.

Pour les groupes dont les besoins en fer suivent une distribution asymétrique, il faut utiliser une autre approche que la méthode du seuil des BME, à savoir une approche selon les probabilités. Le **Tableau 7.5** indique la probabilité qu'un apport en fer soit insuffisant dans une certaine fourchette d'apports habituels pour les sous-groupes considérés, c'est-à-dire les enfants et les femmes et adolescentes réglées. D'après ces valeurs, il est possible de calculer la prévalence des apports insuffisants dans un sous-groupe de population à partir d'estimations du pourcentage du groupe dont les apports se situent dans un intervalle donné (à noter que la biodisponibilité du fer dans le régime alimentaire habituel doit aussi être connue). Pour chaque intervalle d'apport, on obtient une valeur de la prévalence des apports insuffisants en multipliant le pourcentage du groupe ayant des apports dans cet intervalle par la probabilité d'apport insuffisant. En additionnant les prévalences d'apports insuffisants dans chaque intervalle, on obtient une estimation de la prévalence totale des apports insuffisants dans le groupe de population considéré.

Pour illustrer l'application de la méthode des probabilités (à partir des données du **Tableau 7.5**), on a calculé la prévalence des apports en fer insuffisants dans une population de femmes adultes réglées ayant un régime alimentaire dont la biodisponibilité du fer est de 5% (**Tableau 7.6**). Par exemple, selon le **Tableau 7.5**, les femmes se situant dans la fourchette d'apports la plus basse (moins de 15 mg par jour) ont une probabilité d'apport insuffisant de 1,0 ce qui signifie que toutes les femmes de ce groupe ont des apports en fer inférieurs à leurs besoins. Étant donné que 2% des femmes de la population considérée ont des apports dans cet intervalle, elles contribuent pour 2% à la prévalence totale des apports insuffisants dans ce groupe de population. De même, les femmes dont les apports en fer se situent dans l'intervalle 23,6–27,5 mg par jour auront une probabilité d'apport insuffisant de 0,65. Si 20% des femmes ont des apports dans cet intervalle, la prévalence des apports insuffisants chez les femmes ayant des apports dans cet intervalle sera de  $20 \times 0,65$  soit 13% (**Tableau 7.6**). En faisant le même calcul pour chacun des autres intervalles d'apports et en additionnant les résultats, on obtient pour ce groupe une prévalence totale des apports insuffisants de 66,6%. En d'autres termes, dans cet exemple les deux tiers de la population de femmes considérée ont des apports en fer probablement insuffisants pour couvrir leurs besoins. On notera que ce type de calcul est facile à réaliser avec un tableur ou un logiciel de statistique.

Une fois établie la prévalence des apports insuffisants, l'étape suivante consiste à réaliser une simulation pour voir comment la distribution des apports serait déplacée vers le haut du fait de la consommation d'aliments enrichis en fer (selon une procédure très voisine de celle adoptée ci-dessus aux étapes 3 et 4 pour la vitamine A; voir **Tableau 7.4**), afin de déterminer le niveau d'enrichissement qui ferait baisser la prévalence estimée des apports insuffisants jusqu'à un niveau acceptable, à savoir 2 à 3%.

TABLEAU 7.5

### Probabilité d'apports en fer insuffisants dans certains sous-groupes de population pour diverses fourchettes d'apports alimentaires habituels (mg/jour)

Probabilité d'apport insuffisant <sup>a</sup>	Apports habituels chez les enfants de 1-3 ans consommant une alimentation dont la biodisponibilité du fer est de :			Apports habituels chez les enfants de 4-8 ans consommant une alimentation dont la biodisponibilité du fer est de :			Apports habituels chez les adolescentes de 14-18 ans consommant une alimentation dont la biodisponibilité du fer est de :			Apports habituels chez les femmes réglées consommant une alimentation dont la biodisponibilité du fer est de :		
	5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%
1,00	<3,6	<1,8	<1,3	<4,8	<2,4	<1,6	<16,2	<8,1	<5,4	<15,0	<7,5	<5,0
0,96	3,6-4,5	1,8-2,3	1,3-1,5	4,8-5,9	2,4-3,0	1,6-2,0	16,2-17,7	8,1-8,8	5,4-5,9	15,0-16,7	7,5-8,4	5,0-5,6
0,93	4,5-5,5	2,3-2,8	1,5-1,8	5,9-7,4	3,0-3,7	2,0-2,4	17,7-19,6	8,8-9,8	5,9-6,5	16,7-18,7	8,4-9,4	5,6-6,2
0,85	5,5-7,1	2,8-3,6	1,8-2,4	7,4-9,5	3,7-4,8	2,4-3,2	19,6-22,1	9,8-11,1	6,5-7,4	18,7-21,4	9,4-10,7	6,2-7,1
0,75	7,1-8,3	3,6-4,2	2,4-2,8	9,5-11,3	4,8-5,7	3,2-3,8	22,1-24,1	11,1-12,0	7,4-8,0	21,4-23,6	10,7-11,8	7,1-7,9
0,65	8,3-9,6	4,2-4,8	2,8-3,2	11,3-13,0	5,7-6,5	3,8-4,3	24,1-26,0	12,0-13,0	8,0-8,7	23,6-25,7	11,8-12,9	7,9-8,6
0,55	9,6-10,8	4,8-5,4	3,2-3,6	13,0-14,8	6,5-7,4	4,3-4,9	26,0-27,8	13,0-13,9	8,7-9,3	25,7-27,8	12,9-13,9	8,6-9,3
0,45	10,8-12,2	5,4-6,1	3,6-4,1	14,8-16,7	7,4-8,4	4,9-5,6	27,8-29,7	13,9-14,8	9,3-9,9	27,8-30,2	13,9-15,1	9,3-10,1
0,35	12,2-13,8	6,1-6,9	4,1-4,6	16,7-19,0	8,4-9,5	5,6-6,3	29,7-32,1	14,8-16,1	9,9-10,7	30,2-33,2	15,1-16,6	10,1-11,1
0,25	13,8-15,8	6,9-7,9	4,6-5,3	19,0-21,9	9,5-11,0	6,3-7,3	32,1-35,2	16,1-17,6	10,7-11,7	33,2-37,3	16,6-18,7	11,1-12,4
0,15	15,8-18,9	7,9-9,5	5,3-6,3	21,9-26,3	11,0-13,2	7,3-8,8	35,2-40,4	17,6-20,2	11,7-13,5	37,3-45,0	18,7-22,5	12,4-15,0
0,08	18,9-21,8	9,5-10,9	6,3-7,3	26,3-30,4	13,2-15,2	8,8-5,1	40,4-45,9	20,2-23,0	13,5-15,3	45,0-53,5	22,5-26,7	15,0-17,8
0,04	21,8-24,5	10,9-12,3	7,3-8,2	30,4-34,3	15,2-17,2	5,1-5,7	45,9-51,8	23,0-25,9	15,3-17,3	53,5-63,0	26,7-31,5	17,8-21,0
0	>24,5	>12,3	>8,2	>34,3	>17,2	>5,7	>51,8	>25,9	>17,3	>63,0	>31,5	>21,0

<sup>a</sup> Probabilité que les besoins en fer dépassent l'apport habituel. Pour évaluer la situation dans une population, on attribue une probabilité de 1 aux apports habituels inférieurs au 2,5<sup>e</sup> centile des besoins, et une probabilité de 0 aux apports habituels supérieurs au 97,5<sup>e</sup> centile des besoins. Les apports habituels doivent être ajustés sur la variance intra-individuelle comme décrit dans la section 7.3.2 (étape 1).

Source : d'après la référence 91.

TABLEAU 7.6

**Prévalence des apports en fer insuffisants chez des femmes réglées ayant un régime alimentaire dont la biodisponibilité du fer est de 5% : exemple de calcul**

Probabilité d'apport insuffisant <sup>a</sup>	Intervalle des apports ayant cette probabilité (mg/jour)	Proportion de femmes réglées ayant des apports dans cet intervalle (%)	Prévalence des apports insuffisants (%) <sup>b</sup>
1,00	<15,0	2	2
0,96	15,0–16,7	10	9,6
0,93	16,7–18,7	10	9,3
0,85	18,7–21,4	10	8,5
0,75	21,4–23,6	15	11,3
0,65	23,6–25,7	20	13
0,55	25,7–27,8	10	5,5
0,45	27,8–30,2	8	3,6
0,35	30,2–33,2	5	1,8
0,25	33,2–37,3	5	1,3
0,15	37,3–45,0	3	0,5
0,08	45,0–53,5	2	0,2
0,04	53,5–63,0	0	0
0	>63,0	0	0
<b>Probabilité d'apport insuffisant pour l'ensemble des femmes réglées</b>			<b>66,6%</b>

<sup>a</sup> Probabilité que les besoins en fer dépassent les apports habituels. Pour évaluer la situation dans une population, on attribue une probabilité de 1 aux apports habituels inférieurs au 2,5<sup>e</sup> centile des besoins, et une probabilité de 0 aux apports habituels supérieurs au 97,5<sup>e</sup> centile des besoins. Les apports habituels doivent être ajustés sur la variance intra-individuelle comme décrit dans la section 7.3.2 (étape 1).

<sup>b</sup> Prévalence des apports insuffisants = probabilité d'apport insuffisant pour un intervalle d'apport donné × pourcentage de femmes ayant des apports dans cet intervalle.

### 7.3.3.2 Iode

D'après l'expérience acquise sur le terrain, l'OMS a recommandé des niveaux d'enrichissement en iode pour le sel (283). La recommandation actuelle, destinée à assurer l'apport nutritionnel recommandé (RNI) chez l'adulte, soit 150 µg/jour) est d'ajouter 20–40 mg d'iode par kg de sel. Ce niveau d'enrichissement suppose l'absence d'iode dans le régime alimentaire habituel avant l'intervention et une consommation habituelle de sel de 10 g par jour.

### 7.3.3.3 Folates/acide folique

De nombreuses études ont démontré que chez certaines femmes, une consommation accrue de folates peut réduire le risque de donner naissance à un enfant atteint de défaut de fermeture du tube neural (DFTN) (voir section 4.2.3). Il est généralement admis que, pendant la période périconceptionnelle, les femmes devraient consommer une quantité supplémentaire d'acide folique

de 400 µg/jour par supplémentation ou au moyen d'aliments enrichis (128). On ignore actuellement si la réduction du risque est due à la correction d'une carence en folates ou à un autre mécanisme encore inconnu. Quoiqu'il en soit, il a été démontré qu'une augmentation de l'apport d'acide folique de seulement 200 µg/jour par la consommation d'aliments enrichis avait été efficace pour améliorer le statut en folates et réduire la prévalence du DFTN au Canada (51) et aux États-Unis d'Amérique (48, 49). S'appuyant sur ces données, l'Organisation panaméricaine de la Santé a recommandé que dans toute l'Amérique latine, des interventions d'enrichissement des aliments fournissent un apport supplémentaire de 200 µg d'acide folique par jour (339). On peut prévoir qu'avec ces niveaux d'apport supplémentaire, l'apport journalier habituel en acide folique plus en folates contenus dans l'alimentation dépassera le BME et avoisinera le RNI dans la majeure partie de la population cible. Dans tous les cas, il sera approprié de commencer par une estimation du déficit nutritionnel en folates, qui peut se situer autour de cette valeur, de sorte que la décision d'intervenir sera justifiée par des données nutritionnelles.

Il faut noter que les apports en folates sont par convention exprimés en unités d'équivalent folate alimentaire (DFE), 1 µg de folate dans l'alimentation correspondant à 1 DFE. Du fait de sa plus grande biodisponibilité, 1 µg d'acide folique apporte 1,7 DFE, de sorte qu'une plus petite quantité d'acide folique (la forme synthétique utilisée pour enrichir les aliments et dans les suppléments) sera nécessaire pour couvrir un besoin donné en folates (128).

#### 7.3.3.4 Vitamine D

La vitamine D est produite dans la peau exposée au rayonnement ultraviolet. Aux latitudes situées entre 42°N et 42°S, 30 minutes d'exposition par jour (bras et visage) suffisent en général pour fournir à l'organisme toute la vitamine D dont il a besoin. Cependant, comme on l'a vu dans la section 4.6, plusieurs facteurs réduisent l'aptitude de l'organisme à synthétiser la vitamine D et augmentent par conséquent le risque de carence. Il peut s'agir de facteurs comme le fait de vivre à une latitude N ou S plus élevée, où les jours sont plus courts en hiver, de laisser peu de surface cutanée exposée au rayonnement ultraviolet, ou d'avoir la peau foncée.

Lors de toute décision sur les niveaux appropriés d'enrichissement en vitamine D, il faudra tenir compte de l'exposition à la lumière solaire. Par exemple, dans les cas où l'exposition est suffisante mais où l'apport alimentaire en vitamine D est faible, il est assez probable que le risque de carence dans une population donnée sera surestimé si l'on ne se base que sur les données d'apport alimentaire. C'est pourquoi des informations sur la prévalence du rachitisme chez les nourrissons et les enfants, des faibles taux sériques de 25-hydroxy-vitamine D dans la population générale et de l'ostéomalacie et/ou l'ostéoporose chez les

femmes devront être évaluées avant tout calcul du niveau d'enrichissement en vitamine D requis.

#### 7.3.3.5 Niacine

La niacine (vitamine B3) est unique en ce qu'elle peut être synthétisée à partir du tryptophane, un acide aminé (1 mg de niacine peut être produit à partir d'environ 60 mg de tryptophane). Ainsi, comme pour la vitamine D, il semblera y avoir une prévalence élevée d'apports insuffisants de niacine si seuls les apports alimentaires (avant et après enrichissement) sont pris en compte et non les sources non alimentaires (synthèse à partir du tryptophane). Cependant, comme on ne connaît pas exactement le taux de synthèse de la niacine à partir du tryptophane et que ce taux varie probablement selon l'âge et l'état physiologique (par exemple pendant la grossesse et chez les nourrissons), l'approche la plus commode pourrait être de ne pas tenir compte de la contribution du tryptophane lors du choix des niveaux d'enrichissement. De plus, le risque de toxicité de la niacine est faible, surtout si l'on utilise le niacinamide comme composé d'enrichissement (voir **Tableau 7.3**).

Comme le maïs contient de la niacine sous forme liée et est pauvre en tryptophane, les populations dont c'est l'aliment de base (surtout s'il n'est pas soumis à un traitement alcalin) tireront un bénéfice probable de l'enrichissement en niacine (voir section 4.4.3).

#### 7.3.4 Biodisponibilité

Les méthodes utilisées pour établir les BME prévoient déjà un ajustement pour tenir compte de la biodisponibilité (c'est-à-dire le pourcentage absorbé) d'un élément nutritif contenu dans les aliments, et il n'est donc pas nécessaire d'en tenir compte une fois de plus lorsqu'on détermine les niveaux d'enrichissement par la méthode du seuil des BME. Si toutefois la biodisponibilité de l'élément nutritif utilisé pour l'enrichissement risque d'être sensiblement différente de celle de l'élément naturellement présent dans l'alimentation, il faudra procéder à un ajustement supplémentaire. On peut aussi être obligé de tenir compte de l'efficacité de l'utilisation par l'organisme de la forme de l'élément nutritif utilisé pour l'enrichissement. Par exemple, le taux de conversion du  $\beta$ -carotène en rétinol dans l'huile est de 2:1 mais, en l'absence d'huile, il est beaucoup plus bas (6:1) et son utilisation est beaucoup moins efficace.

Les micronutriments pour lesquels la biodisponibilité peut poser des problèmes sont indiqués dans le **Tableau 7.7**. Le fer électrolytique, par exemple, est peu absorbé et il est recommandé d'ajouter cette forme particulière de composé d'enrichissement en fer en quantité double de celle utilisée pour le fer sous forme de sulfate ferreux, qui a une biodisponibilité voisine de celle du fer non hémique présent dans l'alimentation (**Tableau 5.2**). En revanche, l'absorption

TABLEAU 7.7

**Exemples de micronutriments pour lesquels la biodisponibilité de la forme utilisée pour l'enrichissement est sensiblement différente de sa biodisponibilité dans le régime habituel**

Micronutriment/composé d'enrichissement	Proportion absorbée par rapport à la proportion dans le régime habituel
Fer	
■ Fer électrolytique	0,5 (par rapport au fer non hémique contenu dans les aliments)
■ NaFeEDTA <sup>a</sup>	3,0 en présence d'un taux élevé de phytates, 1,0 en présence d'un faible taux de phytates (par rapport au fer non hémique contenu dans les aliments)
■ Bisglycinate ferreux	2,0-3,0 (par rapport au fer non hémique contenu dans les aliments)
Vitamine A	
■ $\beta$ -carotène <sup>b</sup>	0,15 à partir des aliments enrichis en l'absence d'huile, mais 0,5 dans l'huile (par rapport au rétinol)
Folates	
■ Acide folique	1,7 (par rapport aux équivalents folate alimentaire des folates naturellement présents dans les aliments)
Vitamine B12	2,0 (par rapport aux cobalamines présentes dans les aliments)

<sup>a</sup> NaFeEDTA: éthylènediamine tétracétate de sodium et de fer.

<sup>b</sup> Lorsqu'on utilise le  $\beta$ -carotène pour l'enrichissement, sa biodisponibilité est plus grande (le facteur de conversion  $\beta$ -carotène:rétinol est de 6:1 dans les aliments non huileux) que celle du  $\beta$ -carotène naturellement présent (dans les fruits et légumes), pour lequel le facteur de conversion est de 12:1.

de certains micronutriments ajoutés, comme l'acide folique et la vitamine B12, peut être sensiblement plus élevée que celle de leurs équivalents naturels dans les aliments (voir section 7.3.3.3).

Dans l'idéal, l'absorption de l'élément nutritif utilisé comme composé d'enrichissement devrait être confirmée lors d'essais d'efficacité en conditions contrôlées dans la population cible, en particulier dans les cas où la biodisponibilité est mal connue. S'il n'est pas possible d'effectuer de tels essais, on recherchera des données d'absorption dans des études sur l'homme réalisées par d'autres chercheurs et on évaluera la biodisponibilité du composé une fois le programme d'enrichissement mis en place.

#### 7.4 Autres facteurs à prendre en compte lors du choix des niveaux d'enrichissement

L'expérience montre que dans la pratique, et notamment dans le cas d'un enrichissement universel de certains aliments (*mass fortification*), la quantité de micronutriment qui peut être ajoutée aux aliments est souvent limitée par des facteurs relevant de l'innocuité ou de contraintes d'ordre technologique et/ou économique. Parmi ces trois facteurs limitants, les contraintes liées aux coûts

tendent à être les plus flexibles, tandis que celles liées à l'innocuité et aux aspects technologiques seront plus souvent rigides. Cependant, il existe pour divers micronutriments des moyens de surmonter certaines contraintes technologiques. Par exemple, dans le cas du fer, les modifications organoleptiques indésirables dues à la présence du composé de fer dans l'aliment vecteur peuvent être réduites grâce à l'utilisation d'une forme de fer microencapsulée (voir section 5.1.3.3). Les contraintes liées à l'innocuité ne sont pas non plus nécessairement immuables; avec le progrès des connaissances et l'amélioration de la précision des limites maximales, ces contraintes pourraient évoluer.

Le **Tableau 7.8** présente l'intensité de chacun des trois types de contraintes pour les micronutriments couverts par les présentes Directives. L'évaluation de l'intensité du risque lié à l'innocuité repose sur la proximité entre le BME et la limite maximale: plus ces deux valeurs sont proches, plus le risque est grand. Les valeurs de l'intensité du risque indiquées dans ce tableau sont subjectives et

TABLEAU 7.8

### Facteurs pouvant limiter la quantité de micronutriments ajoutée à un même véhicule alimentaire

Micronutriment	Technologique/organoleptique	Innocuité	Coût
Vitamine A	X	XXX	XXX <sup>a</sup>
Vitamine D	–	X	X
Vitamine E	–	X	XXX
Vitamine C	XX	X	XXX <sup>b</sup>
Thiamine (vitamine B1)	–	–	–
Riboflavine (vitamine B2)	XX	–	–
Niacine (vitamine B3)	–	XXX <sup>c</sup>	X
Vitamine B6	–	X	–
Acide folique	–	XXX <sup>d</sup>	–
Vitamine B12	–	–	X
Fer <sup>e</sup>	XXX	XX	X
Zinc	XX	XXX	X
Calcium	X	XX	XXX <sup>f</sup>
Sélénium	–	X	X
Iode	X	XXX	–

–: pas de contrainte; X: contrainte mineure; XX: contrainte modérée; XXX: contrainte majeure.

<sup>a</sup> Si l'on utilise une forme à base huileuse pour enrichir les huiles ou les graisses, le coût peut être réduit.

<sup>b</sup> Les contraintes de coût sont principalement la conséquence des pertes de micronutriments pendant la fabrication, le stockage, la distribution et la cuisson, ce qui signifie qu'un excès de sécurité considérable est nécessaire.

<sup>c</sup> Contrainte beaucoup moins préoccupante si l'on utilise du niacinamide pour l'enrichissement plutôt que de l'acide nicotinique.

<sup>d</sup> Le risque d'effets indésirables est fortement réduit par l'ajout simultané de vitamine B12.

<sup>e</sup> Concerne les formes les plus biodisponibles.

<sup>f</sup> Les contraintes de coût sont principalement la conséquence de la nécessité d'ajouter des quantités aussi importantes.

ont pour seul objet de mettre en évidence les problèmes qui pourraient se poser pour un micronutriment donné.

#### 7.4.1 Limites imposées par des considérations d'innocuité

On peut évaluer l'innocuité de l'enrichissement en micronutriments en comparant les apports prévus (en particulier les apports correspondant aux niveaux d'enrichissement les plus élevés et aux plus fortes consommations d'aliments enrichis, calculés comme indiqué dans la section 7.3.2) avec la limite maximale (**Tableau 7.3**). Même si aucune limite n'a été fixée pour un micronutriment, on évitera les ajouts de quantités importantes, en particulier si rien ne montre que des niveaux d'apport supérieurs aux RNI apportent un quelconque bénéfice.

#### 7.4.2 Limites technologiques

La limite technologique est définie comme étant le niveau le plus élevé possible d'adjonction d'un micronutriment qui ne provoque pas de modifications organoleptiques indésirables dans l'aliment vecteur. Les effets des ajouts de micronutriments sur les qualités organoleptiques du véhicule choisi doivent être étudiés assez tôt, et on utilisera d'autres formes du composé d'enrichissement si nécessaire (voir partie III). Les incompatibilités technologiques sont en général moins contraignantes dans le cas de produits alimentaires enrichis dans le cadre d'interventions ciblées ou à finalité commerciale, car ces produits tendent à être distribués aux consommateurs sous forme de portions individuelles et de produits finis (voir section 7.5.2).

#### 7.4.3 Limites imposées par les coûts

La limite de coût est définie comme étant l'augmentation maximale du coût de l'aliment du fait de l'enrichissement qui soit acceptable par le producteur et le consommateur. En effet, l'un des critères les plus importants pour un programme réussi d'enrichissement des aliments dans une économie de marché réside dans la faiblesse de l'augmentation (en proportion) du prix du produit du fait de l'enrichissement. Ce critère vaut principalement pour les produits faisant l'objet d'un enrichissement universel. Les questions de coût sont en général moins contraignantes dans le cas de produits transformés ciblés ou à finalité commerciale, car le prix du produit tend à être suffisamment élevé pour absorber les coûts liés à l'enrichissement.

Le **Tableau 7.9** présente l'investissement annuel nécessaire pour apporter à un adulte de sexe masculin 100% de son BME en 14 micronutriments essentiels, en tenant compte des pertes en micronutriments au cours de la production, de la distribution et du stockage ainsi que lors de la cuisson, et de toute variabilité dans le processus d'enrichissement qui pourrait conduire à une baisse de la

TABLEAU 7.9

Coût estimé de certains composés utilisés pour l'enrichissement des aliments<sup>a</sup>

	BME chez l'adulte	Teneur du composé en micronutriment	Coût du composé d'enrichissement (USD/kg)	Quantité ajoutée en excès (%) <sup>b</sup>	Coût annuel du composé d'enrichissement (US\$) <sup>c</sup>
<b>Vitamine A</b>					
■ Vitamine A (SD-250)	429 µg	7,5	42	50	0,136
■ Palmitate de vitamine A, 1 million UI	429 µg	30	52	30	0,042
<b>Vitamine D</b>					
■ Soluble dans l'eau	5 µg	0,25	33	20	0,035
■ En solution huileuse, 1 million UI/g	5 µg	2,5	80	20	0,008
<b>Vitamine E</b>					
■ Vitamine E	8 mg	67	26	20	0,163
<b>Vitamine C</b>					
■ Vitamine C	37 mg	100	10	250 <sup>d</sup>	0,567
■ Thiamine (vitamine B1)	1,0 mg	81	24	40	0,018
■ Riboflavine (vitamine B2)	1,1 mg	100	38	30	0,024
■ Niacine (vitamine B3)	12 mg	99	9	10	0,053
■ Vitamine B6	1,1 mg	82	28	20	0,020
■ Acide folique	188 µg <sup>e</sup>	100	90	50	0,011
■ Vitamine B12 soluble dans l'eau, 0,1 %	2,0 µg	0,1	38	30	0,043
<b>Fer<sup>f</sup></b>					
■ NaFeEDTA	7,0 mg	13	15,45	5	0,383
■ Bisglycinate ferreux	7,0 mg	20	25	5	0,402
■ Fumarate ferreux	10,5 mg	33	5,12	5	0,075
■ FeSO <sub>4</sub> anhydre	10,5 mg	33	2,35	5	0,034
■ FeSO <sub>4</sub> encapsulé	10,5 mg	16	12,28	5	0,371
■ Fer électrolytique	21,1 mg	97	5,76	5	0,058
■ Zinc (en quantité d'oxyde)	6 mg <sup>g</sup>	80	3,35	5	0,012
■ Calcium (en quantité de phosphate)	833 mg	39	2,7	5	2,652
■ Iode (en quantité d'iodate de potassium)	107 µg	59	20	25	0,002

NaFeEDTA : éthylenediamine tétracétate de sodium et de fer; FeSO<sub>4</sub> : sulfate ferreux.

<sup>a</sup> Coût de la fourniture d'une quantité suffisante de micronutriments pour couvrir 100% du BME pour un adulte de sexe masculin, chaque jour pendant un an (par les aliments sous forme sèche).

<sup>b</sup> La quantité ajoutée en excès est celle qui doit être ajoutée pour compenser les pertes au cours de la production, du stockage, de la production et de la distribution de l'aliment.

<sup>c</sup> Y compris un excédent de +20 % pour tenir compte de la variabilité du processus d'enrichissement.

<sup>d</sup> La vitamine C est l'un des composés d'enrichissement les moins stables et un excédent important est normalement nécessaire. Si toutefois l'aliment enrichi n'est pas soumis à la chaleur ou à l'oxydation, cet excédent peut être beaucoup plus faible.

<sup>e</sup> Comme l'acide folique a une biodisponibilité 1,7 fois supérieure à celle des folates naturellement présents dans l'alimentation, le BME pour les folates a été divisé par 1,7.

<sup>f</sup> Le BME pour le fer dépend de sa biodisponibilité dans le régime alimentaire ainsi que de l'identité du composé de fer utilisé pour l'enrichissement. Les valeurs données ici se rapportent à la farine de blé blanche à faible taux d'extraction, et s'appliquent à des régimes alimentaires ayant une biodisponibilité similaire. Si l'alimentation contient une grande quantité d'inhibiteurs de l'absorption du fer, le BME doit être multiplié par 2 environ. Le fer réduit n'est pas mentionné ici ; son absorption serait au maximum égale à la moitié de celle du fer électrolytique.

<sup>g</sup> En supposant une biodisponibilité moyenne pour le zinc.

teneur en micronutriment apporté (par exemple en cas de mélange non homogène). Le coût total pour un aliment sec non huileux, comme la farine de blé, est d'environ US\$ 4,00 par année, soit US\$ 0,01 par jour. D'après ces calculs, les composés d'enrichissement les plus coûteux sont le calcium (dont il faut des quantités plus importantes), la vitamine A, la vitamine E et la vitamine C (du fait de la nécessité d'ajouter un excès pour compenser les pertes). Les moins chers – moins de US\$ 0,02 par an – sont la thiamine (vitamine B1), la vitamine B6, l'acide folique, le zinc et l'iode.

Les estimations de coûts ci-dessus s'appliquent à l'enrichissement centralisé à grande échelle d'un aliment de base, c'est-à-dire qui est réalisé sur un petit nombre de sites industriels. Dans ces conditions, le prix d'achat des micronutriments représente de loin la partie la plus importante (au moins 80–90%) du coût total de l'enrichissement. Lorsque l'enrichissement est réalisé dans de multiples petites entreprises, aussi bien le coût initial d'investissement (par exemple pour le matériel) que les coûts de fonctionnement (par exemple pour les procédures de contrôle de la qualité) sont proportionnellement plus élevés, un facteur qui pourrait nuire à la faisabilité et à la pérennité du programme. Mis à part ces considérations, dans de nombreuses situations l'enrichissement des aliments peut constituer un moyen très abordable de corriger les apports insuffisants en micronutriments, et dans une grande partie des cas, la principale difficulté consiste à trouver un véhicule alimentaire approprié, fabriqué industriellement et consommé en quantités suffisantes par la population à risque.

### **7.5 Adaptation de la méthode du seuil des BME aux interventions d'enrichissement universel, ciblé ou à but commercial**

La méthode du seuil des BME peut être utilisée pour choisir les niveaux d'enrichissement appropriés et évaluer leur impact sur la prévalence des apports insuffisants pour les trois types d'intervention: enrichissement universel, ciblé et à but commercial. Cependant, chacun d'eux possède des aspects uniques dont il faut tenir compte et qui sont détaillés ci-dessous.

#### **7.5.1 Enrichissement universel de certains aliments**

##### **7.5.1.1 Fixation des quantités de micronutriments à ajouter**

Un grand nombre de pays industrialisés et quelques pays en développement ont une longue expérience de l'enrichissement universel de certains aliments en micronutriments. Dans de nombreux cas, les taux d'enrichissement ont été choisis de manière empirique, en s'appuyant sur l'expérience des autres pays et en tenant compte des contraintes technologiques et économiques, plutôt qu'en cherchant à déterminer de façon systématique les taux susceptibles d'apporter le maximum de bénéfices. C'était notamment le cas des pays ne disposant pas

de données sur les apports alimentaires mais vivement désireux de se lancer dans des programmes d'enrichissement. Cependant, tant que l'on n'utilise pas de données sur les apports alimentaires et nutritionnels comme base de l'élaboration et de l'évaluation des programmes, comme on l'a vu plus haut, on ne peut pas savoir si les individus ayant le risque le plus élevé de carence en un micronutriment donné (et les apports les plus faibles avant l'intervention) consommeront l'aliment enrichi en quantités suffisantes pour améliorer de façon significative leur apport en éléments nutritifs, ni si ceux qui ont déjà les apports les plus élevés risqueront d'atteindre des niveaux d'apport excessifs une fois l'intervention mise en place.

L'importance d'une approche plus rigoureuse de la détermination des niveaux d'enrichissement étant soulignée, il est néanmoins utile de savoir quels sont les taux déjà utilisés ailleurs pour certains aliments. Au minimum, on saura ainsi quels niveaux d'enrichissement sont techniquement et économiquement réalisables dans quels aliments. Il est intéressant de noter, comme on peut le voir dans le **Tableau 7.10**, que l'intervalle des taux d'enrichissement actuellement utilisés dans chaque type d'aliments est relativement étroit. Il faut souligner le fait que l'impact de ces taux d'enrichissement sur les apports en éléments nutritifs et l'état nutritionnel n'a été correctement évalué que dans quelques endroits et que ces taux ne peuvent être recommandés de façon universelle. De plus, les taux d'enrichissement appliqués dans un endroit peuvent ne pas convenir dans un autre et ne doivent pas être utilisés sans que leur bien-fondé soit confirmé au moyen de la méthode du seuil des BME et des limites maximales, comme décrit dans les présentes Directives.

### 7.5.1.2 Contraintes

Dans le cas des programmes d'enrichissement universel, qui sont axés sur les denrées de base et les condiments en tant que véhicules alimentaires, le coût est souvent le principal facteur limitant. Les aliments de base et les condiments sont consommés fréquemment et en grandes quantités, non seulement directement par la population mais aussi par l'industrie agroalimentaire. Même de petites variations de prix peuvent par conséquent avoir de lourdes conséquences : une opposition pour des raisons de coût aux produits enrichis peut par exemple mener à des pratiques commerciales trompeuses et même à des activités de contrebande.

Le coût de l'enrichissement d'une tonne de farine de blé par le fumarate ferreux (45 mg de fer par kg), l'oxyde de zinc (30 mg/kg), la thiamine (6,5 mg/kg), la riboflavine (4 mg/kg), la niacine (50 mg/kg), l'acide folique (2,0 mg/kg), la vitamine B12 (0,010 mg/kg) et la vitamine A (2,0 mg/kg) a été évalué à US\$ 5. Avec une consommation de 100 g de farine par personne et par jour, on atteint seulement US\$ 0,182 par an, soit US\$ 0,0005 par jour et par personne.

TABLEAU 7.10

## Exemples de taux de micronutriments actuellement ajoutés aux denrées alimentaires de base et condiments dans le monde entier (mg/kg)

Micronutriments	Lait	Lait concentré	Lait en poudre	Margarine	Huile végétale	Sucre	Farine de blé	Pâtes	Farine de maïs pour masa	Farine de maïs précuite	Farine de maïs	Semoule de maïs	Sauce de soja/de poisson	Sel
Vitamine A	0,7-1,0	2-3	4,5-7,5	5-15	5-15	5-15	1-5	-	-	2,8	-	1-2	-	-
Vitamine D	0,01	0,01	0,05-0,06	0,02-0,15	-	-	0,014	-	-	-	-	-	-	-
Vitamine E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vitamine C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thiamine (vitamine B1)	-	-	-	-	-	-	1,5-7,0	8-10	1-6	3,1	2,4	2-3	-	-
Riboflavine (vitamine B2)	-	-	-	16	-	-	1,5	3-5	1-5	2,5	-	1,7-2,5	-	-
Niacine (vitamine B3)	-	-	-	180	-	-	15-55	35-37	25-50	51	1,6	19-30	-	-
Vitamine B6	-	-	-	20	-	-	2,5	-	-	-	-	2-3	-	-
Acide folique	-	-	-	2	-	-	0,5-3,0	-	0,5-3,0	-	-	0,4-0,5	-	-
Vitamine B12	-	-	-	-	-	-	0,01 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-
Fer <sup>b</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- NaFeEDTA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	500 <sup>c</sup>
- Bisglycinate ferreux	-	-	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-
- Sulfate ou fumarate ferreux	-	-	-	-	-	-	30-45	30	30	30+	-	-	-	-
- Fer électrolytique	-	-	-	-	-	-	45-60	25-35	30-60	20+	-	9-14	-	-
Zinc (oxyde)	-	-	-	-	-	-	15-30	-	15-30	-	-	-	-	-
Calcium	-	-	-	-	-	-	2100-3900	-	-	-	-	-	-	-
Iode	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15-60

NaFeEDTA : éthylènediamine tétracétate de sodium et de fer.

<sup>a</sup> Selon la recommandation d'une récente réunion de l'OPS/OMS (339).<sup>b</sup> Habituellement, les aliments ne sont enrichis qu'avec un seul composé de fer, mais dans le cas de la farine de maïs précuite des essais sont en cours pour évaluer la viabilité de l'utilisation de plus d'un composé d'enrichissement en fer.<sup>c</sup> En quantité de sulfate ferreux encapsulé, mais actuellement le NaFeEDTA n'a été utilisé que lors d'essais expérimentaux.

Néanmoins, dans un pays comptant 10 millions de consommateurs, le coût de l'enrichissement s'élèvera à environ US\$5000 par jour (US\$1,825 million par an). À ce niveau de coût, certains fabricants pourraient être tentés d'utiliser cette somme pour augmenter leurs bénéfices plutôt que d'ajouter les micronutriments.

Le coût de l'enrichissement de la farine de blé avec les micronutriments énumérés ci-dessus peut augmenter le prix du kilogramme de farine de US\$0,30–0,50, soit 1,0–1,7% par rapport au produit non enrichi. Cette augmentation peut être intégrée dans le prix du produit, mais en économie de marché une différence de prix même très faible peut être encore trop grande pour préserver la part de marché du produit enrichi par rapport à un autre non enrichi, surtout si les règles de la concurrence ne sont pas les mêmes pour tous. Par exemple, l'enrichissement du sel avec 20–40 mg d'iode par kg sous forme d'iodate de potassium coûte US\$1,25 par tonne, soit US\$0,0000125 par jour et par personne (US\$0,005 par an et par personne), en supposant une consommation journalière de 10 g de sel. Pour un pays de 10 millions d'habitants, on arrive à un total d'environ US\$45625 par an. Par conséquent, bien que l'investissement annuel soit relativement faible en valeur absolue, cela représente une augmentation de prix de 2% par rapport au sel brut (en supposant un prix du sel brut de US\$0,06 par kg). Même cette modeste augmentation est mal perçue par de nombreux petits producteurs qui craignent de perdre des parts de marché dans la mesure où ils éviteraient d'ajouter de l'iode au sel si cet enrichissement n'était pas strictement obligatoire. C'est pourquoi le sel n'est pas plus largement utilisé à l'heure actuelle comme vecteur pour d'autres micronutriments, même si leur adjonction était techniquement réalisable et efficace sur le plan biologique. Si toutefois des moyens permettant de surmonter des obstacles de cette nature, par exemple des subventions ou des mécanismes efficaces et fiables de mise en application de l'enrichissement obligatoire, devaient être élaborés, le sel pourrait devenir une option intéressante comme véhicule alimentaire pour un enrichissement généralisé en plusieurs micronutriments. Il pourrait aussi être utilisé pour des programmes ciblés, dans lesquels l'augmentation de prix due au coût de l'enrichissement tendrait à être un facteur moins restrictif.

En résumé, l'expérience montre qu'un enrichissement généralisé en micronutriments dans le cadre d'une économie de marché fonctionne mieux lorsque l'augmentation de prix du produit enrichi par rapport au produit non enrichi ne dépasse pas 1 à 2%. Cependant, cette règle n'est pas absolue et toutes décisions quant aux limites de coût incombent aux pouvoirs publics et à l'industrie en fonction de la situation propre à chaque pays.

L'**Annexe D** décrit une procédure utilisable pour déterminer les taux d'enrichissement réalisables dans le cadre des programmes d'enrichissement généralisé en micronutriments compte tenu des contraintes d'innocuité, de coût et de technologie. Si toutes ces contraintes réunies ont pour effet d'abaisser la

quantité de micronutriment qui peut être ajoutée à une valeur inférieure à celle qui serait requise pour atteindre l'objectif nutritionnel visé, il pourrait être nécessaire d'enrichir plusieurs aliments ou de fournir certains éléments nutritifs selon d'autres stratégies, par exemple une supplémentation.

### 7.5.2 Enrichissement ciblé

Avec l'enrichissement ciblé, les diverses contraintes qui pèsent sur l'adjonction de micronutriments sont en général moins lourdes que dans le cas de l'enrichissement universel. Non seulement le groupe cible est mieux délimité (les réfugiés, les personnes déplacées et les enfants en bas âge sont habituellement les principaux bénéficiaires), mais les aliments enrichis sont en général distribués sous forme de produit fini ou en portions prêtes à l'emploi, de sorte que le risque de dépasser les limites maximales est réduit. De plus, la présentation et les qualités organoleptiques des aliments choisis en vue d'un enrichissement ciblé sont telles que les modifications introduites par l'adjonction de micronutriments sont plus facilement masquées, et le coût de l'enrichissement est habituellement compatible avec le prix du produit ou en partie supporté grâce au soutien financier des promoteurs du programme. Néanmoins, il est toujours instructif d'évaluer dès le stade de la planification du programme la compatibilité technologique et le coût global des aliments faisant l'objet d'un enrichissement ciblé.

#### 7.5.2.1 Aliments prêts à l'emploi

Des directives concernant l'enrichissement des aliments prêts à l'emploi destinés aux réfugiés et aux personnes déplacées ont été publiées ailleurs (62) et ce point n'est donc pas examiné en détail ici.

#### 7.5.2.2 Aliments complémentaires

Dans plusieurs régions du monde, la faible teneur du lait maternel en micronutriments chez les femmes sous-alimentées constitue un important sujet de préoccupation. Parmi les micronutriments qui peuvent se trouver en quantité très abaissée dans le lait des femmes sous-alimentées figurent la vitamine A, toutes les vitamines du groupe B à l'exception de l'acide folique, l'iode et le sélénium. L'enrichissement des aliments complémentaires constitue donc un moyen d'apporter des éléments nutritifs supplémentaires aux nourrissons et aux enfants encore allaités. Cependant, comme ceux-ci doivent aussi recevoir une alimentation de haute densité nutritionnelle (c'est-à-dire ayant une concentration élevée d'éléments nutritifs par kcal), il peut être difficile dans certaines situations de parvenir à abaisser jusqu'à un niveau très faible le risque d'apport insuffisant, même lorsque les aliments complémentaires sont enrichis.

Pour déterminer le niveau d'enrichissement des aliments complémentaires, la procédure à suivre est voisine de celle décrite plus haut (voir section 7.3.2). Le point de départ est à nouveau la distribution des apports habituels, bien que dans le cas présent il soit nécessaire de tenir compte, pour chaque micronutriment étudié, des apports provenant à la fois du lait maternel et des aliments complémentaires. Les apports provenant du lait maternel peuvent être estimés à partir des informations publiées sur la composition du lait de femme, comme celles publiées par l'OMS, qui comprennent des données relatives aux pays industrialisés et aux pays en développement (340), et les apports d'autres sources peuvent être obtenus par des méthodes de rappel sur 24 heures dans un échantillon représentatif du groupe considéré.

Une fois obtenues les données appropriées sur les apports nutritionnels, la procédure de détermination des niveaux d'enrichissement est assez semblable à celle vue plus haut, avec les étapes suivantes :

#### *Étape 1. Déterminer la prévalence des apports inférieurs au BME*

Tout d'abord, examiner la distribution des apports et déterminer la prévalence des apports inférieurs au BME; déterminer si ce taux de prévalence est acceptable. S'il ne l'est pas, l'enrichissement des aliments complémentaires pourra être envisagé.

#### *Étape 2. Établir le niveau acceptable de prévalence des apports insuffisants*

Ensuite, fixer la prévalence acceptable des apports insuffisants (c'est-à-dire le pourcentage d'enfants ayant des apports inférieurs au BME). On considère souvent qu'une prévalence de 2 à 3% est le maximum souhaitable pour les apports insuffisants. Puis déterminer le niveau d'enrichissement qui abaissera à ce niveau acceptable la prévalence des apports insuffisants.

#### *Étape 3. Choisir un véhicule alimentaire*

Choisir le véhicule alimentaire le plus approprié pour l'enrichissement en micronutriments, c'est-à-dire un aliment qui sera accessible à la plupart des enfants, ou ceux qui ont les besoins les plus importants.

#### *Étape 4. Simuler l'impact de l'enrichissement*

Enfin, calculer grâce à une simulation l'impact probable de l'enrichissement du véhicule alimentaire choisi sur la prévalence des apports insuffisants et sur la proportion d'apports dépassant la limite maximale.

Si l'on excepte le fer et le zinc, il n'a pas été défini de BME pour les nourrissons de la naissance à 12 mois. Pour ce groupe d'âge, les apports

recommandés sont exprimés en termes d'apports adéquats (AI), et dans ce cas l'objectif nutritionnel du programme d'enrichissement sera de relever l'apport moyen dans le groupe cible jusqu'à cette valeur.

Il existe cependant d'autres approches plus simples pour déterminer les niveaux d'enrichissement des aliments complémentaires. Dans l'une de ces options, on calcule la différence entre l'apport médian habituel et l'apport recommandé (soit le BME soit l'apport adéquat, selon le micronutriment considéré); on obtient alors la quantité de micronutriment à ajouter pour atteindre l'objectif nutritionnel souhaité. En divisant la différence estimée par la quantité journalière d'aliment consommée, on obtient la quantité de micronutriment qui devra être apportée par gramme d'aliment enrichi.<sup>1</sup>

L'autre option, la plus facile à mettre en œuvre car elle ne nécessite pas d'avoir des données sur les apports, consiste à ajouter simplement une certaine proportion du BME (ou de l'apport adéquat) du groupe cible en espérant qu'en procédant ainsi on couvrira les besoins nutritionnels de la plupart des enfants. Ici encore il est nécessaire de savoir quelle est la quantité d'un aliment complémentaire qui est consommée par jour et également quelle est la taille habituelle des portions afin d'en déduire un niveau d'enrichissement par 100 g de produit ou par portion.

La Commission du Codex Alimentarius a émis des recommandations pour la composition de certains aliments destinés aux nourrissons et aux enfants en bas âge. Ces recommandations sont constamment réexaminées et régulièrement révisées. En ce qui concerne les préparations alimentaires d'appoint destinées aux nourrissons du deuxième âge et aux enfants en bas âge, lorsque l'aliment est enrichi en éléments nutritifs spécifiques, le Codex recommande d'ajouter au moins les deux tiers de l'apport quotidien de référence par 100 g d'aliment (341). En pratique, cela signifie que si la taille moyenne d'une portion pour ce groupe d'âge est d'environ 40 g, chaque portion doit fournir entre 30 % et 50 % du BME de façon que 2 à 3 portions par jour couvrent les besoins quotidiens en l'élément nutritif considéré. Il est certain que si l'on dispose d'informations nutritionnelles détaillées, la teneur de l'aliment complémentaire en micronutriments devra être ajustée aux caractéristiques et aux besoins du groupe cible.

### 7.5.3 Enrichissement des aliments dans un but commercial

Dans l'industrie agroalimentaire, les fabricants ajoutent des micronutriments à leurs produits non seulement pour augmenter leur valeur nutritionnelle mais également pour les rendre plus attractifs pour le consommateur soucieux de sa santé. Ce type d'initiative à but commercial peut jouer un rôle positif du

<sup>1</sup> Le niveau d'enrichissement est classiquement exprimé en quantité par 100 grammes ou par portion (c'est-à-dire la quantité par gramme multipliée par la taille moyenne d'une portion, en général 40 g).

point de vue de la santé publique en améliorant l'apport d'éléments nutritifs essentiels qu'il est quelquefois difficile de fournir en quantités suffisantes avec l'enrichissement universel de certains aliments. Jusqu'à présent, l'impact sur la santé publique de l'enrichissement à but commercial des aliments transformés est resté très modeste dans les pays en développement mais on s'attend à ce qu'il prenne de l'ampleur du simple fait de l'urbanisation croissante et de la disponibilité accrue de tels aliments.

Le but principal d'une réglementation des taux de micronutriments ajoutés dans les aliments transformés sera de préserver l'équilibre nutritionnel et l'innocuité de l'alimentation pour l'ensemble de la population. Pour cela, des teneurs minimales devront être fixées pour assurer que des quantités raisonnables de micronutriments sont ajoutées aux produits alimentaires. Ces valeurs devront figurer sur l'étiquette du produit et pourront être mentionnées dans la publicité. Il importe de fixer également des teneurs maximales de façon à réduire le risque d'apports excessifs du fait de la consommation d'aliments enrichis, en particulier pour les micronutriments pour lesquels des limites maximales (UL) ont été spécifiées (voir Chapitre 11). Il peut également être souhaitable d'établir une réglementation précisant quels aliments peuvent être enrichis (voir section 7.5.3.3).

#### *7.5.3.1 Valeurs nutritionnelles de référence*

Des directives sur l'étiquetage nutritionnel applicables à tous les aliments y compris les aliments enrichis ont été élaborées par la Commission du Codex Alimentarius (342). Pour tenter d'harmoniser l'étiquetage des aliments en ce qui concerne leur contenu nutritionnel, les directives Codex définissent une série de valeurs nutritionnelles de référence (VNR) basées sur les apports nutritionnels recommandés (RNI) de la FAO/OMS pour les adultes de sexe masculin, et destinées à servir de valeurs de référence pour la population générale. Contrairement aux RNI, les VNR ne sont pas données pour différents groupes d'âge ou d'état physiologique mais sont applicables à tous les membres de la famille âgés de plus de trois ans. Les VNR actuelles (voir **Tableau 7.11**) sont basées sur les RNI établis par la FAO/OMS en 1996 (210) et devront être ajustées selon les valeurs des RNI publiées plus récemment par la FAO/OMS (93).

#### *7.5.3.2 Fixation de teneurs maximales sans danger pour l'enrichissement à but commercial des aliments transformés*

Le fait que les aliments transformés enrichis dans un but commercial visent habituellement tous les membres de la famille et non certains groupes spécifiques d'âge ou d'état physiologique entraîne des difficultés en ce qui concerne la fixation de limites maximales pour les teneurs autorisées en micronutriments

TABLEAU 7.11

**Valeurs nutritionnelles de référence (VNR) du Codex pour divers micronutriments**

Micronutriment	VNR Codex <sup>a</sup>	RNI de la FAO/OMS pour l'adulte de sexe masculin <sup>b</sup>
Calcium (mg)	800	1000
Iode (µg)	150	150
Fer (mg)	14	13,7
Magnésium (mg)	300	260
Sélénium (µg)	–	34
Zinc (mg)	15	7
Biotine (µg)	–	30
Vitamine B6 (mg)	2	1,3
Folates <sup>c</sup> (µg DFE)	200	400
Vitamine B12 (µg)	1	2,4
Niacine (vitamine B3) (mg)	18	16
Riboflavine (vitamine B2) (mg)	1,6	1,3
Thiamine (vitamine B1) (mg)	1,4	1,2
Vitamine C (mg)	60	45
Vitamine A <sup>d</sup> (µg RE)	800	600
Vitamine D <sup>e</sup> (µg)	5	5
Vitamine E (D-tocophérol) (mg)	–	10,0

<sup>a</sup> La valeur nutritionnelle de référence (VNR) est une valeur de référence définie par la Commission du Codex Alimentarius afin d'harmoniser l'étiquetage nutritionnel des denrées alimentaires transformées et utilisée comme référence pour la population générale (342).

<sup>b</sup> Les RNI de la FAO/OMS donnés ici sont ceux qui ont été publiés en 1996 (210), et dont certains ont été révisés depuis.

<sup>c</sup> 1 DFE = équivalent folate alimentaire = 1 µg de folate alimentaire = 0,6 µg d'acide folique provenant des aliments enrichis, soit 1 µg d'acide folique = 1,7 DFE.

<sup>d</sup> RE = équivalent rétinol (1 µg de rétinol = 3,33 UI de vitamine A).

<sup>e</sup> En quantité de calciférol (1 µg de calciférol = 40 UI de vitamine D).

Sources : d'après les références 210, 342.

ajoutés. Ces difficultés sont encore aggravées par le fait que les portions de l'aliment enrichi (par exemple céréales pour petit déjeuner, boissons, barres nutritives) sont les mêmes pour tous les membres de la famille. C'est ainsi que si l'on applique des limites maximales basées sur les VNR (c'est-à-dire les RNI pour les hommes adultes ; voir section 7.5.3.1), les aliments enrichis consommés par les enfants peuvent leur apporter des quantités inutilement élevées de micronutriments. Il faut d'ailleurs noter que, pour certains micronutriments (vitamine A, niacine sous forme d'acide nicotinique, folates, zinc, calcium et iode), la limite maximale d'apport (UL) pour les enfants de moins de 8 ans est très proche du BME pour les hommes adultes (voir Tableaux 7.2 et 7.3).

Lors de l'établissement de teneurs maximales pour les adjonctions de micronutriments, la prise en compte des questions d'innocuité exposées ci-dessus suppose que l'on adopte une forme ou une autre de procédure d'évaluation des

risques. Ces approches font reposer le calcul de la limite maximale sans danger sur les valeurs admises de la limite maximale d'apport (UL) pour les groupes les plus vulnérables, dans ce cas les enfants de 4 à 8 ans. Puis, en supposant connues les quantités de micronutriments apportées par l'alimentation et du fait des programmes en vigueur d'enrichissement universel de certains aliments, la quantité maximale de micronutriment par portion est donnée, pour un aliment transformé enrichi dans un but commercial, par la formule :

$$\text{Quantité maximale de micronutriment par portion} = \frac{[\text{UL (quantité de micronutriment apportée par l'alimentation + quantité de micronutriment apportée par les aliments enrichis dans le cadre d'un programme en vigueur d'enrichissement universel)]}{\text{nombre de portions}}$$

Pour appliquer cette formule, il est nécessaire de déterminer le nombre de portions d'aliments transformés qui sont consommées. On peut pour cela procéder comme suit :

Pour les aliments solides, la taille d'une portion est en général estimée à 50 g et pour les boissons, à 250 ml après reconstitution. Mais pour le calcul, il est préférable de définir la taille d'une portion en termes d'énergie (c'est-à-dire en kcal) pour préserver l'équilibre nutritionnel du régime alimentaire. Le **Tableau 7.12** présente les densités énergétiques courantes de divers aliments vendus dans le commerce, d'où l'on peut voir que la plus petite taille de portion nutritionnelle est de 40 kcal. Ainsi, une portion d'aliment solide (50 g) contient 5 portions nutritionnelles, une portion de lait ou de boisson à base de céréales, 6 portions nutritionnelles et une portion de boisson sucrée, une portion nutritionnelle.

Si l'on suppose que 30 % de l'apport énergétique quotidien (2000 kcal) d'une personne sont apportés par des aliments transformés enrichis, la quantité d'énergie apportée par ces derniers serait de :

$$2000 \text{ kcal} \times 0,3 = 600 \text{ kcal}$$

TABLEAU 7.12

**Densité énergétique de quelques présentations de denrées alimentaires**

Présentation	Taille d'une portion courante	Densité énergétique par portion	Densité énergétique par 100 g ou 100 ml
Solides	50 g	160 kcal	320 kcal
Lait ou boissons à base de céréales	250 ml	200 kcal	80 kcal
Boissons sucrées	250 ml	100 kcal	40 kcal

Par rapport à la plus petite portion nutritionnelle exprimée en densité énergétique (40 kcal), cette quantité d'énergie correspond à :

$$600 \text{ kcal}/40 \text{ kcal} = 15 \text{ portions}$$

La formule précédente peut donc être transformée comme suit :

$$\text{Quantité maximale de micronutriment par portion de 40 kcal} = \frac{[\text{UL (quantité de micronutriment apportée par l'alimentation + quantité de micronutriment apportée par les aliments enrichis dans le cadre d'un programme en vigueur d'enrichissement universel)}]}{15}$$

L'**Encadré 7.3** illustre l'application de cette procédure pour le lait et les boissons sucrées.

Dans des circonstances normales et en ayant tenu compte des quantités d'éléments nutritifs apportées par l'alimentation courante, il est peu probable que les limites maximales sans danger pour une taille de portion habituelle et pour les divers éléments nutritifs mentionnés dans le **Tableau 7.13** (à l'exception du calcium) dépassent 30% du RNI dans le cas des aliments solides et du lait ou des boissons à base de céréales et 15% du RNI dans le cas des boissons sucrées.

### 7.5.3.3 *Maintien de l'équilibre nutritionnel*

Certains micronutriments ont été volontairement exclus de la discussion ci-dessus car soit ils n'ont pas de limite maximale reconnue (pas de risque pour la santé identifié jusqu'à présent), soit leur limite maximale est suffisamment élevée pour ne poser aucun problème quant à l'innocuité de quantités importantes apportées par les aliments enrichis. Cependant, dans l'intérêt du maintien d'un équilibre nutritionnel adéquat, il est recommandé que ces autres éléments nutritifs soient ajoutés aux aliments transformés enrichis dans une proportion à peu près équivalente de celle des micronutriments pour lesquels un apport important n'est pas souhaitable. En pratique cela limite la teneur en micronutriments ajoutés à un pourcentage compris entre 15 et 30% du RNI pour l'adulte dans le cas des aliments solides et du lait ou des boissons à base de céréales, et à la moitié de ces valeurs (soit 7,5–15%) dans le cas des boissons sucrées.

Ces recommandations sont en accord avec les directives Codex sur les allégations nutritionnelles et leur emploi, qui expriment les valeurs uniquement en pourcentage des VNR pour les vitamines et les sels minéraux (voir section 7.5.3.1). Les directives Codex pour l'emploi des allégations relatives à la

**ENCADRÉ 7.3****Exemple: détermination du niveau maximal sans danger pour l'enrichissement du lait et des boissons sucrées en vitamine A****1. Lait**

Une boisson lactée doit être enrichie en vitamine A. Le produit enrichi est destiné à une population dans laquelle l'apport journalier de rétinol (vitamine A préformée) chez les enfants par l'alimentation et du fait des programmes en vigueur d'enrichissement universel de certains aliments est d'environ 300 µg.

Étant donné que la limite maximale (UL) pour la vitamine A chez l'enfant de 4–8 ans est de 900 µg (Tableau 7.3), la teneur maximale en vitamine A par portion de 40 kcal sera de :

$$(900 - 300 \text{ µg vitamine A})/15 \text{ portions} = 40 \text{ µg vitamine A/portion}$$

En utilisant le facteur de conversion approprié (Tableau 7.14), on peut calculer la teneur maximale de vitamine A sans danger pour une portion de 250 ml de lait, comme suit :

$$40 \text{ µg vitamine A} \times 5,0 = 200 \text{ µg vitamine A}$$

Exprimée en pourcentage du RNI pour l'homme adulte (voir Tableau 7.1), la teneur maximale en vitamine A d'une portion de 250 ml de lait enrichi est de :

$$200/600 \times 100 = 33\%$$

et en pourcentage de la VNR actuelle (voir Tableau 7.11), elle est de :

$$200/800 \times 100 = 25\%$$

**2. Boissons sucrées**

Un calcul similaire pour une boisson sucrée donne une teneur maximale en vitamine A de 100 µg (40 µg × 2,5) pour 250 ml de boisson (ou de boisson en poudre reconstituée), ce qui représente 17 % du RNI pour l'homme adulte et 12,5 % de la VNR actuelle pour cette vitamine.

nutrition (343) stipulent qu'un aliment ne peut être décrit comme «source» d'un élément nutritif spécifique que s'il apporte 15% des VNR par portion courante (ou 15% des VNR par 100 g (aliments solides), ou 5% des VNR pour 100 ml (aliments liquides), ou 5% des VNR pour 100 kcal). Pour être qualifié de «riche» en un élément nutritif, un produit alimentaire doit contenir deux fois plus de cet élément nutritif que l'aliment décrit comme «source». Cela signifie que de nombreux aliments pourraient être classés comme «source» mais que très peu de produits – essentiellement ceux qui sont naturellement

TABLEAU 7.13

**Teneur maximale calculée en micronutriments<sup>a</sup> par portion de 40 kcal, en supposant l'absence d'autres sources de micronutriments dans l'alimentation**

Élément nutritif <sup>b</sup>	UL (enfants de 4–8 ans)	Quantité maximale	
		Par portion de 40 kcal	En % du RNI <sup>c</sup>
Vitamine A (en quantité de rétinol) (µg RE)	900	60	10
Niacine (en quantité d'acide nicotinique <sup>d</sup> ) (mg)	15	1,0	6
Acide folique (µg)	400	27	7
Fer (mg)	40	3	22
Zinc (mg)	12	0,6	4
Calcium (mg)	2500	167	17
Iode (µg)	300	20	13

UL : apport maximal tolérable ; RNI : apport nutritionnel recommandé.

<sup>a</sup> Les teneurs maximales données ici doivent être diminuées d'une quantité proportionnelle à la quantité d'élément nutritif apportée par l'alimentation (y compris par le biais des programmes d'enrichissement universel obligatoire de certains aliments).

<sup>b</sup> Il existe d'autres micronutriments pour lesquels un UL a été fixé, mais ils ne sont pas mentionnés ici car il serait très difficile d'approcher cette valeur par la consommation d'aliments enrichis.

<sup>c</sup> En pourcentage du RNI pour l'adulte de sexe masculin.

<sup>d</sup> Le niacinamide peut être utilisé sans cette restriction.

TABLEAU 7.14

**Facteurs de conversion des quantités maximales de micronutriments par portion de 40 kcal en quantités maximales pour différentes présentations et tailles de portions**

Présentation	Taille d'une portion courante	Facteur de conversion	
		Par portion de taille courante	Par 100 g ou 100 ml
Solides	50 g	4,0	8,0
Lait ou boissons à base de céréales	250 ml	5,0	2,0
Boissons sucrées	250 ml	2,5	1,0

riches en micronutriments – pourraient être classés comme « riches » en micronutriments spécifiques.

Il est généralement recommandé que les allégations relatives à la teneur en éléments nutritifs soit limitée conformément à ces règles, même si le produit alimentaire contient – à des fins technologiques ou naturellement – plus de 30 % des VNR. Les allégations basées sur des pourcentages supérieurs à 30 % des VNR dans un aliment enrichi doivent être évitées, car elles pourraient induire le consommateur en erreur sur ce qui constitue un régime alimentaire équilibré.

---

## Résumé

- Les autorités qui prennent la décision de lancer un programme d'enrichissement des aliments en micronutriments doivent avant cela rassembler des données sur les apports alimentaires et les apports en éléments nutritifs, étayées par diverses informations accessoires notamment des données biochimiques sur l'état nutritionnel. Ces données sont nécessaires pour pouvoir juger en connaissance de cause des types et des quantités d'éléments nutritifs à ajouter à tel ou tel aliment. Étant donné les efforts et l'investissement à long terme nécessaires pour mettre en œuvre et maintenir un programme d'enrichissement alimentaire, et la nécessité de protéger les membres de la population qui consomment les aliments enrichis aussi bien contre les insuffisances que contre les excès, un investissement initial dans la collecte de données adéquates sur les apports alimentaires est fortement recommandé.
    - Les données biochimiques et cliniques peuvent révéler quels sont les micronutriments dont la quantité est insuffisante dans le régime alimentaire habituel et indiquer la prévalence et la gravité des diverses carences dans des groupes de population différents.
    - Les informations sur la distribution des apports alimentaires habituels en éléments nutritifs dans les divers groupes de population fournissent la base la plus utile pour justifier puis élaborer un programme d'enrichissement en micronutriments visant à corriger les carences.
    - La connaissance des modes de consommation alimentaire, bien qu'utile, ne suffit pas pour prendre les décisions quant aux éléments nutritifs à ajouter, à quels aliments et en quelle quantité.
  - La quantité d'un micronutriment ajoutée à l'alimentation grâce à l'enrichissement des aliments doit être calculée pour que la probabilité prédictive des apports insuffisants du micronutriment considéré soit  $\leq 2,5\%$  des sous-groupes de population concernés, tout en évitant le risque d'apports excessifs dans les autres sous-groupes de la population.
  - Du fait de contraintes technologiques, de coût ou d'innocuité, il peut s'avérer impossible d'ajouter la quantité nécessaire d'éléments nutritifs pour assurer des apports adéquats chez la quasi-totalité des membres d'une population par enrichissement universel d'un seul type d'aliment. Dans ce cas, on envisagera l'enrichissement de plusieurs véhicules alimentaires, d'autres types d'enrichissement ou une supplémentation.
  - Ces Directives donnent des renseignements sur le bien-fondé de l'enrichissement et sur la mise en œuvre des programmes, mais les décisions définitives concernant les micronutriments à ajouter en priorité dans un endroit donné devront être prises sur la base des informations et priorités sanitaires locales.
-

# Surveillance et évaluation

La surveillance et l'évaluation sont des composantes essentielles de tout programme d'enrichissement des aliments, et pour lesquelles il faudra élaborer des systèmes dès le début du programme, si possible au stade de la conception et de la planification. La surveillance et l'évaluation fournissent l'occasion d'évaluer la qualité de la mise en œuvre et du fonctionnement du programme, et également de savoir dans quelle mesure il touche les ménages et les individus auxquels il s'adresse et il atteint ses objectifs nutritionnels. Plus important encore, les résultats des opérations de surveillance et d'évaluation donnent aux planificateurs des programmes et aux responsables de l'élaboration des politiques les informations nécessaires à la prise de décisions quant à la poursuite, l'extension, la répétition ou l'arrêt du programme.

### 8.1 Principes de base et définitions

Pour qu'un programme d'enrichissement des aliments soit efficace, les véhicules alimentaires choisis doivent être disponibles dans l'ensemble du pays ou tout au moins dans les régions visées par le programme. En pratique, cela signifie que le produit doit être disponible à la vente dans les magasins de détail locaux accessibles aux segments de population visés. De plus, les produits enrichis doivent être achetés par les familles visées et consommés en quantités et selon une fréquence suffisantes. Pendant toute la durée de ce processus, c'est-à-dire du fabricant au magasin de détail et jusqu'au moment de la consommation par les personnes visées, il est vital que le produit conserve la qualité prévue. Ainsi, pour que le programme ait l'impact attendu, il faut surveiller sa *performance opérationnelle* (ou *l'efficacité de sa mise en œuvre*) ; pour cela, le mieux est de disposer d'un système de collecte continue de données en des points de distribution clés. Lorsque des obstacles ou une insuffisance de l'efficacité opérationnelle sont détectés, l'information doit être transmise au service responsable de la mise en œuvre de mesures correctrices et de la réorientation du programme si nécessaire. Cette série de mesures constitue ce qu'on appelle la *surveillance* du programme.

Dans le contexte de l'enrichissement des aliments, le terme « surveillance » se rapporte donc à la collecte continue, à l'examen et à l'utilisation des informations

sur les activités de mise en œuvre du programme, en vue d'identifier des problèmes tels qu'une non-conformité et de servir de base pour les mesures correctrices de façon que le programme atteigne les objectifs spécifiés (6). Le but ultime de la surveillance d'un programme d'enrichissement des aliments est d'assurer que le produit enrichi, de la qualité voulue, est disponible et accessible aux consommateurs en quantité suffisante.

Le terme «évaluation» est quant à lui utilisé pour désigner l'évaluation de l'efficacité réelle d'un programme et de son impact sur la population cible. Dans le cas de l'enrichissement des aliments, les évaluations sont entreprises dans le but de démontrer que le programme atteint bien ses objectifs nutritionnels, qu'il s'agisse d'une augmentation de la consommation d'aliments enrichis ou de celle de micronutriments spécifiques, ou d'une amélioration de l'état nutritionnel, de la santé ou des paramètres fonctionnels de la population cible. L'évaluation d'un programme ne doit pas être entreprise avant qu'il ait été démontré – par une surveillance appropriée – qu'il a été mis en œuvre comme planifié et qu'il se déroule de façon efficiente. Un programme incorrectement mis en œuvre a peu de chances d'obtenir l'impact souhaité et par conséquent, il ne faut pas gaspiller des ressources en procédant à son évaluation tant que ses insuffisances opérationnelles n'auront pas été corrigées.

La **Figure 8.1** présente de façon schématique un modèle de système de surveillance et d'évaluation pour les programmes d'enrichissement des aliments; ce modèle constitue un cadre directeur pour les diverses activités de surveillance et d'évaluation décrites dans le présent chapitre.

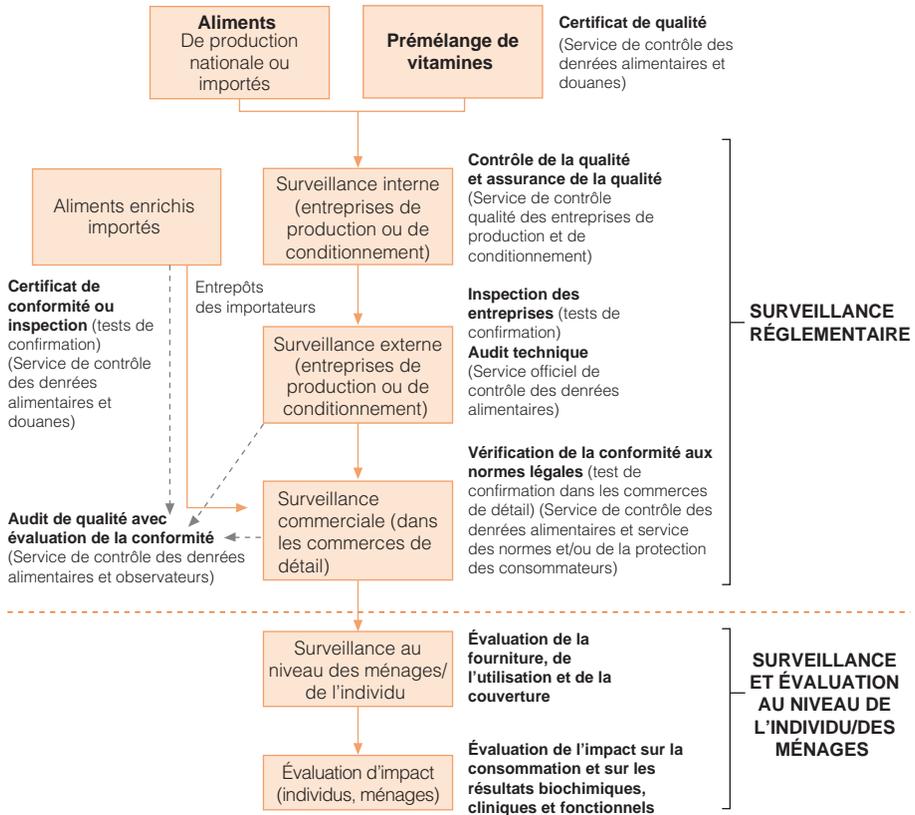
Ce modèle distingue deux catégories de surveillance, la *surveillance réglementaire* et la *surveillance au niveau des ménages et de l'individu*. La surveillance réglementaire recouvre toutes les activités de surveillance exercées au niveau de la production (entreprises de production et de conditionnement) ainsi que dans les entrepôts des douanes et dans les commerces de détail, par les services officiels compétents et par les producteurs eux-mêmes dans le cadre de programmes internes de contrôle réglementaire. La surveillance réglementaire au niveau de la production comprend deux volets, la *surveillance interne* et la *surveillance externe*. La surveillance réglementaire au niveau des commerces de détail est appelée *surveillance commerciale*. L'objectif principal de la surveillance réglementaire est d'assurer que les aliments enrichis répondent aux normes en matière d'éléments nutritifs, de qualité et d'innocuité établies préalablement à la mise en œuvre du programme.

L'autre catégorie, la surveillance au niveau des ménages et de l'individu, s'adresse, comme son nom l'indique, aux ménages et aux personnes qui les composent et possède les objectifs suivants (d'après Habicht et al., référence 344) :

- assurer que les individus et ménages visés ont accès à l'aliment enrichi et que celui-ci est de la qualité attendue (mesure de la *fourniture* de services);

FIGURE 8.1

### Exemple de système de surveillance et d'évaluation pour les programmes d'enrichissement des aliments



- assurer que les individus et ménages visés achètent et consomment l'aliment enrichi (surveillance de l'utilisation des services) ;
- assurer que les individus et ménages visés consomment l'aliment enrichi à une fréquence et en quantité appropriées (mesure de la couverture).

Lorsque la surveillance réglementaire et la surveillance au niveau des ménages ont démontré que le programme se déroule de façon satisfaisante, l'évaluation du programme au niveau des ménages et de l'individu peut être entreprise pour en évaluer l'impact. Cette étape est en général appelée *évaluation d'impact* (Figure 8.1). Certaines des données obtenues lors de la surveillance au niveau des ménages, par exemple des données sur la consommation d'aliments enrichis et/ou les apports en micronutriments, peuvent aussi être utilisées pour l'évaluation du programme (voir section 8.4).

Le **Tableau 8.1** récapitule les aspects principaux de chacun des trois éléments de la surveillance et de l'évaluation exposés ci-dessus, à savoir la surveillance réglementaire, la surveillance au niveau des ménages et l'évaluation d'impact. Ce chapitre se poursuit par l'examen plus détaillé de chacun de ces éléments et s'achève sur un aperçu des exigences minimales pour tout système de surveillance et d'évaluation applicable à un programme d'enrichissement des aliments (section 8.5).

## 8.2 Surveillance réglementaire

Comme le montre la **Figure 8.1**, la surveillance réglementaire se compose de trois parties, la surveillance interne, la surveillance externe et la surveillance commerciale :

- La *surveillance interne* se rapporte au contrôle de qualité et à l'assurance qualité réalisés par les entreprises de production et de conditionnement et par les importateurs.
- La *surveillance externe* se rapporte aux activités d'inspection et d'audit réalisés dans les centres de production (entreprises de production et de conditionnement) et aux points d'importation (douanes). Les services gouvernementaux sont responsables de la surveillance externe, mise en œuvre en tant que mécanisme assurant la conformité aux normes et à la réglementation.
- La *surveillance commerciale* est similaire à la surveillance externe en ce qu'elle incombe en général aux services gouvernementaux et a pour but de vérifier que les produits enrichis satisfont aux normes, mais elle est réalisée au niveau des commerces de détail.

Pour chaque stade du processus de surveillance, il est utile d'établir des indicateurs qui pourront être utilisés pour mesurer les progrès accomplis. Dans le cas des programmes d'enrichissement des aliments, les critères de réussite peuvent être exprimés par la proportion d'échantillons contenant une quantité minimale spécifiée d'un micronutriment donné à divers stades du cycle de vie du produit, c'est-à-dire au moment de la production (minimum à la production), au point de vente (minimum légal ou minimum au point de vente au détail) et au point de consommation (minimum au niveau des ménages). Le **Tableau 8.2** présente un exemple de série de critères de réussite aux fins de surveillance.

Pour être efficace, un système de surveillance doit reposer sur une série bien établie de procédures, de méthodologies et de règles de notification, toutes opérations contribuant à assurer la continuité de l'évaluation du programme. Il est également indispensable que les responsabilités soient clairement délimitées et qu'il existe un mécanisme efficace de retour d'information, pour faciliter l'élaboration et la mise en œuvre de mesures correctrices au cas où des problèmes

## Objet et fonction des divers éléments des systèmes de surveillance et d'évaluation pour les programmes d'enrichissement des aliments

Élément	Objet	Fonction spécifique
Surveillance réglementaire	Assurer que les aliments enrichis satisfont aux normes de qualité et d'innocuité relatives aux micronutriments pendant toute leur durée de conservation (de l'usine au commerce de détail); comprendre: <ul style="list-style-type: none"> <li>— la surveillance interne;</li> <li>— la surveillance externe;</li> <li>— la surveillance commerciale.</li> </ul>	La surveillance réglementaire peut répondre à des questions telles que: <ul style="list-style-type: none"> <li>— Les BPF sont-elles appliquées?</li> <li>— Une approche HACCP est-elle en place (s'il y a lieu)?</li> <li>— Le contrôle et l'assurance de la qualité sont-ils correctement réalisés?</li> <li>— Les fonctions d'inspection et d'audit technique dans les entreprises de production et de conditionnement sont-elles correctement réalisées?</li> <li>— La vérification de la conformité aux normes légales au niveau des commerces de détail est-elle effectuée comme prévu?</li> </ul>
Surveillance et évaluation au niveau des ménages/de l'individu	Évaluer: <ul style="list-style-type: none"> <li>— la fourniture;</li> <li>— l'utilisation;</li> <li>— la couverture.</li> </ul>	La surveillance au niveau des ménages peut répondre à des questions telles que: <ul style="list-style-type: none"> <li>— L'aliment enrichi est-il accessible à la population cible?</li> <li>— L'aliment enrichi est-il de qualité acceptable?</li> <li>— La population cible achète-t-elle l'aliment enrichi?</li> <li>— L'aliment enrichi est-il stocké, manipulé et préparé comme prévu?</li> <li>— La population cible consomme-t-elle l'aliment enrichi en quantités et à une fréquence appropriées?</li> </ul>
Évaluation d'impact	Évaluer l'impact sur les résultats pertinents, comme: <ul style="list-style-type: none"> <li>— la consommation d'aliments enrichis;</li> <li>— les apports en éléments nutritifs spécifiques;</li> <li>— l'état nutritionnel (indicateurs biochimiques);</li> <li>— la santé;</li> <li>— les autres résultats fonctionnels (p. ex. croissance, fonctions cognitives).</li> </ul>	Les évaluations d'impact peuvent répondre à des questions telles que: <ul style="list-style-type: none"> <li>— La population cible a-t-elle atteint un niveau prédéfini acceptable pour un résultat donné (par exemple la prévalence de la carence en fer est-elle &lt;20% chez les femmes enceintes; 70% de la population cible consomme-t-elle le produit enrichi; ou 80% de la population cible a-t-elle des apports adéquats en un certain micronutriment)? (Ce sont des exemples d'évaluations basées sur l'adéquation.<sup>a)</sup>)</li> <li>— La population cible présente-t-elle une amélioration de ses résultats depuis la mise en œuvre du programme (avant-après); ou la population cible présente-t-elle de meilleurs résultats après l'intervention par rapport à un groupe témoin; ou la population cible a-t-elle présenté une plus grande amélioration de ses résultats à la suite de l'intervention par rapport à un groupe témoin? (Ce sont des exemples d'évaluations basées sur la <i>plausibilité</i>.<sup>a)</sup>)</li> <li>— Le groupe tiré au sort pour recevoir l'aliment enrichi a-t-il présenté une plus grande amélioration (avant-après) de ses résultats par rapport à un groupe témoin randomisé? (Ceci est un exemple d'évaluation basée sur la <i>probabilité</i>.<sup>a)</sup>)</li> </ul>

BPF: bonnes pratiques de fabrication; HACCP: analyse des risques – points critiques pour leur maîtrise.

<sup>a)</sup> Les différents types d'évaluations d'impact sont décrits plus en détail dans la section 8.4 des présentes Directives.

TABLEAU 8.2

**Critères proposés pour mesurer les succès à divers stades de la surveillance pour les programmes d'enrichissement des aliments (exprimés en pourcentage d'échantillons qui doivent satisfaire au niveau minimal et au niveau maximal tolérable)**

Stade de la surveillance	Niveau minimal			
	Ménages <sup>a</sup>	Commerces de détail <sup>b</sup>	Production <sup>c</sup>	Niveau maximal tolérable <sup>d</sup>
Interne	100	100	≥80	<20
Externe (inspection)	100	≥80	–	<20
Dans les ménages	≥90	–	–	<10

<sup>a</sup> Le niveau minimal dans les ménages est la quantité d'élément nutritif qui doit être présente dans l'aliment au niveau des ménages avant que cet aliment ne soit utilisé dans la préparation des repas. On estime que cette valeur permet d'atteindre un objectif nutritionnel une fois prises en compte les pertes au cours de la préparation de l'aliment (apport additionnel spécifique en certains éléments nutritifs).

<sup>b</sup> Le niveau minimal dans les commerces de détail (ou le niveau minimal légal) est la teneur en éléments nutritifs de l'aliment enrichi aux points de vente au détail et au moment de la vente. Il est habituellement 20 à 30 % plus élevé que le niveau minimal dans les ménages en ce qui concerne les vitamines et l'iode, et 3 à 5 % plus élevé pour les minéraux.

<sup>c</sup> Le niveau minimal à la production est la teneur en éléments nutritifs de l'aliment enrichi sur le site de production, qui envisage habituellement l'ajout d'un excédent pour compenser les pertes lors de la production, de la distribution et du stockage de l'aliment. Il incombe au fabricant ou à l'importateur de choisir le niveau de cet ajout supplémentaire afin d'assurer que le produit conserve son niveau minimal dans les commerces de détail pendant toute sa durée de commercialisation.

<sup>d</sup> Le niveau maximal tolérable (MTL) est la teneur maximale autorisée d'un micronutriment spécifique dans un aliment enrichi pour assurer qu'aucun consommateur ne reçoit une quantité approchant l'apport maximal tolérable (UL).

opérationnels surviendraient. Le **Tableau 8.3** (345) montre comment certains de ces éléments de la surveillance peuvent être mis en œuvre dans la pratique pour chacun des trois stades de la surveillance réglementaire – interne, externe et commerciale.

Le **Tableau 8.3** mentionne un autre stade de la surveillance, à savoir les audits de qualité pour l'évaluation de la conformité. Il s'agit d'un examen et de tests codifiés d'un lot de produit enrichi pour vérifier sa conformité aux normes. Il doit être réservé à des circonstances spéciales, par exemple lorsqu'on suspecte une non-conformité intentionnelle (auquel cas une action en justice est requise) ou lorsqu'une certification d'un lot de produit avant exportation est nécessaire.

### 8.2.1 Surveillance interne (contrôle et assurance de la qualité)

D'une manière générale, le terme *assurance de la qualité* (ou assurance qualité) désigne la mise en œuvre des activités planifiées et systématiques qui sont nécessaires pour assurer que des produits ou des services répondent aux normes de qualité. La performance de l'assurance qualité peut être exprimée de façon

TABLEAU 8.3

**Activités de surveillance réglementaire proposées pour un programme d'enrichissement des aliments**

Stade de la surveillance	Action/indicateur (critère de succès)	Fréquence/chronologie	Méthodologie et entité responsable de l'action
Surveillance interne (contrôle et assurance de la qualité)	BPF appliquées	Une fois par jour	<i>Méthode</i> : Suivre un manuel de BPF approuvé par la direction de l'entreprise. <i>Responsable</i> : Directeur de l'entreprise.
	Système HACCP en place, s'il y a lieu	Une fois par jour	<i>Méthode</i> : Suivre un manuel de HACCP approuvé par la direction de l'entreprise <i>Responsable</i> : Directeur de l'entreprise.
	Prémélanges disponibles en quantité suffisante pour 15 jours de production	Une fois par jour	<i>Méthode</i> : Inventaire permanent des prémélanges de micronutriments en stock et en usage. Confirmer que les lots de prémélange sont utilisés dans l'ordre de leur production. <i>Responsable</i> : Directeur de l'entreprise
	Dosage dans les proportions correctes	Au moins une fois par période de travail de 8 heures	<i>Responsable</i> : Directeur de l'entreprise <i>Méthode</i> : Assurer que le flux de prémélange suit le flux de production de façon que la moyenne théorique soit conforme aux prévisions et que le niveau minimal à la production soit toujours atteint.
	Tests de confirmation (au moins 80 % des échantillons satisfait au niveau minimal à la production et moins de 20 % atteignent le niveau maximal tolérable)	Au moins une fois toutes les 8 heures; si les critères de succès ne sont pas remplis, la fréquence de l'échantillonnage devra être augmentée jusqu'à une fois toutes les 2-4 heures	<i>Responsable</i> : Service contrôle qualité de l'entreprise <i>Méthode</i> : Prélèvement au hasard un ou plusieurs échantillons sur la chaîne d'emballage. Un test semi-quantitatif rapide peut être utilisé à intervalles plus rapprochés, mais au moins un échantillon composite par jour devra être analysé par une méthode quantitative.

TABLEAU 8.3

**Activités de surveillance réglementaire proposées pour un programme d'enrichissement des aliments (suite)**

Stade de la surveillance	Action/indicateur (critère de succès)	Fréquence/chronologie	Méthodologie et entité responsable de l'action
Surveillance externe Entreprise (inspection et audit technique)	Le centre d'enrichissement applique les procédures de contrôle et d'assurance de la qualité et tient des registres à jour	Au moins une fois tous les 3-6 mois ; si des problèmes sont détectés, la fréquence des visites sera augmentée à 1-4 fois par mois	<i>Méthode</i> : Réaliser un audit pour vérifier la bonne exécution des procédures de contrôle et d'assurance de la qualité et la bonne tenue des registres, ainsi que l'application des BPF par les centres d'enrichissement. <i>Responsable</i> : Services officiels de contrôle des denrées alimentaires.
	Tests de confirmation (au moins 80 % des échantillons satisfont au niveau minimal légal et moins de 20 % atteignent le niveau maximal tolérable)	Combiner les tests et les visites pour examiner les BPF et les procédures de contrôle et d'assurance de la qualité ; si des fautes ou des erreurs graves sont suspectées, prévoir un audit de qualité pour l'évaluation de la conformité	<i>Méthode</i> : Prélever 5 échantillons individuels de produit emballé et 5 échantillons sur la chaîne de production, et les tester pour vérifier la conformité. <i>Responsable</i> : Services officiels de contrôle des denrées alimentaires.
Points d'importation (applicable aux produits importés/donnés)	Se procurer un certificat de conformité <sup>a</sup> pour la vente auprès du pays d'origine	Chaque fois qu'un lot de produit entre dans le pays	<i>Méthode</i> : Examiner la documentation, la qualité et l'étiquetage des produits dans les entrepôts des douanes. <i>Responsable</i> : Fonctionnaires de l'importation en collaboration avec les services officiels de contrôle des denrées alimentaires.
	Tests de confirmation (au moins 80 % des échantillons satisfont au niveau minimal légal et moins de 20 % atteignent le niveau maximal tolérable)	Combiner avec l'examen des documents d'importation ; si des fautes ou des erreurs graves sont suspectées, prévoir un audit de qualité pour l'évaluation de la conformité	<i>Méthode</i> : Prélever au hasard 5 échantillons du lot et les tester pour vérifier leur conformité au niveau minimal légal et au niveau maximal tolérable. <i>Responsable</i> : Fonctionnaires de l'importation en collaboration avec les services officiels de contrôle des denrées alimentaires.

Commerciale (inspection dans les commerces de détail)	Tests de confirmation (au moins 80 % des échantillons satisfont au niveau minimal légal et moins de 20% atteignent le niveau maximal tolérable)	Examen systématique et permanent du produit distribué dans toutes les régions du pays ; chaque région doit être visitée au moins une fois par an.	<i>Méthode</i> : Visiter les stocks et y prélever des échantillons ; envoyer les échantillons aux laboratoires officiels pour des tests quantitatifs. Au niveau local, des tests semi- quantitatifs peuvent aussi être utilisés pour confirmer la présence du micronutriments ajouté si une fraude est suspectée. <i>Responsable</i> : Personnel local des institutions publiques (p. ex. représentants des ministères de la santé et de l'industrie et des organisations de protection des consommateurs).
Audit de qualité pour l'évaluation de la conformité	Vérifier que le lot à la production ou stocké répond aux normes lorsqu'il est analysé selon des critères statistiques d'échantillonnage	Chaque fois qu'une action en justice est nécessaire ; peut aussi être demandé et financé par le producteur pour certifier le lot de production pour l'exportation.	<i>Méthode</i> : Visiter les centres d'enrichissement suspectés de non-conformité aux règlements et normes, ou sur demande de l'industrie exportatrice. Suivre les recommandations techniques de la Commission du Codex Alimentarius (345) ou toutes directives équivalentes appropriées pour cette activité. <i>Responsable</i> : Personnel de l'organisme public de contrôle des denrées alimentaires ; comme les visites aux centres d'enrichissement sont effectuées en cas de suspicion de non-conformité aux règlements et normes, ces activités doivent être menées en présence d'observateurs indépendants.

BPF: bonnes pratiques de fabrication ; HACCP: analyse des risques – points critiques pour leur maîtrise.

<sup>a</sup> Le certificat de conformité est un document attestant que le produit importé répond à une série de normes spécifiques.

numérique en termes de résultats des procédures de contrôle de la qualité. Le *contrôle de la qualité* (ou contrôle qualité) désigne les techniques et les évaluations utilisées pour documenter la conformité aux normes techniques par l'emploi d'indicateurs objectifs et mesurables applicables aux produits ou aux services considérés.

On peut trouver des informations détaillées sur le contrôle et l'assurance de la qualité dans les nombreux manuels consacrés à cette question et dans les publications sur les bonnes pratiques de fabrication (BPF) (346). Dans les présentes Directives, la question du contrôle et de l'assurance de la qualité est envisagée du seul point de vue de la santé publique et en mettant l'accent sur les indicateurs et critères applicables au processus d'enrichissement des aliments. Dans ce contexte, l'**assurance de la qualité** consiste donc à établir les procédures suivantes :

- obtenir des fournisseurs un certificat de qualité<sup>1</sup> pour tous les mélanges de micronutriments utilisés;
- demander, recevoir et stocker de façon systématique, programmée et selon les délais les ingrédients et les fournitures pour la préparation d'un prémélange;<sup>2</sup>
- produire le prémélange selon un calendrier adapté au rythme de fabrication et d'enrichissement des produits alimentaires;
- contrôler la performance du matériel servant à préparer le prémélange;
- étiqueter et livrer le prémélange de façon appropriée;
- utiliser le prémélange toujours dans le même ordre de production (premier entré, premier sorti);
- vérifier le fonctionnement approprié des machines d'alimentation et des mélangeurs de façon systématique et continue;
- assurer que le produit est correctement emballé, étiqueté, entreposé et expédié.

Il est possible que d'autres variables, comme le pH et l'exposition au temps/à la température, puissent affecter la stabilité des micronutriments ajoutés et doivent

<sup>1</sup> Les mélanges de micronutriments doivent être accompagnés d'un document certifiant leur teneur en éléments nutritifs. C'est habituellement le cas pour les produits transportés par des compagnies internationales spécialisées dans cette tâche.

<sup>2</sup> Un prémélange est une combinaison du mélange de micronutriments et d'un autre ingrédient, souvent constitué par le même aliment que celui qui sera enrichi, avec pour but de réduire le facteur de dilution et d'améliorer la répartition du mélange de micronutriments dans l'aliment et de garantir qu'il n'y aura pas de séparation (ségrégation) entre l'aliment et les particules de micronutriments.

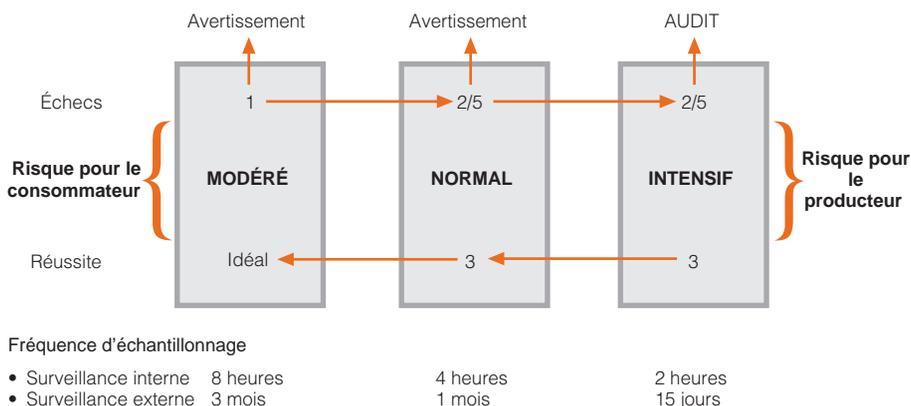
également être prises en compte lors de la conception des programmes d'assurance qualité.

Les procédures de **contrôle de la qualité** consistent classiquement en un prélèvement d'échantillons de l'aliment enrichi, par lots ou en continu selon le système de production, et en une détermination de leur teneur en micronutriments. Quelle que soit la méthode d'échantillonnage, le nombre d'échantillons à prélever sera dicté par la régularité et la fiabilité du processus d'enrichissement. Un processus très homogène et régulier, quels que soient la taille des lots ou le rythme de production, nécessitera un plus petit nombre d'échantillons qu'un autre qui donnerait des résultats variables. Néanmoins, même dans les conditions les plus reproductibles, il importe de prélever et d'analyser des échantillons en routine pour vérifier et documenter la conformité aux normes techniques.

La **Figure 8.2** illustre un système d'échantillonnage dynamique convenant pour un processus de production continue. Dans des conditions optimales de fonctionnement, un échantillon de produit par période de travail de 8 heures pourrait suffire ; l'intensité de l'échantillonnage serait alors qualifiée de *modérée*. Si le produit ne remplit pas les spécifications techniques (c'est-à-dire si sa teneur en micronutriment est inférieure au minimum de l'entreprise de production ou supérieure au niveau maximal tolérable), la fréquence de l'échantillonnage devra être augmentée jusqu'à une intensité dite *normale* et des mesures correctrices seront prises. Dans une situation « normale », si sur cinq échantillons consécutifs deux ne répondent pas aux normes techniques, on passera à un échantillonnage dit *intensif* et on prendra des mesures correctrices. Si à nouveau deux échantillons sur cinq ne répondent pas aux normes, la production sera arrêtée jusqu'à ce que

FIGURE 8.2

### Exemples de fréquence et d'intensité de l'échantillonnage pour la surveillance de la conformité aux normes



la cause du problème soit trouvée et que les mesures correctrices nécessaires aient été mises en œuvre.

Lors de la reprise de la production, on commencera l'échantillonnage à un rythme intensif puis on passera au rythme normal et enfin au rythme modéré si à chaque fois, trois échantillons consécutifs répondent aux normes techniques. Cette dernière situation implique un certain niveau de risque pour le consommateur; si l'échantillonnage est peu fréquent, il y a davantage de chances que quelques lots non conformes parviennent sur le marché. Lorsque l'échantillonnage est fréquent (situation d'échantillonnage intensif), la probabilité de détecter un écart même mineur par rapport à la norme est augmentée, ce qui obligera le producteur à consacrer du temps et des ressources à la résolution du problème (risque pour le producteur). Les situations d'échantillonnage modéré ou normal ne doivent pas être perçues comme positives ou négatives; elles reflètent simplement la performance du processus d'enrichissement au moment de l'évaluation. Les résultats du contrôle de qualité doivent être soigneusement consignés et conservés car ils documentent l'historique de l'efficacité du processus d'enrichissement et son degré de supervision par le producteur.

Comme les résultats doivent être obtenus sans délai (de façon à pouvoir prendre rapidement des mesures correctrices), les procédures de contrôle de la qualité doivent reposer sur des analyses simples et rapides. Celles-ci ne doivent pas nécessairement avoir une résolution analytique élevée (c'est-à-dire être capables de faire la distinction entre de petits intervalles de concentration), mais il est indispensable qu'elles puissent déterminer si les normes d'enrichissement sont respectées (c'est-à-dire si la teneur en micronutriment n'est pas inférieure au niveau minimal à la production ni supérieure au niveau maximal tolérable). À cet égard, les tests semi-quantitatifs peuvent être très utiles et on a essayé ces dernières années de développer des kits basés sur des analyses semi-quantitatives. Des kits pour le dosage de l'iode dans le sel, par exemple, ont été développés mais n'ont à l'heure actuelle rencontré qu'un succès limité; ceux qui sont actuellement sur le marché se sont avérés assez peu fiables (347). Il est manifeste que de nouvelles recherches devront être entreprises avant que des tests semi-quantitatifs puissent être plus largement utilisés dans l'industrie agroalimentaire.

### 8.2.2 Surveillance externe (inspection et audits techniques)

Une forme ou une autre de surveillance externe par les services gouvernementaux de contrôle des denrées alimentaires est indispensable pour assurer que les producteurs se conforment aux normes techniques approuvées qui garantissent la qualité et l'innocuité de l'enrichissement des aliments. Le fait de savoir que leurs produits peuvent être contrôlés à tout moment incite en général fortement

les producteurs à adopter un processus de production acceptable et à l'assortir des procédures appropriées de contrôle et d'assurance de la qualité. Dans les pays industrialisés, il suffit habituellement de confirmer une fois par an (ou même moins souvent) la teneur en éléments nutritifs indiquée sur l'étiquette des produits à partir d'échantillons prélevés sur le marché (voir Surveillance commerciale, section 8.2.3). Cependant, dans la plupart des pays en développement, où il est très difficile de détecter et de retirer un lot défectueux une fois que le produit a atteint les commerces de détail, il est souhaitable de mettre également en place une surveillance externe au niveau de l'entreprise.

La surveillance externe associe deux types de mesures :

- vérifier l'exécution et les registres des procédures d'assurance de la qualité mise en place par le producteur (*audit technique*) ;
- confirmer que le produit répond aux spécifications techniques au niveau de l'entreprise, sur les sites d'emballage et aux points d'entrée dans le pays (*inspection*).

Dans l'idéal, l'inspection et la vérification de la conformité aux normes légales devraient être basées sur l'évaluation analytique de la teneur du produit alimentaire en micronutriments au moyen d'un test quantitatif. Tous les échantillons doivent contenir le composé d'enrichissement ; au moins 80% des échantillons des entreprises, des sites d'importation et des entrepôts doivent contenir le minimum légal, et moins de 20% des échantillons doivent avoir une teneur en micronutriments supérieure (mais pas de beaucoup) au niveau maximal tolérable (**Tableau 8.2**). S'il s'avère que ce n'est pas le cas, des visites plus fréquentes dans l'entreprise aux fins d'audit technique et d'inspection sont justifiées (voir **Figure 8.2**).

Les produits importés doivent être traités de la même manière que les produits de fabrication locale, mais au lieu de vérifier les procédures de contrôle et d'assurance de la qualité documentées par le producteur, on examinera le certificat de conformité produit par le pays d'origine. Cependant, les services de contrôle des denrées alimentaires pourront confirmer la conformité aux normes techniques sur des échantillons prélevés dans les arrivages de produits importés.

L'intensité de l'échantillonnage et la fréquence des inspections dépendent de la reproductibilité du processus d'enrichissement et devront être déterminées pour chaque type d'entreprise industrielle dans les conditions propres à chaque pays. Par exemple, pour l'enrichissement du sel dans de petites entreprises, les inspections peuvent avoir lieu tous les 15 jours, pour l'industrie du sucre une fois par mois et pour les minoteries une fois tous les six mois. En théorie, l'échantillonnage doit se faire suivant une base statistique, telle que celle recommandée par la Commission du Codex Alimentarius (345). Mais en

pratique, le nombre d'échantillons et le travail d'analyse nécessaire peuvent dépasser les capacités des ressources humaines, financières et matérielles des services de contrôle des denrées alimentaires de nombreux pays en développement. Pour la surveillance au jour le jour et les visites d'inspection de routine, les procédures d'échantillonnage préconisées par le Codex Alimentarius sont souvent peu pratiques et peu réalistes et doivent être réservées aux situations dans lesquelles un audit de qualité pour l'évaluation de la conformité est indispensable (par exemple dans les cas où un certificat de conformité pour l'exportation est nécessaire ou en cas de litige juridique pouvant entraîner des sanctions graves) (voir **Tableau 8.3**).

Un système de surveillance plus simple et meilleur marché, reposant sur le concept de *tests de confirmation*, a été adopté avec succès par certains pays d'Amérique centrale. Ces tests consistent à vérifier la conformité aux normes d'enrichissement sur un petit nombre d'échantillons (par exemple 5–10 échantillons de produit prélevés dans l'entreprise) au moment de la visite d'audit technique; les échantillons sont prélevés sur la chaîne de fabrication et dans les entrepôts. Au moins 80 % des échantillons doivent contenir le minimum légal de micronutriment, et moins de 20 % des échantillons doivent dépasser, mais pas de beaucoup, le niveau maximal tolérable. Si ces critères ne sont pas remplis, un avertissement est prononcé et des visites plus fréquentes aux fins d'audit technique et d'inspection doivent être planifiées dans les entreprises où le produit est fabriqué. Dans les cas extrêmes, un audit de qualité pour l'évaluation de la conformité pourra être nécessaire (**Tableau 8.3**). Le concept de ces tests repose sur le principe selon lequel la qualité incombe principalement aux producteurs; les services gouvernementaux n'interviennent qu'en tant que représentants du public, et pour garantir que la surveillance a réellement lieu.

### 8.2.3 Surveillance commerciale

Comme c'est le cas pour toutes les autres denrées alimentaires produites industriellement, les aliments enrichis en micronutriments, que l'enrichissement soit volontaire ou en réponse à une demande dans l'intérêt de la santé publique, doivent être correctement identifiés par un étiquetage approprié. Celui-ci doit mentionner au minimum la marque du produit, l'adresse de l'entité responsable et la teneur minimale légale pour le micronutriment ajouté, et également, si les possibilités techniques de l'entreprise de production le permettent, la date de conservation minimale, le numéro de lot et la date de production.

Comme on l'a vu dans la section précédente, dans les pays industrialisés, la surveillance réglementaire externe se limite en général à une confirmation de la teneur en micronutriment et à un contrôle des allégations figurant sur l'étiquetage, pratiqués sur des échantillons obtenus dans les commerces de détail. Si les normes ne sont pas respectées, il existe des mécanismes de rappel des produits

défectueux et de suppression des allégations trompeuses. Du fait de la stricte application de la réglementation et des lourdes sanctions en cas de non-conformité, il est très rare qu'un producteur prenne le risque d'enfreindre la réglementation et, dans l'ensemble, ce système fonctionne bien. Dans les pays en développement, comme on l'a déjà vu, il n'est pas toujours possible de retrouver et de retirer un lot défectueux une fois le produit mis sur le marché, et il est donc nécessaire de surveiller la conformité aux normes de qualité et aux allégations figurant sur l'étiquetage à la fois au niveau de l'entreprise de production et des commerces de détail (voir aussi section 8.2.2).

Dans de nombreux endroits, surtout dans les pays en développement, la surveillance commerciale peut être particulièrement utile pour identifier les marques et les entreprises qui nécessitent un examen plus attentif. Un système fondé sur les tests de confirmation, tel que proposé plus haut pour les entreprises de production, peut tout aussi bien s'appliquer au domaine commercial; un ou deux échantillons de chaque marque dans chaque magasin peuvent être utilisés pour contrôler la conformité aux normes. Si des anomalies sont découvertes, un audit technique complet de l'entreprise de production ou de la société d'importation se justifiera. Des tests semi-quantitatifs permettant de détecter la présence de micronutriments peuvent être utiles pour la surveillance au niveau des commerces de détail et pour aider à faire respecter la réglementation à l'échelon local. Cependant, toute action en justice doit être basée sur les résultats de tests quantitatifs réalisés dans le cadre d'un audit de la qualité pratiqué dans l'entreprise de production.

Un programme national d'enrichissement (fortification) des huiles végétales en vitamines A et D a été mis en place au Maroc en 2002. Le système élaboré dans ce pays pour surveiller la qualité du produit enrichi est décrit en détail à l'**Annexe E** et sert à illustrer l'application pratique des principes de la surveillance réglementaire exposés ici.

### 8.3 Surveillance au niveau des ménages

Il est généralement admis qu'une fois qu'il a été démontré par la surveillance réglementaire qu'un produit enrichi est de la qualité requise au niveau des commerces de détail, le même produit sera de qualité similaire lorsqu'il parviendra aux ménages et aux individus. Comme le produit peut s'être détérioré pendant le stockage, il est toujours recommandé de confirmer cette supposition. On ne peut pas non plus affirmer que, parce que des aliments enrichis sont disponibles à la vente dans les commerces de détail, ils seront nécessairement consommés par la population cible; les consommateurs pourront acheter des aliments non enrichis de préférence aux aliments enrichis (si les deux types d'aliments sont disponibles au niveau local). Même si officiellement seuls des produits enrichis sont disponibles dans les commerces de détail, les consommateurs peuvent se

procurer des produits non enrichis (probablement moins chers) par des canaux non officiels tels que la contrefaçon et la vente au porte-à-porte.

### 8.3.1 Buts et objectifs

En bref, la surveillance au niveau des ménages a pour but d'évaluer si un programme fournit ou non à la population cible des produits enrichis de façon appropriée en quantités suffisantes et à des prix abordables. Plus spécifiquement, la surveillance au niveau des ménages peut répondre aux questions suivantes :

- Les produits enrichis sont-ils accessibles (c'est-à-dire disponibles et à un prix abordable) aux ménages et aux individus visés par le programme? Sont-ils de la qualité attendue et sont-ils disponibles dans les commerces de détail des régions et communautés visées?
- Les produits enrichis sont-ils achetés par les ménages visés, compte tenu des goûts et des préférences ainsi que des modes de consommation alimentaire? Si non, pourquoi les produits enrichis ne sont-ils pas achetés? Est-ce parce qu'ils sont inabordables (coût), parce que leur saveur et leur aspect sont modifiés par le processus d'enrichissement, ou parce qu'ils ne font pas partie des types habituels d'aliments consommés par la population cible?
- Les produits enrichis sont-ils achetés et consommés en quantités suffisantes par les diverses personnes constituant le ménage pour répondre aux objectifs nutritionnels du programme (c'est-à-dire augmenter les apports en micronutriments et/ou couvrir des besoins prédéfinis en micronutriments)? Si non, est-ce en raison de pratiques culturelles concernant le bien-fondé de la consommation de ces produits par les divers membres du ménage (selon l'âge, l'état physiologique, etc.), ou est-ce en raison des goûts et des préférences de ces personnes, ou encore en raison d'une répartition inégale de la nourriture au sein du ménage?
- Quels individus ou groupes de population ne sont pas atteints par le programme d'enrichissement des aliments et pourquoi?
- Chacun des membres de la famille consomme-t-il des quantités suffisantes de produits enrichis pour augmenter ses apports alimentaires en micronutriments spécifiques (et/ou pour répondre aux objectifs nutritionnels du programme pour les divers groupes d'âge/d'état physiologique)?

La surveillance au niveau des ménages concerne trois aspects fondamentaux de la performance du programme, à savoir la fourniture, l'utilisation et la couverture (voir section 8.1). Les activités de surveillance au niveau des ménages destinées à évaluer chacun de ces aspects de la performance du programme d'enrichissement

des aliments sont présentées dans le **Tableau 8.4** ; dans chaque cas, des indicateurs appropriés et des méthodes de collecte de données sont proposés.

### 8.3.2 Méthodologie

Comme le montre le **Tableau 8.4**, diverses approches peuvent être utilisées pour rassembler des données aux fins d'évaluation de la performance du programme en termes de fourniture, d'utilisation et de couverture. La collecte primaire de données dans le cadre du système global de surveillance et d'évaluation du programme est une des options. Autrement, et c'est souvent une solution plus pratique, il peut être possible de se joindre à d'autres programmes qui comportent un élément de collecte continue ou régulière de données, ou de « profiter » de ces programmes. Par exemple, certains pays d'Amérique centrale pratiquent des recensements scolaires à intervalles réguliers ; il est alors relativement facile de recueillir des échantillons de produits enrichis, par exemple du sucre enrichi en vitamine A ou du sel iodé, en demandant aux élèves d'apporter en classe un petit échantillon pris à la maison. D'autres systèmes de collecte de données en routine peuvent fournir l'occasion de « profiter » d'autres programmes, comme les sondages en grappes (sur 30 grappes), la surveillance de sites sentinelles et les systèmes d'échantillonnage par lots pour l'assurance de la qualité (6, 348–350). Ces types de systèmes simples de surveillance sont largement utilisés pour surveiller la couverture vaccinale, l'iodation universelle du sel et d'autres interventions de soins de santé primaires. Si de tels systèmes ne sont pas déjà en place, ils peuvent être établis spécialement pour le programme d'enrichissement des aliments. On trouvera ailleurs des conseils sur la façon de mettre en place des systèmes relativement simples de collecte de données et des exemples de leur application réussie dans des contextes de soins de santé (6, 351–353).

Les enquêtes de marché sont un des moyens de rassembler des données sur le prix et la disponibilité des produits enrichis dans les commerces de détail ; ces données sont utiles pour surveiller la fourniture des services. De nombreux pays ont déjà des systèmes de collecte de données sur les prix pour un certain nombre de denrées alimentaires, auquel cas il suffit d'ajouter les produits enrichis à la liste des denrées surveillées. Cependant, la surveillance de l'utilisation et de la couverture du programme nécessite la collecte de données au niveau des ménages et de l'individu. N'importe lequel des systèmes simples de collecte de données mentionnés ci-dessus peut être utilisé pour recueillir des informations relatives à l'utilisation du programme. Une autre option consiste à réaliser des enquêtes sur des ménages et communautés représentatifs, mais elles tendent à être plus coûteuses. Ici encore, il est possible de profiter de supports existants de collecte de données ou d'enquêtes réalisées au niveau des ménages. De plus, des approches qualitatives, avec observations, entretiens avec des informateurs et

TABLEAU 8.4

**Activités de surveillance au niveau des ménages proposées pour un programme d'enrichissement des aliments**

Aspect de la performance du programme	Indicateur (critère de réussite)	Fréquence/chronologie	Méthodologie et entité responsable de l'action
Fourniture	Volume de produit vendu à un prix abordable dans les commerces de détail des régions cibles (critères spécifiques à déterminer)	Au moins une fois par an	<p><i>Méthode:</i> Soit par une nouvelle collecte de données soit en ajoutant des questions appropriées à des systèmes existants de collecte de données tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— enquêtes transversales en communauté;</li> <li>— enquêtes transversales dans les ménages;</li> <li>— enquêtes ou recensements scolaires;</li> <li>— sondages par 30 grappes;</li> <li>— surveillance de sites sentinelles;</li> <li>— échantillonnage par lots pour l'assurance de la qualité;</li> <li>— enquêtes de marché.</li> </ul> <p><i>Responsable:</i> Unité de surveillance et d'évaluation du programme (le cas échéant), personnes chargées du programme existant de collecte de données sur lequel se greffe l'étude, ou chercheurs.</p>
Utilisation	<p>Nombre ou proportion des ménages achetant régulièrement des produits enrichis</p> <p>Nombre ou proportion de ménages cibles dans lesquels des produits enrichis sont présents</p> <p>Nombre ou proportion des membres des ménages consommant régulièrement des produits enrichis</p>	Au moins une fois par an	<p><i>Méthode:</i> Comme pour la partie Fourniture, sauf en ce qui concerne les enquêtes de marché, sans objet ici.</p> <p><i>Responsable:</i> Comme pour la partie Fourniture.</p>
Couverture	<p>Proportion des ménages ou des membres des ménages consommant des produits enrichis à la fréquence prévue et en quantités suffisantes pour remplir les objectifs nutritionnels du programme (niveau acceptable à déterminer)</p> <p>Modifications observées de l'état nutritionnel depuis la mise en œuvre du programme d'enrichissement grâce aux apports des produits enrichis et de l'alimentation courante (modifications acceptables à déterminer)</p>	Une fois par an jusqu'à ce qu'un niveau de couverture acceptable soit atteint; ensuite, une fois tous les 3-5 ans	<p><i>Méthode:</i> Enquêtes dans les ménages, soit spécifiques du programme soit s'ajoutant à des enquêtes existantes ou prévues, selon la disponibilité des ressources locales. Cependant, pour calculer un dénominateur approprié pour les estimations de la couverture, il est nécessaire d'avoir un échantillon représentatif de la population cible.</p> <p><i>Responsable:</i> Unité de surveillance et d'évaluation du programme (le cas échéant) ou chercheurs.</p>

discussions en groupes, peuvent être utiles pour rassembler des informations sur la mise en œuvre du programme et la fourniture de services, l'utilisation des produits enrichis, et les perceptions des usagers sur les produits enrichis par rapport aux produits non enrichis.

Pour évaluer la couverture d'un programme d'enrichissement des aliments, on procède habituellement en déterminant quelle est la proportion, parmi les individus à risque, de ceux qui consomment les produits enrichis en quantités et selon une fréquence suffisantes. Donc, pour évaluer la couverture du programme, il est nécessaire d'avoir des informations sur le nombre d'individus à risque. Celles-ci peuvent être obtenues à partir des recensements ou en réalisant une enquête sur un échantillon de population représentatif. Des estimations de la quantité du ou des produits consommés et du ou des micronutriments concernés sont également nécessaires.

Il existe deux approches pour l'évaluation de la couverture des programmes. La première comporte une évaluation de l'apport alimentaire total du micronutriment considéré, en tenant compte ou non de la consommation de l'aliment enrichi. Elle permet d'estimer le pourcentage de la population, en analysant séparément chaque groupe cible (par exemple enfants d'âge préscolaire, adolescents, femmes) qui, d'apports inférieurs au BME pour le micronutriment considéré, passe à des apports dépassant cette valeur. La proportion de la population qui passe d'apports inférieurs à des apports supérieurs au BME constitue une mesure de la réussite du programme. La deuxième approche consiste à estimer l'apport supplémentaire qui résulterait de la consommation de l'aliment enrichi. Dans ce cas, la mesure de la réussite du programme est donnée par la proportion de la population qui reçoit cet apport supplémentaire. Les critères de réussite varieront inévitablement en fonction des objectifs spécifiques du programme et devront être fixés en conséquence. Il peut toutefois être utile de fixer des critères plus stricts pour la mesure de la couverture de programmes d'enrichissement ciblés, en termes de proportion de la population qui en bénéficiera, afin d'assurer que les personnes qui ont le plus besoin d'aliments enrichis y auront réellement accès.

### 8.4 Évaluation de l'impact du programme

Le principal objet de l'évaluation d'une intervention quelle qu'elle soit est de déterminer si elle atteint ou non son objectif global. Dans le cas de programmes d'enrichissement des aliments, l'objectif principal est l'amélioration de l'état nutritionnel de la population cible. Les évaluations d'impact de la plupart des programmes axés sur la santé et la nutrition, dont les interventions d'enrichissement des aliments, sont cependant rarement réalisées, en partie du fait qu'elles sont perçues comme étant complexes, coûteuses et parfois inquiétantes. Les résultats des évaluations d'impact sont pourtant des outils décisionnels importants, capables de répondre à des questions telles que :

- La consommation d'un aliment enrichi particulier a-t-elle augmenté jusqu'à atteindre le niveau attendu à la suite d'un programme d'enrichissement des aliments ?
- L'apport en certains éléments nutritifs a-t-il augmenté jusqu'à atteindre le niveau attendu à la suite d'un programme d'enrichissement des aliments ?
- L'état nutritionnel de certains groupes (en ce qui concerne certains micronutriments) s'est-il amélioré à la suite d'un programme d'enrichissement des aliments ?
- Le programme d'enrichissement des aliments a-t-il réduit la prévalence de certaines carences en micronutriments ?
- Le programme d'enrichissement des aliments a-t-il réduit la prévalence de résultats fonctionnels insuffisants, comme le ralentissement de la croissance, la morbidité due à des maladies infectieuses et parasitaires, la mortalité chez l'enfant et le retard du développement moteur et cognitif ?
- Le programme d'enrichissement des aliments a-t-il été plus efficace pour améliorer le statut en certains micronutriments qu'en certains autres et/ou dans certains groupes d'âge/d'état physiologique que dans d'autres ?

Les sous-sections qui suivent examinent diverses méthodologies qui peuvent être utilisées pour évaluer les programmes d'enrichissement des aliments, en mettant en lumière dans chaque cas les objectifs et les contextes pour lesquels elles conviennent le mieux. Même si toutes les évaluations de programmes n'exigent pas nécessairement les méthodes les plus sophistiquées et par conséquent les plus coûteuses, l'impartialité est toujours un critère vital. Pour garantir l'impartialité des évaluations d'impact, il est recommandé de les effectuer sous l'égide de groupes de recherche indépendants ou d'organismes internationaux. Dans l'idéal, les fonds nécessaires pour les activités de surveillance et d'évaluation devraient être attribués au moment de la conception du programme et de sa budgétisation, sans toutefois exclure la possibilité de les compléter ultérieurement grâce à des organismes donateurs.

#### 8.4.1 Méthodologie de l'évaluation d'impact

Il existe différents moyens pour procéder à l'évaluation de l'impact d'un programme d'enrichissement des aliments. Le choix de la méthode devra toutefois être dicté par l'objectif spécifique de l'évaluation et par les ressources disponibles. Le degré de précision requis pour répondre aux besoins des décideurs en ce qui concerne l'efficacité de leur programme est un autre facteur important à garder à l'esprit lors du choix d'une méthode d'évaluation.

Habicht et al. (344) ont élaboré un moyen utile pour classer les diverses approches de l'évaluation des interventions de santé publique. Cette classification

part du principe que le choix de la méthode d'évaluation repose sur la précision des données dont les décideurs ont besoin pour être en mesure de déclarer que le programme évalué a été efficace. Trois niveaux d'évaluation sont envisagés, selon l'*adéquation*, la *plausibilité* et la *probabilité*. L'application de cette classification à l'évaluation des programmes d'enrichissement des aliments est présentée dans le **Tableau 8.5**.

#### 8.4.1.1 Évaluation basée sur l'adéquation

Une évaluation basée sur l'*adéquation* constitue le meilleur choix lorsque l'objectif est d'évaluer si la prévalence d'une carence en un micronutriment particulier se situe à un niveau prédéterminé ou au-dessous. Par exemple, un programme d'enrichissement peut avoir pour but d'abaisser la prévalence de la carence en fer chez l'enfant à 10% ou moins (ou tout autre seuil choisi pour définir un problème de santé publique). Dans ce cas, le programme sera adéquat si l'évaluation montre que la prévalence de la carence en fer au moment où elle a été réalisée était inférieure à la valeur seuil fixée à 10%. De même, si un programme vise à augmenter, dans un groupe de population cible, la consommation de farine de blé enrichie jusqu'à un niveau prédéfini, l'évaluation basée sur l'adéquation devra simplement démontrer que ce niveau de consommation (ou un niveau de consommation plus élevé) a été atteint par la population visée.

Les évaluations basées sur l'adéquation sont les plus simples (et les moins coûteuses) à réaliser, essentiellement parce qu'elles ne nécessitent pas de randomisation ni d'utilisation d'un groupe témoin (**Tableau 8.5**). Néanmoins, elles exigent le même niveau de rigueur scientifique que tout autre type d'évaluation. Parmi les types d'études appropriés on peut citer les enquêtes transversales en temps unique axées sur le résultat choisi.

#### 8.4.1.2 Évaluation basée sur la plausibilité

Une évaluation basée sur la *plausibilité* vise à démontrer, avec un degré de certitude déterminé, que la baisse observée, par exemple de la prévalence de la carence en fer, est liée au programme d'enrichissement évalué. De nombreux facteurs sans rapport avec l'enrichissement des aliments peuvent réduire la prévalence de la carence en fer, et la réduction peut alors être attribuée à tort au programme si l'évaluation n'en tient pas compte. Par exemple, si des mesures de santé publique ont été prises pour combattre les maladies infectieuses et parasitaires, ou si des programmes de développement visant à accroître les revenus ont entraîné une augmentation de la consommation de produits d'origine animale dans la population cible, l'absence de prise en compte de ces effets extérieurs au programme pourrait conduire à attribuer à tort la réduction de la carence en fer à l'enrichissement des aliments. Il importe donc que les évaluations

TABLEAU 8.5

**Évaluation de l'impact des programmes d'enrichissement des aliments sur l'état nutritionnel : diverses approches**

Type d'évaluation	But de l'évaluation	Conditions requises selon la méthodologie d'évaluation
Adéquation	Évaluer si la prévalence de carences spécifiques en micronutriments (ou la valeur des apports en micronutriments spécifiques) est acceptable ou si elle constitue un problème de santé publique.	Les évaluations basées sur l'adéquation nécessitent une enquête transversale sur les apports en éléments nutritifs ou sur les indicateurs cliniques, fonctionnels ou biochimiques de carence, réalisée à un moment donné. Les données de prévalence doivent être évaluées par rapport à des critères établis d'adéquation, ou d'existence d'un problème de santé publique. L'évaluation doit être axée sur les carences en micronutriments d'intérêt majeur et qui peuvent être fournis au moyen d'aliments enrichis.
Plausibilité	Être en mesure de déclarer qu'il est plausible que l'enrichissement des aliments soit la cause des modifications de l'état nutritionnel.	Les évaluations basées sur la plausibilité nécessitent une méthodologie quasi-expérimentale, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> <li>— une étude transversale comparant les ménages (ou les individus) qui ont consommé des aliments enrichis avec un groupe comparable qui n'en a pas consommé;</li> <li>— une étude longitudinale dans laquelle des mesures sont enregistrées chez les mêmes individus avant et après une période d'enrichissement des aliments ;</li> <li>— une étude longitudinale dans laquelle des mesures sont enregistrées avant et après une période d'enrichissement des aliments dans un groupe ayant reçu des aliments enrichis et dans un groupe n'en ayant pas reçu ; cette méthode permet de tenir compte des modifications dues à d'autres facteurs (par exemple prix des aliments, situation économique du pays) ;</li> <li>— une étude cas-témoins comparant les cas ayant consommé des aliments enrichis avec des témoins qui n'en ont pas consommé mais qui sont similaires par de nombreuses caractéristiques pertinentes, comme la situation socio-économique, le lieu de résidence (situation géographique, zone urbaine ou rurale, composition du ménage), le sexe, l'âge (témoins appariés).</li> </ul>
Probabilité	Déterminer, avec un niveau de probabilité fixé à l'avance, que les modifications observées de l'état nutritionnel sont dues à l'enrichissement des aliments.	Les évaluations basées sur la probabilité nécessitent une méthodologie expérimentale avec randomisation et double aveugle, qui compare les réponses aux aliments enrichis aux réponses à des aliments non enrichis. Les conditions requises sont : <ul style="list-style-type: none"> <li>— randomisation des participants dans les groupes « aliments enrichis » et « aliments non enrichis » ;</li> <li>— mesures avant-après chez les mêmes sujets ;</li> <li>— étude en double aveugle, c'est-à-dire que, pendant l'intervention et pendant l'analyse des données, ni les participants ni les observateurs ne savent quel type d'aliment est consommé par qui.</li> </ul>

basées sur la plausibilité tiennent compte de ces facteurs de confusion et biais potentiels grâce à une sélection soigneuse de la méthodologie d'étude et à l'utilisation d'analyses multivariées. Ces évaluations font appel à des études de type quasi-expérimental ou cas-témoins (Tableau 8.5), qui supposent soit une comparaison entre un groupe d'intervention et un groupe témoin (n'ayant pas fait l'objet de l'intervention), soit un recueil d'informations avant-après sur un groupe d'intervention, soit les deux (recueil d'informations avant-après sur un groupe d'intervention et un groupe témoin).

#### 8.4.1.3 Évaluation basée sur la probabilité

Les évaluations basées sur la *probabilité* montrent avec le plus haut niveau de confiance que le programme d'enrichissement des aliments est responsable de la baisse observée de la prévalence de la carence. Seules des méthodes reposant sur les probabilités peuvent établir un lien de causalité. Elles nécessitent des essais randomisés contrôlés réalisés si possible en double aveugle (Tableau 8.5). L'évaluation basée sur la probabilité part du principe qu'il n'existe qu'une petite probabilité connue (habituellement  $p < 0,05$ , c'est-à-dire moins de 5% de chances) que les différences observées au niveau de la carence en fer (par exemple) entre le groupe choisi par tirage au sort pour recevoir des aliments enrichis et le groupe témoin recevant des aliments non enrichis soient dues au hasard.

Les évaluations basées sur la probabilité sont complexes et coûteuses à réaliser car elles nécessitent un groupe randomisé et un groupe témoin. On peut être empêché de les réaliser dans les conditions de terrain habituelles, soit pour des raisons pratiques soit pour des raisons éthiques. Par exemple, si le produit enrichi a un aspect et/ou une saveur différente, il sera impossible de réaliser l'intervention en double aveugle. De même, il n'est pas toujours pratique de randomiser la population en un groupe recevant des aliments enrichis et un groupe témoin. De plus, l'utilisation d'un groupe témoin soulève souvent des questions d'éthique. C'est pourquoi les méthodes basées sur les probabilités sont davantage utilisées pour de petits essais pilotes d'efficacité théorique (c'est-à-dire des interventions réalisées dans des conditions contrôlées en vue d'en déterminer l'efficacité), que pour des essais d'efficacité pratique (interventions à grande échelle réalisées dans les conditions réelles du terrain et soumises aux contraintes habituelles faisant obstacle à la mise en œuvre). Les évaluations basées sur la probabilité représentent la norme en matière de recherche sur l'efficacité.

On notera que les questions indiquées ci-dessus (page 216) appellent une évaluation basée sur la plausibilité ou la probabilité plutôt que sur l'adéquation, car leur formulation implique qu'il y ait eu un changement ou une amélioration imputables au programme d'enrichissement. Une méthodologie d'évaluation basée sur l'adéquation peut apporter des réponses à ces questions, mais celles-ci

devraient alors être formulées en faisant référence à des critères d'adéquation préétablis plutôt qu'à des changements attribuables au programme. Par exemple, la première question :

La consommation d'un aliment enrichi particulier a-t-elle augmenté jusqu'à atteindre le niveau attendu à la suite d'un programme d'enrichissement des aliments ?

deviendrait :

La consommation d'un aliment enrichi particulier est-elle au niveau attendu (par exemple, est-ce que 90% de la population consomme du sel enrichi au niveau minimum pour les ménages) ?

Les critères d'adéquation pourraient aussi être exprimés en termes d'indicateurs biochimiques, par exemple :

La prévalence de la carence en vitamine A chez les enfants d'âge préscolaire est-elle inférieure à, par exemple, 20% (ou tout autre critère préétabli) à la suite du programme d'enrichissement des aliments ?

## 8.4.2 Questions de méthodologie

### 8.4.2.1 Sélection des indicateurs de résultats

Les indicateurs de résultats qui peuvent être utilisés pour évaluer l'impact des programmes d'enrichissement des aliments sont les mesures d'apport (qui peuvent aussi servir d'indicateurs d'utilisation – voir section 8.3; Tableau 8.4), les indicateurs cliniques et biochimiques de l'état nutritionnel (voir **Tableaux 3.1, 3.4, 3.6, 4.1, 4.3–4.5, 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, 4.13–4.16**), et les indicateurs fonctionnels – croissance, morbidité, mortalité et développement. Des exemples de chaque type d'indicateur de résultats sont donnés dans le **Tableau 8.6** avec les méthodes de mesure appropriées.

Comme l'enrichissement des aliments a pour but d'améliorer l'état nutritionnel d'une population, les marqueurs biochimiques devraient normalement être les indicateurs de choix pour évaluer l'impact des programmes. Toutefois, la mesure des indicateurs biochimiques de l'état nutritionnel nécessite des ressources et des compétences techniques considérables, par exemple pour prélever des échantillons de sang sur le terrain et effectuer des analyses de laboratoire de bonne qualité, ce qui signifie que cette option n'est pas toujours pratique ni même réalisable. Heureusement, il existe des alternatives moins coûteuses et moins complexes à la mesure de ces indicateurs pour évaluer l'impact du programme, comme la mesure de la consommation d'un produit enrichi ou des apports en un micronutriment particulier. Ces mesures peuvent convenir pour remplacer les indicateurs biochimiques dans les cas où leur validité a été dûment prouvée par des essais d'efficacité théorique rigoureux ou par des essais

TABLEAU 8.6

### Évaluation de l'impact d'un programme d'enrichissement des aliments : mesures de résultats proposées

Mesure de résultat	Méthodologie et entité responsable
<p><i>Indicateurs d'apport</i></p> <p>Apport adéquat ou augmenté en aliments enrichis<sup>a</sup></p> <p>Apport adéquat ou augmenté en le ou les micronutriments concernés</p>	<p><i>Méthode:</i> L'une quelconque des méthodes d'évaluation nutritionnelle suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— pesée des aliments ;</li> <li>— rappel des 24 heures ;</li> <li>— questionnaire sur la fréquence des prises alimentaires ;</li> <li>— évaluation des apports alimentaires habituels.</li> </ul> <p><i>Responsable:</i> Chercheurs indépendants</p>
<p><i>Indicateurs d'état nutritionnel</i></p> <p>Indicateurs biochimiques et cliniques d'état nutritionnel adéquats ou améliorés pour le ou les micronutriments concernés</p>	<p><i>Méthode:</i> Les indicateurs biochimiques et cliniques recommandés pour divers micronutriments sont donnés dans les tableaux 3.1, 3.4, 3.6, 4.1, 4.3–4.5, 4.7, 4.8, 4.10, 4.11, 4.13–4.16.</p> <p><i>Responsable:</i> Chercheurs indépendants</p>
<p><i>Indicateurs de résultats fonctionnels</i></p> <p>Résultats adéquats ou amélioration des résultats fonctionnels comme la croissance, la morbidité, la mortalité et le développement moteur et cognitif</p>	<p><i>Méthode:</i> Des approches standard de la mesure de ces résultats fonctionnels devront être utilisées, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— pour la croissance : anthropométrie ;</li> <li>— pour la morbidité : rappel sur deux semaines ou données de la surveillance ;</li> <li>— pour la mortalité : données de rappel</li> <li>— pour le développement moteur et cognitif : batterie de tests et échelles appropriées.</li> </ul> <p><i>Responsable:</i> Chercheurs indépendants</p>

Note b : Une évaluation d'impact ne doit être réalisée qu'une fois qu'il a été établi, par la surveillance du programme, que celui-ci fonctionne de manière satisfaisante et est par conséquent capable d'atteindre ses objectifs nutritionnels. L'évaluation complète de l'impact du programme n'a besoin d'être faite qu'une seule fois, sous réserve que la surveillance régulière assure des niveaux d'enrichissement appropriés à tous les stades (dans l'entreprise de production, dans les commerces de détail et dans les ménages), une utilisation appropriée du produit et une couverture adéquate de la population cible.

<sup>a</sup> La surveillance des apports en aliments enrichis peut aussi être réalisée dans le cadre de la surveillance dans les ménages (voir Tableau 8.4).

d'efficacité pratique conduits dans des conditions analogues à celles du programme à évaluer. Par exemple, s'il a été établi par des essais d'efficacité théorique que la consommation d'une certaine quantité minimale d'un produit enrichi particulier entraîne une modification souhaitable d'un ou plusieurs indicateurs biochimiques (et prévient une carence en micronutriment), les autres programmes d'enrichissement utilisant le même véhicule alimentaire peuvent se fier aux données de consommation pour mesurer leur impact. Cette technique est couramment employée dans les évaluations des programmes d'iodation du sel et des programmes de vaccination. En ce qui concerne l'iodation du sel, on

utilise les données sur la couverture du programme pour mesurer son taux de réussite, une approche valable car il est nettement prouvé que le sel iodé, consommé régulièrement et en quantité suffisante, est efficace pour prévenir la carence en iode. Le choix des indicateurs de résultats est traité dans la section 8.5 dans le contexte des critères minimaux pour les systèmes de surveillance et d'évaluation applicables aux interventions d'enrichissement des aliments.

#### 8.4.2.2 Besoins en données

Pour pouvoir réaliser une évaluation d'impact au moyen des indicateurs et méthodologies énumérés dans le **Tableau 8.6**, il est nécessaire dans un premier temps de calculer le nombre de sujets à enquêter (c'est-à-dire la taille de l'échantillon) de façon à obtenir un résultat d'une précision et d'une sensibilité adéquates (c'est-à-dire pouvoir détecter, lorsqu'elles existent, des différences d'une grandeur déterminée). Dans l'idéal, les sujets retenus pour l'étude devraient être sélectionnés selon une procédure de randomisation.

Les besoins spécifiques en données pour chaque catégorie d'évaluation d'impact sont les suivants :

- Les *évaluations basées sur l'adéquation* nécessitent des données sur les résultats choisis, ainsi qu'une somme minimale d'informations sur les sujets de l'étude (âge, sexe et état physiologique) pour faciliter l'interprétation des résultats.
- Les *évaluations basées sur la plausibilité* nécessitent des informations plus détaillées sur les sujets de l'étude pour pouvoir tenir compte d'éventuels facteurs de confusion. Cependant, plus on recueille d'informations sur d'éventuels facteurs de confusion ou autres facteurs explicatifs, plus la méthodologie de l'évaluation devra être rigoureuse si l'on veut démontrer que le résultat observé est lié à l'intervention. Il est donc prudent de recueillir des informations sur des facteurs sans rapport avec le programme d'enrichissement des aliments, mais qui pourraient avoir contribué aux modifications du résultat étudié. Les données d'autres programmes mis en œuvre dans la région, portant par exemple sur des améliorations au niveau de la communauté, et sur les caractéristiques socio-démographiques des ménages et des individus peuvent toutes contribuer à renforcer l'analyse et l'interprétation des résultats. Ce type d'information peut également être utilisé pour mieux comprendre les voies et mécanismes en jeu et aider à interpréter une absence d'impact.
- En ce qui concerne les *évaluations basées sur les probabilités*, si on applique une méthodologie d'expérimentation en double aveugle, il n'est pas nécessaire de tenir compte d'éventuels facteurs de confusion. Il est cependant toujours utile de disposer d'informations sur les résultats intermédiaires pour pouvoir décrire les mécanismes et les relations dose-réponse et pour identifier les

sous-groupes de population qui pourraient avoir tiré de l'intervention un bénéfice plus grand (ou plus faible) que les autres.

#### 8.4.2.3 Chronologie de l'évaluation d'impact

Comme on l'a vu au début de ce chapitre, l'évaluation de l'impact d'un programme d'enrichissement des aliments ne doit pas être faite avant que le programme n'ait atteint un certain niveau de performance opérationnelle. Si, par exemple, la surveillance commerciale établit que la concentration d'un micronutriment dans un produit disponible dans les commerces de détail n'est que de 20% de ce qu'elle devrait être, la réalisation d'une évaluation de l'impact d'un programme aussi peu fonctionnel ne constituerait qu'un gaspillage de temps, d'efforts et d'argent. Il importe donc que les programmes établissent à l'avance les critères minimaux de qualité du service qui doivent être remplis avant qu'une évaluation d'impact ne soit entreprise.

Le moment auquel on pourra procéder à l'évaluation du programme dépendra également de la rapidité de l'impact attendu sur les indicateurs biochimiques. En d'autres termes, à quel moment après la mise en œuvre du programme et la démonstration de son bon fonctionnement l'évaluation d'impact doit-elle être entreprise? Le type d'intervention (enrichissement ou supplémentation, par exemple) et le ou les micronutriments étudiés sont les principaux facteurs qui entrent en compte. En ce qui concerne le type d'intervention, la quantité de micronutriments délivrée quotidiennement par les aliments enrichis est en général beaucoup plus faible que celle délivrée dans un supplément; de plus, il se peut que les aliments enrichis ne soient pas consommés tous les jours, ni selon les quantités prévues. Du fait de l'effet combiné de ces facteurs, il faudra plus longtemps pour que l'impact biologique d'un programme d'enrichissement des aliments en micronutriments devienne détectable que pour un programme de supplémentation, probablement plusieurs mois (surtout dans le cas des essais d'efficacité en conditions réelles). Par exemple, il faut environ 6 à 9 mois pour que l'effet de l'enrichissement en fer sur le statut martial soit observable.

La vitesse à laquelle se modifient les indicateurs de l'état nutritionnel est très variable selon le micronutriment considéré et aussi selon la sensibilité de l'indicateur. Il faut un à deux ans après le début d'un programme d'iodation du sel pour observer une diminution significative du goitre. Certaines personnes peuvent mettre encore plus longtemps à récupérer, surtout si elles sont également carencées en fer (86). En revanche, l'iode urinaire est un indicateur assez réactif de l'apport d'iode et devrait augmenter de façon significative dans les semaines qui suivent l'augmentation de la consommation d'iode. Dans l'ensemble, les variations des indicateurs biochimiques du statut vitaminique tendent à être plus rapides que celles des indicateurs du statut en minéraux. Par exemple, à l'échelle d'une population, les concentrations de folates sériques et d'homocystéine

plasmatique se modifient dans les six mois qui suivent l'introduction de farine enrichie en acide folique dans le régime alimentaire (49, 52). De même, la consommation de sucre enrichi en vitamine A produit des effets mesurables au bout de six mois seulement (46).

#### 8.4.2.4 Facteurs de confusion

Enfin, lors de la planification d'une évaluation de l'impact d'un programme, il importe de savoir qu'un certain nombre de facteurs peuvent influencer sur l'aptitude des sujets à répondre à l'enrichissement de leurs aliments en micronutriments. C'est ainsi que la prévalence des maladies infectieuses et parasitaires dans une population joue un grand rôle. Certains parasites provoquent des pertes importantes et continues de micronutriments; les ankylostomes, par exemple, provoquent des pertes de sang au niveau de l'intestin, ce qui augmente les pertes de fer, de vitamine A, de vitamine B12 et de plusieurs autres éléments nutritifs. Les programmes de lutte contre les parasitoses constituent sans aucun doute une stratégie efficace dans ces cas et leur mise en œuvre doit être encouragée en association avec les programmes d'enrichissement des aliments.

La présence de maladies infectieuses et parasitaires peut aussi modifier la sensibilité des indicateurs de l'état nutritionnel, ce qui peut rendre l'impact du programme d'enrichissement plus difficile à détecter. Par exemple, l'hémoglobine et la ferritine sérique répondent aux modifications du statut martial mais sont également affectées par la présence d'états inflammatoires et infectieux. Si ces affections sont répandues dans la population, le statut martial ne peut être réellement évalué qu'au moyen d'une combinaison d'indicateurs, dans ce cas la ferritine sérique et les récepteurs de la transferrine sérique ou la protoporphyrine-zinc érythrocytaire, et un indicateur de l'inflammation, comme la protéine C-réactive (75) (voir aussi **Tableau 3.1**). Cette approche a été adoptée avec succès au Viet Nam (28) et au Maroc (44) pour démontrer l'efficacité de l'enrichissement en fer de la sauce de poisson (au Viet Nam) et du sel (au Maroc). La présence du paludisme pose des problèmes particuliers: non seulement la maladie conduit à une baisse importante des taux d'hémoglobine, mais elle affecte un grand nombre d'autres indicateurs de l'état nutritionnel tels que la ferritine sérique, la transferrine sérique et les récepteurs de la transferrine, le rétinol plasmatique et la riboflavine érythrocytaire (152). La détection simultanée des parasites du paludisme (sur des frottis sanguins) ou, de façon plus précise, des antigènes du paludisme au moyen de bandelettes réactives (152) et des indicateurs de l'inflammation tels que l'alpha-1 glycoprotéine et la protéine C-réactive aidera à identifier les sujets chez lesquels les résultats des tests peuvent être modifiés par le paludisme.

### 8.5 Système minimum de surveillance et d'évaluation dont doit disposer tout programme d'enrichissement des aliments

Dans le présent chapitre, on a souligné l'importance, pour tout programme d'enrichissement des aliments, de disposer d'un système de surveillance et d'évaluation correctement planifié. Ces systèmes doivent être conçus de façon que les informations qu'ils fournissent puissent être utilisées efficacement pour la prise de décision et la gestion générale du programme. Pour cela, la répartition des responsabilités en matière de collecte de données aux différents niveaux doit être clairement établie et le système doit comporter des boucles de rétro-information qui permettent à l'information de parvenir en temps voulu aux services et personnes chargés de prendre les mesures nécessaires aux différents niveaux.

La surveillance réglementaire est un élément essentiel de tout système de surveillance et d'évaluation et doit être exercée dans tous les cas, au moins dans une certaine mesure. Les informations en provenance des activités de surveillance interne, externe et commerciale doivent être régulièrement communiquées à tous les secteurs impliqués dans le programme d'enrichissement. Le système de retour d'information doit comporter le partage d'informations sur les succès obtenus et le suivi des mesures correctrices mises en œuvre lorsque des problèmes ont été détectés.

La surveillance au niveau des ménages est tout aussi importante. Son intérêt repose sur son aptitude à fournir une évaluation générale de l'impact du programme et, en l'absence de système efficace de surveillance nutritionnelle, elle donne également des informations sur la place prise par l'enrichissement des aliments dans le régime alimentaire des populations cibles. Le coût annuel de la surveillance au niveau des ménages a été estimé à moins de US\$ 10 000 par aliment enrichi (O.Dary, communication personnelle, 2004). Malgré son coût relativement bas, ce type de surveillance est souvent négligé par nombre de programmes. Dans de nombreux endroits, la surveillance au niveau des ménages doit recevoir son soutien financier de donateurs extérieurs, facteur qui limite sa viabilité sur le long terme.

Dans le présent chapitre on a également insisté sur le besoin urgent de mesurer l'impact des programmes d'enrichissement des aliments, ici aussi pour faciliter la prise de décision et, en particulier, pour aider les directeurs de programme et les responsables de l'élaboration des politiques à prendre les décisions qui s'imposent en ce qui concerne la poursuite, la modification, l'extension ou l'arrêt du programme. Différents types d'évaluation de l'impact des programmes, variables selon leur niveau de sophistication et l'intensité des ressources nécessaires, peuvent être utilisés. Le choix du type d'évaluation et des indicateurs de résultats sera dicté en premier lieu par les objectifs du programme et par le degré de précision requis pour pouvoir attribuer l'impact observé au

programme lui-même (ces éléments détermineront par exemple si une évaluation basée sur l'adéquation ou une évaluation plus complexe basée sur la plausibilité sont nécessaires).

Le choix du ou des indicateurs de résultats pour les évaluations de l'impact des programmes est fondamental. Pour s'aider dans le choix d'un indicateur approprié, on se posera les questions suivantes :

- Des mesures d'apport peuvent-elles être utilisées à la place d'indicateurs biochimiques plus invasifs (et souvent plus coûteux) ?
- À quelle fréquence les évaluations de l'impact du programme doivent-elles avoir lieu ?

La réponse à ces questions dépend largement de l'existence et de la puissance des preuves fournies par les essais d'efficacité théorique et par les évaluations de l'efficacité pratique réalisées sur des programmes comparables menés dans des environnements et sur des groupes de population similaires. Les résultats d'un seul essai d'efficacité théorique (ou de seulement un petit nombre d'entre eux) suffisent habituellement pour apporter la preuve qu'un aliment enrichi peut modifier l'état nutritionnel (et les indicateurs biochimiques correspondants) dans une population humaine, auquel cas il ne sera pas forcément nécessaire de répéter ce type d'expérimentation dans chaque communauté (voir aussi section 8.4.2.1). Par conséquent, la première étape de la planification de l'évaluation de l'impact d'un programme consistera le plus souvent à déterminer s'il existe ou non des preuves solides, issues d'essais d'efficacité théorique déjà réalisés, que l'intervention prévue possède un impact donné lorsqu'elle est conduite dans des conditions contrôlées.

Si les essais d'efficacité théorique ont donné de bons résultats, on peut procéder aux essais d'efficacité pratique pour déterminer si le même impact peut être obtenu lorsque l'intervention est conduite dans les conditions normales du terrain et compte tenu des contraintes inhérentes au programme. Dans le cas des programmes d'enrichissement des aliments, si d'autres essais d'efficacité pratique montrent qu'un impact peut être obtenu dans un délai donné grâce à l'apport alimentaire d'une quantité spécifique de micronutriments du fait de la consommation de produits enrichis, il n'est pas nécessaire d'investir dans la mise en évidence complexe, et coûteuse en ressources, d'un impact sur les indicateurs biochimiques. Il peut suffire de s'assurer que la population cible consomme l'aliment enrichi, de la qualité attendue, en quantités suffisantes et à une fréquence appropriée. Cependant, avant de pouvoir extrapoler les conclusions obtenues dans une communauté à une autre communauté, il importe de s'assurer que les conditions sont similaires. Il peut être nécessaire de refaire tous les 5 à 10 ans des essais d'efficacité en conditions contrôlées pour confirmer les résultats, surtout si les conditions environnementales, nutritionnelles et sanitaires de la

population cible changent rapidement. Cet objectif pourra être combiné avec la fonction des enquêtes nutritionnelles générales pour suivre l'évolution de l'état nutritionnel de la population.

Il est évident qu'en l'absence de preuves solides issues des essais d'efficacité théorique, il n'existe pas de « raccourci » et il faut procéder à une évaluation détaillée de l'impact du programme (essai d'efficacité théorique ou évaluation basée sur les probabilités), avec les indicateurs biochimiques appropriés. Les remarques que l'on a déjà vues sur le meilleur moment pour procéder à l'évaluation (section 8.4.2.3) et sur la nécessité de tenir compte des éventuels facteurs de confusion (section 8.4.2.4) prennent toute leur importance dans ce genre de situation.

---

## Résumé

- Un système de surveillance et d'évaluation bien conçu et bien géré est indispensable pour assurer la réussite et la pérennité de tout programme d'enrichissement des aliments. En tant que partie intégrante du programme, les activités de surveillance et d'évaluation doivent être formulées et budgétisées dès les tout premiers stades de la planification.
  - Un certain niveau de surveillance réglementaire est fondamental. Parmi les trois catégories de surveillance réglementaire – la surveillance interne (dans les entreprises de production et de conditionnement), la surveillance externe (dans les entreprises de production et de conditionnement) et la surveillance commerciale (dans les commerces de détail) – la surveillance interne est particulièrement indispensable. Dans les endroits où il existe des mécanismes efficaces de mise en application, il suffit en général de confirmer la conformité à la réglementation sur des échantillons prélevés dans les commerces de détail (surveillance commerciale). Ailleurs, il est prudent d'exercer une surveillance externe à la fois au niveau de l'entreprise et dans les commerces.
  - Les évaluations de l'impact du programme ne doivent être faites que lorsqu'il a été établi, par la surveillance réglementaire et la surveillance au niveau des ménages, que le programme a atteint un niveau défini à l'avance d'efficacité opérationnelle.
  - Bien que des évaluations rigoureuses de l'impact des programmes d'enrichissement des aliments soient absolument nécessaires, tous les programmes n'ont pas besoin de recourir aux méthodologies les plus coûteuses et les plus sophistiquées. Il faudra choisir avec soin la méthodologie d'évaluation la plus appropriée à la situation.
-

## CHAPITRE 9

# Estimation des rapports coût-efficacité et coût-bénéfice de l'enrichissement des aliments

Malgré les contraintes exposées dans la section 1.4, l'enrichissement des aliments peut dans bien des cas représenter le moyen le moins coûteux d'atteindre un objectif nutritionnel particulier, par exemple une baisse définie de la prévalence de l'anémie, de la carence en iode ou de la carence subclinique en vitamine A. En d'autres termes, l'enrichissement des aliments possède souvent un meilleur rapport *coût-efficacité* que d'autres interventions de santé publique capables d'obtenir le même résultat sur le plan de la santé ou de la nutrition, comme la supplémentation. De fait, plusieurs études ont démontré que l'enrichissement des aliments possède non seulement un bon rapport coût-efficacité (c'est-à-dire qu'il constitue un moyen moins coûteux d'augmenter les apports en micronutriments que d'autres interventions visant le même but), mais aussi un bon rapport *coût-bénéfice* (c'est-à-dire qu'il s'agit d'un bon investissement).

Dans le présent chapitre, les concepts de coût-efficacité et de coût-bénéfice sont clairement définis. Les techniques d'estimation du rapport coût-efficacité d'une intervention et de réalisation d'une analyse de coût-bénéfice sont également décrites, et sont illustrées dans la deuxième partie du chapitre par une série d'exemples de calculs pour un pays hypothétique à faible revenu. Les méthodes employées peuvent être facilement modifiées et adaptées à d'autres pays. Bien que les analyses de coût-efficacité et de coût-bénéfice soient largement utilisées comme outils d'aide à la décision par les responsables de l'élaboration des politiques dans le domaine de la santé publique, leur application à l'enrichissement des aliments est relativement récente. Actuellement, seules les interventions portant sur le fer, l'iode et la vitamine A ont été évaluées de cette façon, et ce sont donc elles qui forment l'objet principal de ce chapitre.

## 9.1 Principes de base et définitions

### 9.1.1 Coût-efficacité

Le *rapport coût-efficacité* est défini comme le coût de l'obtention d'un résultat déterminé. Dans le cas de l'enrichissement des aliments, le résultat peut être, par exemple, d'éviter un cas de carence subclinique en vitamine A, éviter un cas d'anémie, ou éviter un cas de goitre ou de carence en iode.

Deux mesures de résultat sont souvent employées dans les évaluations de coût-efficacité des interventions de santé, le coût par décès évité, et le coût par année de vie ajustée sur l'incapacité (DALY) gagnée. Le coût par décès évité est utilisé avec succès pour évaluer le rapport coût-efficacité de diverses interventions d'enrichissement des aliments et de supplémentation, mais dans ce contexte, son application nécessite de nombreuses hypothèses critiques (voir section 9.2.1). Par exemple, le coût par décès évité a été évalué pour la supplémentation en vitamine A chez l'enfant et pour la supplémentation en fer chez la femme enceinte (deux groupes particulièrement sujets aux carences et par conséquent fréquemment visés par les programmes d'intervention). Son calcul est toutefois moins utile dans le cas de l'enrichissement en iode, car les résultats en termes de mortalité sont relativement rares, le principal bénéfice de l'intervention étant un gain de productivité (voir section 9.3.2).

L'avantage de l'autre mesure d'efficacité largement utilisée, le coût par DALY gagnée, réside dans le fait qu'elle combine en un seul indicateur les résultats en termes de mortalité et de morbidité (354, 355). Cette mesure a été utilisée avec succès pour évaluer l'efficacité de diverses interventions de santé publique, dont l'enrichissement des aliments et la supplémentation, dans le cadre du projet CHOICE de l'OMS (voir **Encadré 9.1**). Toutefois, son calcul est plus exigeant que celui du coût par décès évité en ce qui concerne les données et les hypothèses de départ (voir section 9.2.1).

### ENCADRÉ 9.1

#### **Choix d'interventions de bon rapport coût-efficacité : le projet CHOICE de l'OMS**

CHOICE signifie « CHOosing Interventions that are Cost-Effective », c'est-à-dire choisir des interventions de bon rapport coût-efficacité ; c'est un outil développé par l'OMS pour aider les décideurs à choisir les interventions et les programmes qui apportent le maximum de bénéfice pour les ressources disponibles. En généralisant l'analyse de coût-efficacité, l'application du modèle CHOICE indique quelles interventions offrent le meilleur rapport coût-efficacité, c'est-à-dire le meilleur résultat pour l'argent investi.

L'application du modèle CHOICE à des données de la région OMS de l'Afrique D (essentiellement des pays d'Afrique de l'Ouest) a démontré que les interventions sur les micronutriments sont potentiellement d'un bon rapport coût-efficacité.<sup>1</sup> La **Figure 9.1** compare le coût moyen par DALY gagnée grâce

<sup>1</sup> De plus amples informations sur le projet CHOICE, avec une description des méthodes utilisées, peuvent être obtenues sur le site Internet de l'OMS à l'adresse <http://www.who.int/choice/en/>.

à des programmes hypothétiques de supplémentation en zinc chez les moins de cinq ans (couverture: 80% de la population cible), de supplémentation en fer chez les femmes enceintes (couverture: 50% des femmes enceintes), d'enrichissement en vitamine A et en zinc (couverture: 80% de la population générale) et d'enrichissement en fer (couverture: 80% de la population générale). Les deux programmes d'enrichissement parviennent à un coût relativement bas par DALY gagnée. La **Figure 9.2** compare ces mêmes programmes d'enrichissement en fer et en vitamine A/zinc, mais cette fois avec les interventions suivantes: réhydratation orale (couverture: 80% de la population cible), prise en charge des cas de pneumonie (couverture: 80% de la population cible), et désinfection de l'eau au point d'utilisation combinée à des activités d'éducation sur l'utilisation de l'eau (couverture: 100% de la population cible). Tous ces programmes se sont montrés d'un bon rapport coût-efficacité, mais plus particulièrement les programmes d'enrichissement.

FIGURE 9.1

### Coût-efficacité de la supplémentation et de l'enrichissement en micronutriments

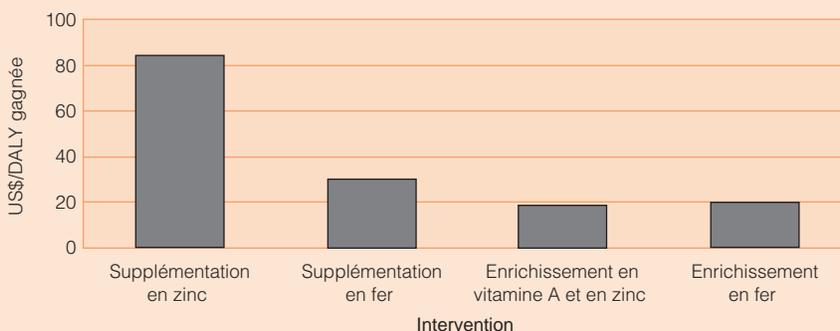
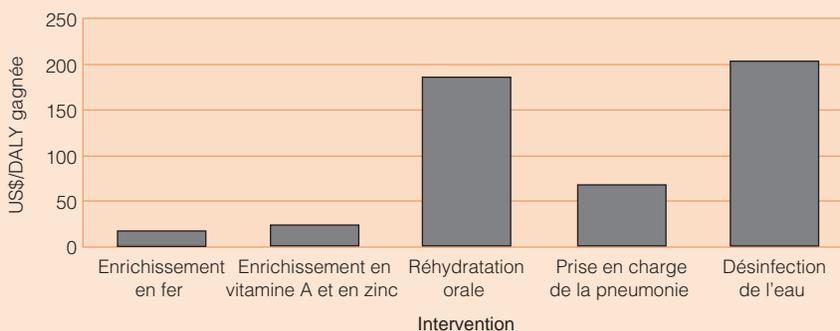


FIGURE 9.2

### Coût-efficacité de diverses interventions visant les enfants



L'analyse de coût-efficacité est particulièrement utile lorsqu'il s'agit de comparer différentes interventions qui ont le même résultat, par exemple la supplémentation en vitamine A et l'enrichissement des aliments en vitamine A, ou la supplémentation en vitamine A et la vaccination. Dans les deux cas, le résultat est exprimé par le nombre de décès évités. Les deux types de données nécessaires pour le calcul du rapport coût-efficacité d'une intervention sont le coût unitaire de l'intervention (c'est-à-dire le coût par personne bénéficiaire et par an) et une mesure de l'effet de l'intervention (c'est-à-dire la proportion de la population cible chez laquelle un résultat déterminé est obtenu). Les estimations de coût, qui nécessitent moins de ressources, sont en général plus faciles à obtenir que les estimations de l'effet de l'intervention, qui exigent au minimum une évaluation en début de programme et une évaluation de suivi, ainsi que, dans l'idéal, un groupe témoin.

### 9.1.2 Analyse de coût-bénéfice

Les analyses de coût-efficacité sont des outils de choix pour comparer des interventions qui aboutissent au même résultat; cependant, si l'on a pour objectif de comparer des interventions ayant des résultats différents, ou de comparer des interventions dont les résultats et les bénéfices potentiels s'étendent hors du cadre de la santé, une analyse de coût-bénéfice s'impose. Dans sa forme la plus simple, une analyse de coût-bénéfice (on dit aussi de coût-avantages) compare le coût monétaire d'une intervention avec la valeur monétaire du résultat (c'est-à-dire le bénéfice). Les résultats ou les bénéfices peuvent consister en une augmentation de la productivité (par exemple, l'enrichissement en fer permet aux adultes d'être moins anémiques et donc plus productifs), ou en une diminution des coûts pour le système de soins de santé (par exemple, une mère moins anémique aura moins de complications lors de l'accouchement). Comme les analyses de coût-bénéfice peuvent être utilisées pour comparer les mérites respectifs des interventions de santé avec d'autres formes de dépenses publiques, elles sont particulièrement utiles lorsqu'il s'agit de demander une augmentation des ressources consacrées à la nutrition et à la santé.

Le calcul du rapport coût-bénéfice exige essentiellement les mêmes données sur les coûts et sur les effets que pour l'analyse de coût-efficacité. Ici encore, les données sur les coûts sont en règle générale plus faciles et moins coûteuses à obtenir que les données sur les effets de l'intervention. De plus, le bénéfice ou plutôt le résultat d'une intervention de santé publique (par exemple une réduction de la prévalence du goitre ou une modification du taux urinaire moyen d'excrétion de l'iode dans une population) doit être exprimé en termes financiers, c'est-à-dire doit être affecté d'une valeur monétaire. La plupart des études de coût-bénéfice ne procèdent pas directement à cette évaluation, mais s'appuient sur les résultats d'autres travaux dans lesquels les résultats en termes de santé sont

traduits en bénéfices financiers. Par exemple, les analyses de coût-bénéfice portant sur les interventions d'iodation et visant à obtenir une estimation du gain financier que représente l'élimination d'un cas de goitre (en tant que résultat intermédiaire) s'appuient sur des études dans lesquelles ont été estimés les coûts associés à la perte de productivité par enfant né d'une mère atteinte de goitre. L'exemple présenté dans la section 9.3.2 adopte cette démarche.

## 9.2 Besoins en matière d'information

### 9.2.1 Estimation des coûts unitaires

Pour calculer les coûts unitaires (c'est-à-dire le coût de l'intervention par personne et par an), il faut tenir compte non seulement des coûts récurrents de l'approvisionnement en composés d'enrichissement ou en suppléments, mais aussi d'un certain nombre d'autres coûts associés à l'intervention, par exemple :

- l'investissement initial dans la technologie nécessaire pour ajouter le composé d'enrichissement dans le produit alimentaire utilisé comme support (véhicule alimentaire); le coût de cet investissement varie selon le nombre de sites de traitement et le niveau de technologie existant, le micronutriment ajouté et les conditions d'emballage, de stockage et de manipulation du produit final;
- le coût du «marketing social» pour amener le public à accepter (ou à préférer) le produit enrichi;
- le coût du contrôle et de l'assurance de la qualité par les producteurs et des activités de surveillance et d'évaluation par les services gouvernementaux.

Dans le cas de la supplémentation, les coûts additionnels peuvent comprendre les coûts liés au temps et au support logistique de la distribution des suppléments (coûts qui ne sont pas toujours rapportés) et, ici encore, les coûts de la surveillance et de l'évaluation. Les coûts classiquement associés à un programme d'enrichissement de la farine de blé (en fer et en zinc) sont indiqués dans le **Tableau 9.1**; ils comprennent le coût de l'investissement initial (avec l'amortissement sur la durée de vie prévue de l'équipement), les coûts récurrents et le coût de la surveillance et de l'évaluation.

Les coûts unitaires estimés de divers programmes d'enrichissement et de supplémentation réalisés par le passé, compilés par Levin et al. (357) sont indiqués dans le **Tableau 9.2**. D'après ces données, les coûts unitaires de la supplémentation sont systématiquement plus élevés que ceux de l'enrichissement. Les coûts de la supplémentation sont 10 à 30 fois plus élevés que ceux de l'enrichissement dans le cas de l'iode, 3 à 30 fois plus élevés dans le cas du fer et 1,5 à 3 fois plus élevés dans le cas de la vitamine A. La différence de coût dépend en grande partie de la proportion de la population générale que représente

TABLEAU 9.1

**Coûts annuels hypothétiques de l'enrichissement de la farine de blé en fer et en zinc (en supposant une production annuelle de farine de 100 000 tonnes dans une minoterie utilisant un système d'enrichissement en continu)**

	Coût de l'enrichissement en fer (US\$)	Coût supplémentaire de l'ajout de zinc (US\$)	Coût total (US\$)
<i>Coûts industriels</i>			
Investissement en capital	820	0	820
<i>Coûts récurrents</i>			
Équipement (maintenance, dépréciation)	600	0	600
Sulfate ferreux pour l'enrichissement <sup>a</sup>	57 090	0	57 090
Sulfate de zinc pour l'enrichissement <sup>b</sup>	0	102 600	102 600
Contrôle de la qualité	7 920	2 880 <sup>c</sup>	10 800
Total des coûts industriels	66 430	105 480	171 910
Coûts industriels par tonne de farine enrichie	0,66	1,05	1,72
<i>Coûts pour l'État</i>			
Investissement en capital et maintenance	2 625	0	2 625
<i>Inspection et surveillance de la minoterie</i>			
Salaires et transports	3 500	0	3 500
Analyses de laboratoire et rapports (y compris salaires des techniciens)	1 500	96 <sup>d</sup>	1 596
Formation à l'assurance de la qualité et à la surveillance	1 000	500 <sup>e</sup>	1 500
Surveillance du programme (apports alimentaires, voyages, indemnités journalières, analyses, rapports)	1 400	0	1 400
<i>Évaluation</i>			
Voyages, indemnités journalières, collecte d'échantillons biologiques	3 000	0	3 000
Analyses de laboratoire et rapports (y compris salaires des techniciens)	5 000	3 600 <sup>f</sup>	8 600
Total des coûts pour l'État	18 025	4 196	22 221
Total des coûts du programme	84 455	109 676	194 131
Coût total par tonne de farine de blé enrichie	0,84	1,10	1,94
Coût total par habitant (en supposant une consommation de 150 g par personne et par jour)	0,05	0,06	0,11

<sup>a</sup> Coût du sulfate ferreux (US\$ 8,65/kg (fer pur)), plus 33 % pour les frais d'expédition, ajouté à 100 000 tonnes de farine de blé à raison de 66 ppm.

<sup>b</sup> Coût du sulfate de zinc (US\$ 34,20/kg (zinc pur)), plus 33 % pour les frais d'expédition, ajouté à 100 000 tonnes de farine de blé à raison de 30 ppm.

<sup>c</sup> En supposant l'analyse de deux échantillons par jour, 360 jours par an, à un coût de US\$4 par échantillon.

<sup>d</sup> En supposant le prélèvement d'un échantillon par mois sur le marché et son analyse en double, 12 mois par an, à un coût de US\$4 par échantillon.

<sup>e</sup> On a ajouté 50 % du coût de la formation à l'assurance de la qualité et à la surveillance pour couvrir l'évaluation du zinc.

<sup>f</sup> Évaluation du programme basée sur l'analyse des taux sériques de zinc sur un échantillon de 1500 enfants d'âge préscolaire : en supposant un coût de US\$4 par échantillon, et un total de trois évaluations réalisées sur une période de cinq ans (évaluation en début de programme, au bout de 12 à 15 mois et au bout de 5 ans à compter du début du programme), on obtient un coût de US\$ 18 000 sur la période de 5 ans, soit US\$3600 par an.

Source : d'après la référence 356.

TABLEAU 9.2

**Estimations du coût unitaire de certaines interventions portant sur les micronutriments**

Intervention	Pays, année du programme	Coût par personne (US\$)	Coût par personne (US\$ en 1987)	Coût par personne par année de protection (US\$ en 1987) <sup>a</sup>
Iode				
Solution huileuse injectable	Zaïre, 1977	0,35	0,67	0,14
Solution huileuse injectable	Pérou, 1978	1,30	2,30	0,46
Solution huileuse injectable	Bangladesh, 1983	0,70	0,76	0,25
Solution huileuse injectable	Indonésie, 1986	1,00	1,05	0,21
Iodation du sel	Inde, 1987	0,02–0,04	0,02–0,04	0,02–0,04
Iodation de l'eau	Italie, 1986	0,04	0,04	0,04
Vitamine A				
Enrichissement du sucre	Guatemala, 1976	0,07	0,14	0,14
Capsule	Indonésie/Philippines, 1975	0,10	0,21	0,42
Capsule	Haïti, 1978	0,13–0,19	0,23–0,34	0,46–0,68
Capsule	Bangladesh, 1983	0,05	0,05	0,10
Fer				
Enrichissement du sel	Inde, 1980	0,07	0,10	0,10
Enrichissement du sucre	Guatemala, 1980	0,07	0,10	0,10
Enrichissement du sucre	Indonésie, 1980	0,60	0,84	0,84
Comprimés	Kenya/Mexique, 1980	1,89–3,17	2,65–4,44	2,65–4,44

<sup>a</sup> Différentes interventions couvrent les besoins en vitamines et minéraux pendant des durées différentes. Le coût annuel a donc été ajusté pour tenir compte de ces différences de durée de la protection conférée par l'intervention.

Sources : références 357, 358.

le groupe cible; le rapport coût-efficacité de l'enrichissement est d'autant meilleur que la proportion de la population visée par l'intervention est importante.

Bien qu'actuellement dépassées, les données de coût unitaire rapportées par Levin et al. (357) donnent des indications utiles sur le rapport coût-efficacité relatif de la supplémentation et de l'enrichissement des aliments en tant que stratégies destinées à corriger les carences en micronutriments. Dans le cas de la vitamine A, par exemple, si la supplémentation coûte 2 à 2,5 fois plus cher par personne que l'enrichissement des aliments, elle peut constituer l'option la plus intéressante lorsque le groupe cible comprend moins de 40 à 50% de la population (par exemple les enfants de moins de deux ans). Pour le fer, en revanche, c'est l'inverse: la supplémentation coûte au moins 10 fois plus cher par personne que l'enrichissement, et la prévalence de l'anémie dépasse largement 10% dans la population de la plupart des pays en développement. Dans ce cas, l'enrichissement universel de certains aliments serait probablement la stratégie de meilleur rapport coût-efficacité. Il faut toutefois souligner le fait que ces

conclusions s'appuient sur des données moyennes et ne sont pas applicables à toutes les situations; le rapport coût-efficacité relatif de la supplémentation et de l'enrichissement variera largement d'un pays à l'autre selon le coût unitaire de l'intervention et la proportion de la population visée par le programme.

L'efficacité de l'intervention, qui peut être très variable, est un autre facteur dont il faut tenir compte dans le débat sur les mérites relatifs de la supplémentation et de l'enrichissement. Dans le cas des carences en vitamine A, les évaluations d'impact ont montré que ces deux types d'intervention étaient efficaces (33, 46). Dans les régions où la carence en iode est endémique, les programmes d'iodation du sel se sont également montrés très efficaces (25, 359). Mais dans le cas du fer, les preuves de l'efficacité des interventions sont moins nettes (voir section 1.3.1.1). Des études récemment réalisées en Chine sur les sauces de soja et au Viet Nam sur les sauces de poisson indiquent que l'enrichissement de ces produits en NaFeEDTA a permis de réduire efficacement l'anémie ferriprive chez les femmes (28). En revanche, bien que la supplémentation en fer se soit montrée efficace contre l'anémie lors d'essais contrôlés (360), nombre de programmes de supplémentation ont été relativement inefficaces en pratique pour améliorer la situation, même dans les sous-groupes visés. Une explication possible de cette discordance apparente serait que dans de nombreux cas la carence en fer n'est pas la cause principale de l'anémie mais n'en est qu'un des facteurs.

### 9.2.2 Analyses de coût-efficacité

La plupart des analyses de coût-efficacité s'appuient sur un indicateur ou une mesure de résultat unique, en général une mesure de l'état nutritionnel, pour traduire le changement apporté par l'intervention. Toutefois, lorsqu'il s'agit de chiffrer le rapport coût-efficacité, des indicateurs ou des mesures différents ne donnent pas toujours le même résultat. Parmi les indicateurs de résultat possibles pour le fer, par exemple, figurent le changement du taux d'hémoglobine moyen, le changement du taux d'hémoglobine moyen dans une population initialement carencée, et la proportion de la population qui ne souffre plus d'anémie. La première de ces mesures donne un poids égal aux améliorations du taux d'hémoglobine quel que soit le niveau initial de carence, la deuxième donne un poids égal à tous les cas qui présentaient une carence initiale (que la carence soit légère ou sévère), et la troisième donne davantage de poids aux améliorations observées chez les sujets légèrement carencés, mais ne tient pas compte des sujets que l'intervention n'aura pas fait passer au-dessus du seuil définissant l'anémie, même si leur taux d'hémoglobine s'est amélioré. (Comme il est expliqué dans le chapitre 3, l'anémie est un indicateur imparfait du statut martial, car dans de nombreuses populations elle a des causes multiples).

Les mesures de résultat ou d'effet les plus utiles pour les analyses de coût-efficacité tendent à être celles qui donnent également des informations sur les causes des modifications observées de l'état nutritionnel. Ce point est

particulièrement important lorsqu'on effectue des comparaisons avec d'autres études, qui peuvent avoir utilisé une mesure de résultat différente. Si l'on se limite à une seule mesure de résultat, il faut alors en choisir une qui puisse être reliée à d'autres critères de résultat intéressants. Dans l'exemple ci-dessus qui concerne le fer, la proportion de la population qui ne souffre plus d'anémie est l'indicateur d'effet le plus utile, car il est possible de relier le statut en matière d'anémie (anémique/non anémique) à des critères de productivité ou de complications de la grossesse.

Le rapport coût-efficacité des interventions d'enrichissement des aliments est susceptible de varier de façon considérable selon le contexte local, car il dépend largement des facteurs suivants :

- le véhicule alimentaire utilisé, les conditions de stockage et la stabilité du composé d'enrichissement pendant le stockage ;
- le niveau initial de carence dans la population (par exemple, l'amélioration du statut martial peut être plus facile à obtenir dans des populations davantage carencées au départ, car l'absorption du fer est alors plus efficace et le coût par cas d'anémie évité est plus faible lorsqu'une proportion importante de la population souffre d'anémie) ;
- les modes d'alimentation, notamment en ce qui concerne la consommation, au cours du même repas, d'aliments qui inhibent ou renforcent l'absorption du micronutriment considéré ;
- les processus de transformation et de commercialisation des denrées alimentaires, et la consommation ou non du véhicule choisi par tous les ménages des groupes présentant une carence probable, y compris les ménages pauvres et ceux vivant dans des zones reculées.

Malgré la variabilité intrinsèque du rapport coût-efficacité des interventions d'enrichissement des aliments en micronutriments, il n'est pas indispensable de réaliser des analyses pour tous les programmes et toutes les circonstances. Néanmoins, on devra se procurer des informations sur quelques programmes choisis se déroulant dans des conditions variées.

### 9.2.3 Analyse de coût-bénéfice

La réalisation d'une analyse de coût-bénéfice sur un programme d'enrichissement des aliments en micronutriments est en général plus complexe et exige davantage de données (et d'hypothèses de départ) qu'une analyse de coût-efficacité. Cependant, seules les analyses de coût-bénéfice permettent de faire des comparaisons sur un large éventail d'effets bénéfiques, y compris extérieurs au domaine de la santé. Les questions qu'il faut se poser lorsqu'on entreprend une analyse de coût-bénéfice sont les suivantes :

- Quels sont les bénéfices à inclure dans l'analyse? Certains bénéfices (par exemple la diminution des coûts des soins de santé du fait de l'amélioration du statut marital, et aussi la diminution du nombre de décès maternels) peuvent être importants, mais ils sont difficiles à calculer dans un contexte de pays en développement. Si l'on omet certains bénéfices importants, les résultats paraîtront plus modestes.
- Les bénéfices non chiffrables au niveau du marché doivent-ils être pris en compte? Les effets de l'enrichissement des aliments, par exemple une augmentation de la productivité chez les femmes, n'apparaîtront que partiellement comme bénéfices au niveau du marché. L'enrichissement des aliments peut en effet se traduire par d'importants bénéfices non chiffrables, comme de meilleurs soins aux enfants, qui influenceront sur la productivité de la génération suivante. Par conséquent, dans l'idéal, les bénéfices non chiffrables sur le marché devront être affectés d'une valeur au moyen de prix virtuels ou de méthodes d'évaluation conditionnelle.
- Comment les bénéfices futurs peuvent-ils être incorporés dans l'analyse? Dans l'idéal, la valeur actuelle de l'éventail des bénéfices futurs devrait figurer dans l'analyse, correctement escomptée, par exemple de 3% (le taux social d'escompte classiquement appliqué dans les analyses de type coût-bénéfice). Néanmoins, même un taux d'escompte aussi bas favorisera encore les interventions entraînant des bénéfices immédiats (par exemple celles qui sont axées sur les adultes) par rapport aux interventions entraînant des bénéfices futurs (celles qui sont axées sur les enfants).
- Les analyses de coût-bénéfice (sauf si on applique un coefficient de pondération) tendent à favoriser les interventions qui bénéficient aux riches plus qu'aux pauvres (les riches ont des salaires plus élevés, et par conséquent une perte de productivité plus importante lorsqu'ils décèdent ou tombent malades) et de même celles qui bénéficient aux hommes plus qu'aux femmes (car les hommes sont les plus économiquement productifs, au moins en termes de bénéfices au niveau du marché).
- Du fait des hypothèses de départ nécessaires, il est parfois souhaitable de présenter les résultats d'une analyse de coût-bénéfice en unités naturelles (par exemple en termes de productivité pour l'anémie ferriprive, ou de morbidité pour la carence en vitamine A) ainsi qu'en valeur monétaire.

Il est possible de réaliser les analyses de coût-bénéfice de manière prospective (études d'incidence), mais il faut pour cela formuler des hypothèses quant à la façon dont un nouveau programme d'enrichissement des aliments influera sur la future chronologie des résultats, en rapportant tous les coûts et bénéfices à leur valeur actuelle (361). On peut aussi réaliser une étude de prévalence, dans

laquelle les coûts de l'enrichissement seront comparés aux coûts actuels imputables à la carence. Ce type d'étude nécessite moins d'hypothèses de départ, est plus simple à réaliser et peut être utile à des fins de sensibilisation (voir Chapitre 10). Dans la série d'exemples chiffrés présentée dans ces Directives, on a utilisé une méthode basée sur la prévalence pour estimer le rapport coût-bénéfice des interventions destinées à corriger les carences en iode et en fer (voir sections 9.3.2 et 9.3.3).

### 9.3 Estimation des rapports coût-efficacité et coût-bénéfice des interventions portant sur la vitamine A, l'iode et le fer : exemples

Pour illustrer l'application des méthodologies d'analyse de coût-efficacité et de coût-bénéfice à l'enrichissement des aliments, des exemples de calculs sont donnés ci-dessous pour trois micronutriments, la vitamine A, l'iode et le fer. Le **Tableau 9.3** rassemble des données pour un vaste pays en développement hypothétique P à faible revenu, nécessaires pour effectuer les calculs. Des données nationales analogues seraient nécessaires pour refaire les calculs de coût-efficacité et de coût-bénéfice pour un autre pays. L'utilisation de valeurs généralement admises pour le coût de l'enrichissement des aliments (telles que celles indiquées dans le Tableau 9.3, qui sont dérivées de données historiques) est recommandée, à moins qu'on ne dispose de données nationales.

Ces exemples de calculs nécessitent plusieurs hypothèses de départ sur les conséquences économiques de la carence (**Tableau 9.4**). Des hypothèses doivent également être formulées quant à l'efficacité du programme d'enrichissement en conditions réelles. Même s'il est bien évident que l'efficacité de l'enrichissement des aliments dépend du véhicule alimentaire choisi, de la composition du régime alimentaire habituel et du niveau préexistant de carence dans la population, il est rarement possible de tenir exactement compte de ces variations, du fait de l'absence de données de terrain. Dans ces conditions, il est instructif de réaliser une analyse de sensibilité avec les hypothèses retenues. Cela consiste à refaire les calculs à plusieurs reprises en faisant varier à chaque fois les paramètres clés. Si le rapport coût-efficacité ne change pas de façon radicale, ou si le rapport coût-bénéfice reste bon (c'est-à-dire si les bénéfices restent importants par rapports aux coûts) quand les paramètres sont modifiés, on peut davantage se fier aux conclusions.

#### 9.3.1 Supplémentation en vitamine A : calcul de coût-efficacité

Il n'est pas facile de calculer le rapport coût-bénéfice pour les interventions portant sur la vitamine A. Bien qu'il existe des effets ultérieurs en termes de productivité, le bénéfice plus immédiat de la supplémentation en vitamine A chez l'enfant est une réduction de la morbidité et de la mortalité. C'est pourquoi il est

TABLEAU 9.3

**Données nationales nécessaires pour les calculs de coût-efficacité et de coût-bénéfice : pays P**

PIB annuel par habitant	US\$ 430
Taux de mortalité chez l'enfant	117,4 pour 1000
Proportion d'enfants de ≤5 ans dans la population	25,6 %
Part de la population active travaillant dans l'agriculture	25 %
Prévalence de la carence subclinique en vitamine A, enfants de ≤5 ans	30 %
Coût de l'enrichissement en vitamine A par personne et par an	US\$ 0,10
Prévalence du goitre (femmes en âge de procréer)	15 %
Coût de l'enrichissement en iode par personne et par an	US\$ 0,10
Prévalence de l'anémie (moyenne dans la population)	37,25 %
Coût de l'enrichissement en fer par personne et par an	US\$ 0,12
Taux de mortalité infantile	80 pour 1000
Taux de mortalité maternelle	200 pour 100000
Coût de la supplémentation en fer par grossesse	US\$ 1,70

Pour illustrer l'application des méthodologies d'analyse de coût-efficacité et de coût-bénéfice à l'enrichissement des aliments, des exemples de calculs sont donnés ci-dessous pour trois micronutriments, la vitamine A, l'iode et le fer. Le **Tableau 9.3** rassemble des données pour un vaste pays en développement hypothétique P à faible revenu, nécessaires pour effectuer les calculs. Des données nationales analogues seraient nécessaires pour refaire les calculs de coût-efficacité et de coût-bénéfice pour un autre pays. L'utilisation de valeurs généralement admises pour le coût de l'enrichissement des aliments (telles que celles indiquées dans le **Tableau 9.3**, qui sont dérivées de données historiques) est recommandée, à moins qu'on ne dispose de données nationales.

TABLEAU 9.4

**Hypothèses de départ pour l'estimation des rapports coût-efficacité et coût-bénéfice de l'enrichissement des aliments en certains micronutriments**

Micronutriment	Hypothèses	Références
Vitamine A	Le risque relatif de mortalité chez les enfants présentant une carence subclinique en vitamine A (par rapport aux enfants non carencés) est en moyenne de 1,75 : 1.	362
Iode	Sur tous les enfants nés de mère atteinte de goitre, 3,4 % sont atteints de crétinisme (perte de productivité 100 %), 10,2 % d'une arriération mentale sévère (perte de productivité 25 %) et les autres d'une perte légère de QI (perte de productivité 5 %)	103, 104, 355, 363
Fer	La perte de productivité associée à l'anémie est de 5 % pour les travaux manuels légers, 17 % pour les travaux de force et 4 % pour tous les autres types de travail.	361
	L'odds ratio associé à une augmentation de 10 g/l de l'hémoglobine est de 0,80 pour la mortalité maternelle et de 0,72 pour la mortalité périnatale en Afrique (0,84 dans les autres régions); la supplémentation prénatale en fer est associée à une augmentation de l'hémoglobine de 1,17 g/l.	364

plus utile de calculer le rapport coût-efficacité de l'enrichissement ou de la supplémentation en vitamine A (exprimé en termes de coût par décès évité ou par DALY gagnée), ce qui permet de le comparer avec celui d'autres interventions de santé publique qui ont la capacité potentielle d'obtenir le même résultat.

Le calcul du rapport coût-efficacité de l'enrichissement des aliments en vitamine A, en prenant le coût par décès évité comme mesure de résultat, repose sur l'hypothèse selon laquelle tous les décès d'enfants dus à la carence en vitamine A (avitaminose A, VAD) peuvent être évités par l'enrichissement des aliments en cette vitamine. Si cette hypothèse est retenue, le calcul revient simplement à estimer la proportion, parmi tous les décès d'enfants, de ceux qui sont dus à l'avitaminose A, ce qui équivaudra au nombre de décès qui pourront être évités grâce à l'enrichissement des aliments.

Le risque attribuable en population du fait de la carence en vitamine A ( $PAR_{VAD}$ )<sup>1</sup> se calcule à partir de la prévalence de l'avitaminose A chez l'enfant et de la probabilité ou du risque de décéder de cette affection, selon la formule :

$$PAR_{VAD} = [Prév_{VAD} \times (RR_{VAD} - 1)] / [1 + Prév_{VAD} \times (RR_{VAD} - 1)]$$

dans laquelle :

$Prév_{VAD}$  = prévalence de l'avitaminose A chez l'enfant dans le groupe des moins de 6 ans

$RR_{VAD}$  = risque relatif<sup>2</sup> de mortalité chez les enfants atteints de carence subclinique en vitamine A.

Puis, en se servant des valeurs données dans les **Tableaux 9.3** et **9.4** pour le pays P, on obtient :

$$PAR_{VAD} = (0,3 \times 0,75) / (1 + 0,3 \times 0,75) = 0,183.$$

Dans le pays P, le taux de mortalité chez l'enfant (de moins de cinq ans) est de 117,4 pour 1000. Par conséquent, le nombre annuel de décès qui pourraient théoriquement être évités grâce à l'élimination de la carence en vitamine A dans ce groupe de population est :

<sup>1</sup> Le risque attribuable en population (PAR) est défini par la proportion de cas, dans la population totale, qui sont attribuables au facteur de risque.

<sup>2</sup> Le risque relatif (RR) est défini par le quotient de la probabilité d'apparition de la maladie parmi les individus exposés par la probabilité d'apparition de la maladie chez les individus non exposés.

$$0,183 \times 117,4 = 21,48 \text{ pour } 1000.$$

Supposons que le coût unitaire de l'enrichissement en vitamine A soit de US\$0,10 par an. Ce chiffre représente le coût de la couverture de 100% des besoins journaliers en vitamine A de la population par enrichissement de la farine de blé ou de 75% des besoins journaliers des enfants d'âge préscolaire par enrichissement de la margarine (O.Dary, communication personnelle, 2004). Si, dans le pays P, les enfants de moins de cinq ans représentent 25,6% de la population (Tableau 9.3), le coût de l'enrichissement par enfant de moins de cinq ans sera :

$$0,10/0,256 = 0,39, \text{ soit US\$ } 0,39 \text{ par an.}$$

Le coût par décès évité sera donc de :

$$0,39/0,02148 = 18,16, \text{ soit US\$ } 18,16 \text{ par an.}$$

On peut alors comparer ce coût à celui d'autres interventions qui sauvent des vies d'enfants, comme la vaccination et le traitement des maladies infectieuses et parasitaires. Le coût par décès évité pour cette dernière intervention est en général sensiblement plus élevé, ce qui tend à montrer que l'enrichissement en vitamine A serait une intervention de très bon rapport coût-efficacité pour réduire la mortalité chez l'enfant dans le pays P.

### 9.3.2 Iode: analyse de coût-bénéfice

Dans le calcul de coût-bénéfice décrit ici pour l'enrichissement en iode, on utilise la prévalence du goitre pour indiquer la carence en iode et on suppose comme principale conséquence économique de cette carence la perte de productivité chez les enfants nés d'une mère atteinte de goitre (voir **Tableau 9.4**). Si à de nombreux égards l'excrétion urinaire d'iode est un meilleur indicateur de la carence en iode (ce taux traduit plus rapidement l'amélioration des apports en iode (6)), de nombreux pays ne disposent pas actuellement de données suffisantes à son sujet. La relation entre l'excrétion urinaire d'iode et les conséquences sur l'enfant n'est pas non plus bien documentée, même si l'on s'attend à en savoir davantage dans un proche avenir.

En se basant sur les hypothèses énoncées dans le **Tableau 9.4**, la perte de productivité moyenne, en pourcentage, par enfant né d'une mère atteinte de goitre est :

$$(100\% \times 0,034) + (25\% \times 0,102) + (5\% \times 0,864) = 10,27\%.$$

La perte de productivité par habitant dans le pays P, où la prévalence du goitre parmi les femmes est de 15 %, est donnée par la formule :

$$\text{Perte de productivité par habitant} = \text{Prévalence du goitre} \times \text{perte de productivité moyenne} \times \text{part des salaires dans le PIB} \times \text{PIB par habitant}$$

On peut noter qu'au lieu de multiplier la perte de productivité par un salaire moyen exprimé en unités monétaires, et en appliquant un facteur qui correspond à la proportion de la population engagée sur le marché du travail nous utilisons ici une simplification, de la façon suivante :

On suppose que le salaire moyen dans la population est donné par la formule :

$$\text{Salaire moyen} = (\text{PIB par habitant} \times \text{part des salaires dans le PIB}) / \text{taux d'emploi}$$

dans laquelle le taux d'emploi est le nombre de personnes ayant un emploi, en proportion de la population totale.

Si la part des salaires dans le PIB du pays P est de 40 %, l'application de la formule ci-dessus donne une perte de productivité par habitant de :

$$0,15 \times 0,1027 \times 0,40 \times 430 = 2,65, \text{ soit US\$ } 2,65.$$

Si le coût unitaire de l'enrichissement en iode est de US\$ 0,10 par personne et par an (359), le rapport coût-bénéfice de l'enrichissement en iode est de 0,10:2,65 ou 1:26,5. Si le coût de l'enrichissement est aussi bas que US\$ 0,01, comme le suggère Dary (communication personnelle, 2004) dans certaines parties d'Amérique centrale, le rapport coût-bénéfice est encore meilleur. Dans ce cas, c'est un rapport coût-bénéfice très favorable. Ces calculs partent de l'hypothèse critique que les programmes d'enrichissement en iode ont une efficacité réelle de 100 %, c'est-à-dire qu'à long terme ils éliminent totalement le risque de goitre dans la population.

### 9.3.3 Enrichissement en fer: analyse de coût-bénéfice

L'analyse de coût-bénéfice pour l'enrichissement en fer décrite ci-dessous utilise la prévalence de l'anémie comme indicateur indirect de la carence en fer. Il est cependant généralement admis que la moitié seulement des cas d'anémie sont des cas d'anémie ferriprive; inversement, il existe un grand nombre de cas de carence en fer non associés à une anémie (voir section 3.1.1). Bien qu'elle soit

un indicateur imparfait de la carence en fer, on utilise tout de même l'anémie dans cette analyse faute de disposer de tests peu coûteux et d'application facile pour la mise en évidence de la carence en fer (voir la discussion dans Ross & Horton (365)). Le présent calcul de coût-bénéfice suppose en outre que le principal effet économique de la carence en fer est une perte de travail manuel, donc de productivité. En partant des hypothèses énoncées dans le **Tableau 9.4**, la perte de productivité pour une prévalence connue de l'anémie ( $\text{Prév}_{\text{anémie}}$ ) est donnée par la formule :

Perte de productivité associée à l'anémie sur l'ensemble du marché du travail + perte de productivité supplémentaire associée à l'anémie dans le travail manuel léger + perte de productivité supplémentaire associée à l'anémie dans le travail manuel intensif,

soit

$$(4\% \times \text{part des salaires dans le PIB} \times \text{PIB par habitant} \times \text{Prév}_{\text{anémie}}) + (1\% \times \text{part des salaires dans le PIB} \times \text{PIB par habitant} \times \text{Prév}_{\text{anémie}} \times \text{part du travail manuel léger}) + (12\% \times \text{part des salaires dans le PIB} \times \text{PIB par habitant} \times \text{Prév}_{\text{anémie}} \times \text{part du travail manuel intensif})$$

Si la prévalence de l'anémie ( $\text{Prév}_{\text{anémie}}$ ) ne correspond pas nécessairement à la présence d'une carence en fer, elle constitue néanmoins un indicateur approprié pour le calcul qui nous intéresse car les estimations de la perte de productivité employées (voir **Tableau 9.4**) sont dérivées d'études consacrées à des interventions portant sur le fer réalisées dans des populations anémiques mais non spécifiquement carencées en fer.

Selon les statistiques de l'Organisation internationale du Travail (OIT), dans les pays à faible revenu le travail manuel léger représente environ 70 % de l'ensemble du marché du travail; cette proportion est de 60 % dans les pays à revenu moyen inférieur et de 50 % dans les pays à revenu moyen supérieur (366). Pour le présent calcul, on peut supposer que 57,5 % du travail dans l'agriculture est un travail manuel intensif (en partant de l'hypothèse que la moitié du travail dans l'agriculture et le bâtiment consiste en un travail manuel intensif, et que le bâtiment représente 15 % du travail dans l'agriculture (366)).

Si dans le pays P la proportion des personnes travaillant dans l'agriculture est de 25 %, la prévalence globale de l'anémie dans la population est de 37,25 % et le travail manuel léger représente 60 % de l'ensemble du marché du travail (le pays se situant dans la catégorie à revenu moyen inférieur), la perte de productivité par personne associée à la carence en fer sera :

$$\begin{aligned}
 & (4\% \times 0,4 \times 430 \times 0,3725) + \\
 & (1\% \times 0,4 \times 0,6 \times 430 \times 0,3725) + \\
 & (12\% \times 0,4 \times 0,144 \times 430 \times 0,3725) \\
 & = 4,04 \text{ US\$}.
 \end{aligned}$$

Pour un coût unitaire de l'enrichissement en fer par personne de US\$ 0,12 (d'après des données en provenance du Venezuela (39)), on obtient un rapport coût-bénéfice de 0,12:4,04. Cependant, comme on l'a vu ci-dessus, l'enrichissement en fer ne peut pas corriger tous les cas d'anémie (c'est-à-dire que son efficacité réelle n'est pas de 100%), et il faut procéder à un ajustement pour tenir compte de ce fait.

D'après l'étude conduite au Venezuela par Layrisse et al. (39), l'enrichissement en fer a entraîné une baisse de 9% de la prévalence de l'anémie. Cependant, l'étude était limitée aux enfants de 7, 11 et 15 ans et reposait sur une comparaison avant-après et non sur un protocole avec groupe d'intervention et groupe témoin. Les conclusions de Layrisse sont toutefois étayées par les résultats d'une étude dûment contrôlée réalisée au Maroc sur du sel doublement enrichi en fer et en iode. Dans ce cas, l'enrichissement, certes à une concentration plus élevée, a permis d'obtenir une baisse de 15% de la prévalence de l'anémie ferriprive chez les enfants de 6-14 ans, pour un coût annuel estimé de US\$ 0,22 par personne (44).

Si on suppose que dans le pays P il est possible d'obtenir la même baisse en valeur absolue de la prévalence de l'anémie qu'au Venezuela (pour l'ensemble de la population et non seulement les enfants), la réduction proportionnelle de l'anémie due au programme d'enrichissement serait de :

$$0,09/0,3725, \text{ soit } 24\%.$$

Ainsi, si le bénéfice économique de la réduction de la carence en fer dans la population est de US\$ 4,04 par personne, et que le coût de l'enrichissement en fer est de US\$ 0,12 par personne avec une efficacité de 24% (c'est-à-dire que le programme d'enrichissement réduit la prévalence de 24%), le rapport coût-bénéfice devient :

$$0,12 : 4,04 \times 0,24 \text{ soit } 1 : 8.$$

Ce rapport coût-bénéfice est assez élevé, ce qui suggère que l'enrichissement en fer serait un investissement prudent dans le pays P. Le rapport coût-bénéfice pour l'enrichissement en fer est plus faible que celui qui a été calculé pour l'iode (voir section précédente). Cependant, si on évalue les bénéfices en termes de réduction de la mortalité (et non en termes de perte de productivité), l'enrichissement en fer procure un meilleur rapport coût-bénéfice. Parmi les autres bénéfices de l'enrichissement en iode et en fer, non pris en compte ici,

figurent les améliorations du développement cognitif et des résultats scolaires chez les enfants.

### 9.3.4 Supplémentation en fer: calcul de coût-efficacité

Des études ont démontré que la supplémentation en fer pendant la grossesse est associée à une amélioration de 11,7 g/l des taux d'hémoglobine. Or, une amélioration de 10 g/l des taux d'hémoglobine est associée à un odds ratio de 0,80 pour les taux de mortalité maternelle et à un odds ratio de 0,84 pour les taux de mortalité périnatale (estimés à 40% du taux de mortalité infantile). D'après ces données (voir **Tableau 9.4**), on peut admettre que la supplémentation en fer pendant la grossesse entraîne une baisse du taux de mortalité maternelle de 200 à 127 pour 100 000 naissances vivantes (ou de 2 à 1,37 pour 1000 naissances vivantes), et une baisse du taux de mortalité périnatale de 32 à 23 pour 1000 naissances vivantes.

Donc, pour un investissement de US\$ 1700 pour 1000 grossesses, 9,63 décès sont évités (9 décès en période périnatale et 0,63 décès maternel). Cela correspond à un coût de US\$ 176,5 par décès évité.

Alors qu'au premier abord il semble que la supplémentation en fer pendant la grossesse soit une stratégie de moins bon rapport coût-efficacité que l'enrichissement en vitamine A des aliments destinés aux enfants (le coût par décès évité est environ 10 fois plus élevé – voir section 9.3.1), il ne faut pas oublier que la supplémentation en fer entraîne également un bénéfice immédiat en termes de productivité, ce que ne fait pas la vitamine A.

---

## Résumé

Le rapport *coût-efficacité* d'une intervention est exprimé en termes de coût de l'obtention d'un résultat déterminé. Les analyses de coût-efficacité sont particulièrement utiles pour comparer diverses interventions qui visent le même résultat. Pour les évaluations des interventions de santé publique, les deux mesures d'efficacité les plus largement utilisées sont le coût par décès évité et le coût par année de vie ajustée sur l'incapacité (DALY) gagnée. Ces deux mesures peuvent s'appliquer aux interventions portant sur les micronutriments. Bien que cette dernière mesure combine en un seul indicateur les résultats en termes de morbidité et de mortalité, son calcul exige en général davantage de données et d'hypothèses de départ.

Une analyse de *coût-bénéfice* compare le coût monétaire d'une intervention avec la valeur monétaire d'un résultat déterminé (c'est-à-dire le bénéfice). Comme les analyses de coût-bénéfice peuvent comparer des interventions dont les résultats et les bénéfices potentiels s'étendent au-delà du cadre de la santé, on peut les utiliser pour évaluer les mérites respectifs des interventions de santé et d'autres formes de dépenses publiques. Les analyses de coût-bénéfice sont donc particulièrement utiles lorsqu'il s'agit de demander une augmentation des ressources consacrées à la nutrition et à la santé.

Les analyses de coût-efficacité et de coût-bénéfice ont montré que :

- L'enrichissement en iode comme l'enrichissement en fer ont la capacité d'obtenir un très bon rapport coût-bénéfice étant donné les taux de prévalence de la carence en micronutriments et la situation économique de nombreux pays à faible revenu.
  - L'enrichissement des aliments en vitamine A a un très bon rapport coût-efficacité en termes de réduction de la mortalité chez l'enfant, de même que la supplémentation en fer chez les femmes enceintes.
  - L'enrichissement des aliments a un rapport coût-efficacité d'autant meilleur que la proportion de la population ayant besoin d'une telle intervention s'élève.
-

## Communication, marketing social et activités de sensibilisation à l'appui des programmes d'enrichissement des aliments

Tous les programmes d'enrichissement des aliments ont en commun deux objectifs avec les autres programmes de promotion de la santé :

- 1) créer un environnement favorable – dans le cas présent, qui permette à des aliments correctement enrichis d'être largement disponibles et qui donne à la population les moyens de les acquérir;
- 2) aider la population à adopter des comportements favorables à la santé – dans le cas présent, des comportements qui renforcent la contribution des aliments enrichis à l'amélioration du statut en micronutriments.

Pour atteindre ces objectifs, il faut non seulement un engagement politique et un soutien des différents acteurs, mais aussi que les lois et règlements nationaux, les pratiques de fabrication et de commercialisation et les normes, politiques et structures communautaires soient renforcés ou modifiés de façon à pouvoir mettre les aliments enrichis à la portée de ceux qui en ont le plus besoin. De plus, il est probable que les bénéficiaires du programme devront recevoir des conseils et des encouragements avant d'accepter d'intégrer les produits enrichis dans leur alimentation, de modifier les pratiques alimentaires qui affectent l'absorption des éléments nutritifs contenus dans les aliments, et d'adopter des techniques de conservation à domicile et de cuisson qui maximisent la valeur nutritive des aliments qu'ils consomment. Sur toute l'étendue de ces changements, qu'il s'agisse de l'environnement ou des comportements individuels, la communication joue un rôle capital.

Pour augmenter ses chances de réussite, un programme d'enrichissement des aliments doit être appuyé par une série d'activités de communication bien coordonnées, destinées à promouvoir le changement au niveau individuel, communautaire et politique et chez l'ensemble des acteurs. À cet égard il importe de savoir que les messages sur les avantages de l'enrichissement des aliments peuvent être transmis de différentes façons et avec diverses techniques, pour des effets très différents selon l'audience visée. En décrivant certaines des options disponibles, le présent chapitre a pour principal objectif d'aider les directeurs

des programmes portant sur les micronutriments à connaître les besoins différents en communication des divers secteurs et donc à orienter plus efficacement leurs activités de communication.

### 10.1 Stratégies de communication : les options

Il existe plusieurs méthodologies reconnues que les directeurs de programmes peuvent utiliser pour faire passer des messages concernant les bénéfices de l'enrichissement des aliments en micronutriments : l'éducation nutritionnelle, le marketing social et les activités de sensibilisation (voir **Tableau 10.1**). L'expérience a montré que certaines approches (communication en matière de santé, éducation nutritionnelle, marketing social) sont particulièrement utiles pour encourager les personnes à adopter des comportements plus sains ; d'autres ont aidé à promouvoir un soutien communautaire, ou ont conduit à l'adoption de lois ou de réglementations, ou encore ont mobilisé des pays entiers pour des

TABLEAU 10.1

#### Méthodes de promotion nutritionnelle : définitions

Concept	Définition
Éducation nutritionnelle	Tout ensemble d'expériences pédagogiques destinées à faciliter l'adoption volontaire de comportements alimentaires et autres comportements en rapport avec la nutrition conduisant à un état de santé et de bien-être (368).
Communication en matière de santé	Élaboration et transmission de messages et de stratégies, basés sur la recherche en matière de consommation, dans le but de promouvoir la santé de l'individu et de la communauté (V. Freimuth, dans la référence 369).
Marketing social	Conception, mise en œuvre et contrôle de programmes visant à augmenter l'acceptabilité d'une idée ou d'une pratique sociale, ou d'un produit, dans un ou plusieurs groupes susceptibles de les adopter. Le processus implique activement la population cible, qui consacre volontairement du temps et de l'attention à chercher à répondre à ses besoins de santé tels qu'elle les perçoit (370).
Sensibilisation	Action de persuader les autres de soutenir une cause concernant l'individu, le groupe ou la communauté. Peut impliquer l'utilisation stratégique des médias comme ressource pour faire avancer une initiative sociale ou d'intérêt public (371).
Mobilisation sociale	Mouvement de grande ampleur pour engager un grand nombre de personnes dans une action visant à atteindre un objectif de développement spécifique grâce à un effort autonome. La mobilisation sociale est très efficace lorsqu'elle fait appel à un mélange d'actions de sensibilisation, de participation communautaire, de partenariats et de renforcement des capacités qui ensemble créent un environnement favorable à une action de longue durée et à des modifications durables des comportements (372).

actions périodiques en faveur de la santé (sensibilisation, mobilisation sociale). En pratique, cependant, il ne s'agit pas seulement de choisir une approche plutôt qu'une autre, mais de trouver la bonne combinaison de stratégies et de tactiques qui, ensemble, permettront d'atteindre les objectifs du programme (367).

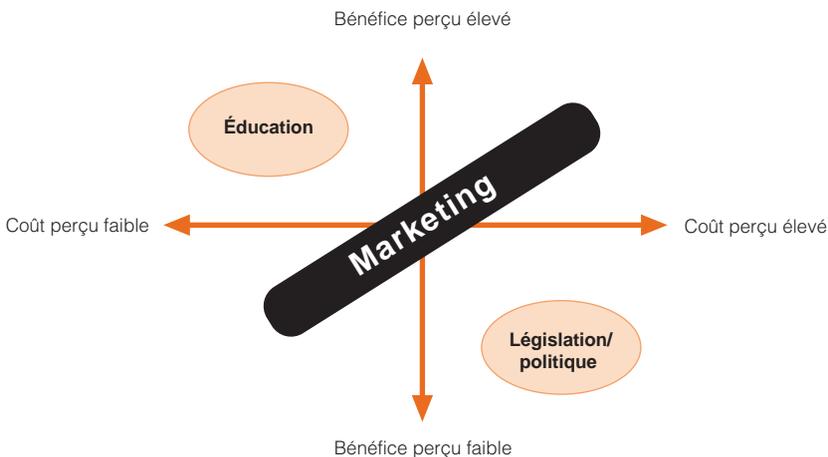
Rothschild (373) a proposé un cadre utile pour l'analyse des besoins en communication, dans lequel l'éducation, le marketing et la législation sont envisagés en tant qu'approches interconnectées pour toutes les questions sociales et en relation avec la santé. En décrivant les relations entre les diverses activités en termes de prise de décision individuelle et de perception des coûts et des bénéfices (Figure 10.1), le cadre défini par Rothschild peut aider à identifier les approches les plus adaptées à des tâches particulières.

### 10.1.1 Éducation

La partie en haut à gauche de la Figure 10.1 est occupée par l'éducation ou «transmission de connaissances». Cette approche est très efficace lorsque le bénéfice d'un changement est évident et que le changement ne paraît pas coûteux à la personne ou au groupe auxquels il est demandé. Il était admis dans le passé que seule une communication minimale était nécessaire pour «éduquer» le public, les personnalités influentes dans la communauté scientifique et les industriels quant aux bénéfices de l'adjonction d'éléments nutritifs aux produits alimentaires. Toutefois, l'expérience de l'iodation du sel a montré que, dans la réalité, une approche beaucoup plus négociée est nécessaire.

FIGURE 10.1

**Relation entre la prise de décision individuelle et les coûts et bénéfices perçus de tout nouveau comportement, concept ou produit**



Source: reproduit d'après la référence 374, avec l'autorisation des éditeurs.

Les produits enrichis sont élaborés pour répondre à un besoin biologique en micronutriments. Cependant, au niveau de l'individu ce besoin est largement méconnu car personne n'éprouve le besoin de consommer des micronutriments ni n'a conscience d'une éventuelle carence. Au contraire, le besoin de micronutriments dans une population est défini par la communauté médicale, habituellement par les valeurs d'un marqueur biochimique, clinique ou autre d'un état de carence. Comme les données brutes sur la prévalence de la carence sont souvent difficiles à comprendre pour le grand public, elles ne suffisent pas par elles-mêmes à donner aux individus une justification plausible pour modifier leurs habitudes en matière d'achats et de préparation des aliments ou leurs habitudes alimentaires en général. Il faut plutôt un message plus aisé à comprendre, qui soit de préférence adapté au besoin d'information et à l'aptitude cognitive du public auquel il s'adresse (voir **Encadré 10.1**).

Dans les messages éducatifs, l'absence d'ambiguïté est fondamentale. Lorsque les experts scientifiques ne sont pas d'accord entre eux, le public tend à rejeter tous les arguments scientifiques jusqu'à ce qu'un message univoque se dégage. Pour les directeurs de programmes d'enrichissement des aliments, il est parfois difficile de parvenir à un consensus entre les diverses affirmations concernant l'efficacité, l'innocuité, la qualité et le coût d'une intervention donnée. Par exemple, alors que les professionnels de la santé publique tendent à favoriser les taux de composés d'enrichissement les plus appropriés en vue d'obtenir le maximum d'impact, ou recommandent l'emploi des composés qui ont la meilleure biodisponibilité, les producteurs essaieront de réduire le plus possible

### **ENCADRÉ 10.1**

#### **L'éducation en tant que stratégie de communication: les clés du succès**

Les approches éducatives obtiennent les meilleurs résultats lorsque le destinataire de l'information a déjà exprimé le désir ou l'engagement d'adopter le comportement souhaité et recherche maintenant des informations sur ce qu'il faut faire et comment le faire.

Une information qui a pour but de fournir des connaissances doit être simple, claire et sans ambiguïté. Elle doit être :

- adaptée aux capacités cognitives du destinataire (selon l'âge, le niveau d'études, l'aptitude à la lecture et le niveau de langage pour une compréhension maximale);
- adaptée au mode de communication, qu'il soit verbal, visuel ou tactile (par exemple pour montrer comment faire un mélange);
- capable de répondre à des questions factuelles comme Qui? À qui? Où? Comment?

les changements au niveau de la qualité et du coût des produits. Il est indispensable de trouver un processus capable d'harmoniser ces points de vue entre le secteur public et le secteur privé, afin de développer un produit qui ait à la fois le soutien des pouvoirs publics et de l'industrie – et qui sera au bout du compte accepté par le consommateur. Il importe donc, dès le début de tout programme d'enrichissement des aliments, de tenter d'intégrer et de traduire le langage technique et le jargon professionnel des domaines de la santé publique, des sciences de l'alimentation et des affaires dans un vocabulaire commun susceptible d'être compris par tous les professionnels concernés. Le langage technique et le jargon professionnel devront être réservés aux communications entre spécialistes ; le public aura besoin d'une approche plus élaborée et fondée sur un consensus scientifique apparent si l'on veut obtenir une pénétration maximale des messages.

### 10.1.2 Législation, politiques et sensibilisation : communication avec les responsables de l'élaboration des politiques

De façon diamétralement opposée à l'éducation, comme on le voit sur la Figure 10.1, il est fait appel à la législation (ou à la réglementation) pour provoquer un changement sociétal lorsqu'un tel changement paraît coûteux et semble devoir compromettre les bénéfices individuels. Dans le contexte de la santé, la plupart des lois et règlements visent à faire passer le bien collectif avant les souhaits ou le profit individuels. Rothschild définit la loi comme « l'emploi de la coercition pour obtenir des changements de comportement d'une façon non volontaire de la part du sujet » (373) mais dans la pratique les lois ne peuvent réellement avoir qu'un effet de persuasion, car les individus comme les sociétés peuvent toujours choisir de respecter ou non la loi ou la réglementation en fonction de leur propre calcul de coût-bénéfice.

Lorsqu'un groupe quel qu'il soit s'organise pour faire modifier une loi ou une politique, le premier outil qu'il emploie est la *sensibilisation*. Les personnes ou les groupes auxquels s'adresse cette action sont ceux qui ont le pouvoir de modifier la loi ou la réglementation, c'est-à-dire les responsables de l'élaboration des politiques. Le premier message à faire passer est la raison pour laquelle la personne ou le groupe visé doit se sentir concerné (**Encadré 10.2**). « Dans l'idéal, les responsables de l'élaboration des politiques devraient prendre en compte les informations scientifiques...lors de la prise de décision. Dans la réalité, de nombreuses décisions sont basées sur des demandes à court terme plutôt que sur des études de longue durée, et les politiques et programmes sont souvent élaborés à partir de données très fragmentaires. Les données existantes dans le domaine de la santé sont souvent sous-utilisées et parfois même ignorées » (375).

Certains groupes de pression (et en fait des gouvernements et des associations professionnelles) utilisent activement les médias pour attirer l'attention sur une question particulière et présenter leur point de vue. Il est conseillé aux directeurs

### **ENCADRÉ 10.2**

#### **La sensibilisation en tant qu'outil de communication avec les responsables de l'élaboration des politiques: les clés du succès**

La sensibilisation présente les questions d'une façon appropriée pour retenir l'attention du public, des médias et des responsables de l'élaboration des politiques. Elle doit être :

- axée sur une seule question ou sur un nombre très limité de questions ;
- aller rapidement au cœur du sujet et finir rapidement ;
- ajouter un contenu émotionnel et adapté au contexte local ;
- répondre à la question : Pourquoi devons-nous nous occuper de cela ?

### **ENCADRÉ 10.3**

#### **L'utilisation des médias: les clés du succès**

Les chances d'obtenir une bonne couverture par les médias sont augmentées par :

- l'existence d'un conflit, d'une controverse ou d'une injustice ;
- l'implication de la communauté ;
- l'humour ;
- le lien direct avec l'actualité ;
- l'image : dessins, vidéos, photos, graphiques, interviews de spécialistes.

des programmes d'enrichissement des aliments qui souhaitent utiliser les médias de cette façon d'établir de bonnes relations de travail avec des journalistes clés et de se faire ainsi une bonne réputation en tant que source fiable d'information. Il est utile de préparer des aide-mémoire, des points de presse et autres documents qui pourront être utilisés par les médias d'information, mais pour en tirer un impact maximal il faut habituellement les associer à un événement remarquable tel que la publication de nouvelles données, une réunion publique ou une décision gouvernementale. Bien que le succès dans les médias puisse être mesuré par la visibilité ou le temps d'écoute, il est au moins aussi important de s'assurer que l'information est présentée de la façon qui était prévue. Cela peut être extrêmement difficile car les médias d'information sont de plus en plus une «industrie du divertissement» et le positionnement de l'information est souvent conditionné par la recherche de l'audience maximale. Les stratégies permettant d'augmenter la couverture médiatique sont présentées dans l'Encadré 10.3.

### 10.1.3 Marketing social

La partie centrale de la Figure 10.1 est occupée par le marketing, et plus précisément le marketing social. Le marketing social est l'utilisation de techniques de marketing développées par le secteur privé (marketing commercial) pour atteindre des objectifs relevant du secteur public. Dans le domaine de la santé publique, cette technique a été utilisée avec succès pour promouvoir la planification familiale, la prévention du VIH, la réhydratation orale, le lavage des mains et la vaccination, ainsi que divers programmes nutritionnels comme l'alimentation des nourrissons, l'iodation du sel, la supplémentation en fer et les programmes de diversification alimentaire (376, 377).

Le marketing commercial et le marketing social ont en commun de chercher à influencer le public dans ses choix en ce qui concerne des comportements et/ou des produits ou services (l'offre) qu'il utilise en augmentant la valeur perçue de l'offre et en atténuant les obstacles perçus comme tels. Dans le marketing commercial, les consommateurs achètent un produit ou un service qu'ils jugent valables par rapport à l'argent dépensé. Les profits générés par cet échange sont redistribués à la société qui procure les produits ou les services et à ses actionnaires.

Le terme «marketing social» s'emploie en général pour désigner la promotion de «causes jugées bénéfiques pour les individus comme pour la société par des personnes investies du pouvoir et de l'autorité» (378). Le consommateur potentiel d'un programme de marketing social pourra être incité à utiliser un produit (par exemple un vaccin contre la poliomyélite, une capsule de vitamine A, du savon), un service (par exemple une consultation de nourrissons, un contrôle dentaire préventif) ou à adopter ou modifier un comportement (par exemple préparer une solution de réhydratation orale, refuser l'offre d'une cigarette, adopter l'allaitement au sein exclusif jusqu'à six mois). Généralement, le consommateur ou acquéreur potentiel commence par ne ressentir aucun besoin ni envie de ce produit, service ou comportement et, en fait, utilise ou fait quelque chose d'autre que ce qui est proposé. Une fois le changement réalisé, le consommateur aura consacré du temps, de l'argent, renoncé à une croyance ou une attitude passée, ou même les trois, pour accéder à l'offre. Dans un programme de marketing social, contrairement à ce qui se passe avec le marketing commercial, le retour pour les «actionnaires» est un meilleur état de santé et de bien-être pour la société. Toutefois, lorsque des entités du secteur social et du secteur privé s'associent pour réaliser un marketing de produits apportant un bénéfice sur le plan social, comme les aliments enrichis, cela engendre en général aussi un certain profit financier. De cette façon, ce type de partenariat peut parvenir à s'autofinancer, ce qui évite de devoir compter sur une contribution à long terme de la part de l'État ou des organismes donateurs (379, 380).

Comme l'objectif est essentiellement d'obtenir un changement volontaire, le marketing social atteint les meilleurs résultats lorsqu'il implique les consommateurs potentiels dans toutes les composantes du programme. Les consommateurs

potentiels doivent être consultés sur le développement du produit ou du service ainsi que sur son coût («prix»), son image («positionnement du produit»), sa distribution («place») et sa promotion. Ces facteurs sont appelés les quatre «P» du marketing social et sont analysés dans le contexte de l'enrichissement des aliments dans l'**Encadré 10.4**.

Les programmes de marketing social nécessitent un investissement considérable pour sensibiliser les consommateurs potentiels aux offres et leur démontrer l'intérêt de celles-ci jusqu'au point où ils accepteront de donner de leur temps et de leur argent ou de renoncer à des habitudes et croyances bien enracinées. Ces programmes s'appuient essentiellement sur la communication et doivent disposer de temps pour développer pleinement leur potentiel. Mais le marketing social n'est pas seulement de la communication; aussi intenses que soient la publicité, la sensibilisation, la mobilisation sociale, l'éducation, l'information ou la communication en matière de santé, elles ne pourront vendre un produit de qualité inférieure, mal emballé et distribué et/ou d'un prix défavorable. Pour ces raisons, les objectifs du marketing social devront être définis, avec les autres objectifs du programme, dès le stade de la planification de tout programme d'enrichissement des aliments. Les indicateurs du marketing social devront également être élaborés à ce stade; on pourra les utiliser, avec les autres indicateurs programmatiques, pour évaluer la mise en œuvre et la performance du programme (voir Chapitre 9). Le comportement des consommateurs et ses antécédents peuvent constituer d'utiles mesures complémentaires de la réussite du programme.

## 10.2 La communication à l'appui des programmes de marketing social

Comme on l'a vu dans la section précédente, le bon dosage de marketing social et d'autres stratégies peut faire toute la différence dans le succès d'un programme de santé publique. Les directeurs de programmes d'enrichissement des aliments peuvent s'inspirer de nombreuses publications pour guider le développement de la composante communication d'un programme de marketing social destiné à appuyer leur propre initiative en matière d'enrichissement des aliments. Par exemple, *CDCynergy. A communications guide for micronutrient interventions* fournit non seulement des conseils étape par étape mais s'appuie sur des exemples, pris dans le monde entier, de programmes ayant fait l'objet d'un marketing social réussi.<sup>1</sup> Dans ce guide, toute la production et la diffusion des matériels promotionnels est basée sur un processus systématique reposant sur

<sup>1</sup> *CDCynergy. A communications guide for micronutrient interventions* est un CD-ROM très complet qui aide à planifier, mettre en œuvre et évaluer les programmes de communication. Ce CD-ROM est disponible gratuitement auprès des Centers for Disease Control and Prevention et peut être commandé en ligne à l'adresse [http://www.cdc.gov/nccdphp/dnpa/impact/tools/order\\_form.htm](http://www.cdc.gov/nccdphp/dnpa/impact/tools/order_form.htm).

**ENCADRÉ 10.4****Les clés du succès en marketing social: les quatre «P» des aliments enrichis****Positionnement du produit**

- Un produit enrichi de haute qualité devrait être produit dans le respect des bonnes pratiques de fabrication, des directives techniques de l’OMS ou de toute autre forme de directives et de règlements.
- Le produit doit être présenté de façon attrayante, être savoureux et avoir toutes les qualités pour attirer le consommateur potentiel.
- Le positionnement du produit est issu de recherches sur les consommateurs potentiels. Il fait des promesses qu’il peut tenir. En fin de compte cela deviendra sa « marque de fabrique ».

**Prix**

- Le produit enrichi doit être emballé en quantités et à un prix accessibles pour le consommateur potentiel.
- Différents points relatifs aux quantités et aux prix devront être développés pour satisfaire des groupes de consommateurs différents.

**Place**

- Le produit enrichi doit être largement distribué (y compris dans les zones rurales) en utilisant le cas échéant les circuits commerciaux de distribution des denrées alimentaires.
- Tous les obstacles physiques à l’obtention du produit enrichi devront être éliminés.

**Promotion**

- La promotion du produit devra être dictée par le positionnement de celui-ci.
- Les bénéfices apportés par les produits enrichis et les faiblesses des équivalents non enrichis doivent être présentés en termes qui ont un sens pour le consommateur.
- L’acte d’achat d’aliments enrichis doit être présenté comme « nouveau » et, par la suite, comme « normal ».
- Le consommateur doit être persuadé d’adopter des pratiques de consommation qui favorisent l’absorption de micronutriments.
- Le consommateur devra être informé sur la façon de stocker les aliments enrichis de manière à les protéger et à prolonger leur durée de conservation.

des données et centré sur l'audience visée ou le consommateur. Ce processus comprend les activités suivantes :

- Recherche qualitative et quantitative pour définir les audiences participantes, les attitudes des consommateurs et les obstacles au changement.
- Analyse des données pour définir et segmenter les audiences en groupes similaires pour la communication.
- Recherche et tests préliminaires pour déterminer les bénéfices les plus motivants pour ces audiences cibles.
- Création de messages basés sur les bénéfices clés identifiés. Pour chaque segment, les messages doivent répondre à la question « Quel est le bénéfice pour moi ? » La recherche sur le contexte et la recherche qualitative peuvent définir les messages clés qui répondent à cette question.
- Activités promotionnelles et autres activités diffusées par des canaux appropriés vers chaque segment d'audience visé.

Cette approche peut être appliquée à d'autres stratégies de communication, y compris la sensibilisation et l'éducation nutritionnelle, pour mieux les ajuster et les rendre plus efficaces. Les méthodes de recherche en marketing social peuvent aussi être utilisées pour interagir avec tous les participants d'un programme portant sur les micronutriments, c'est-à-dire non seulement les consommateurs potentiels, mais aussi les représentants de l'industrie, les pouvoirs publics et les organisations non gouvernementales (ONG).

Les conseils et suggestions pour communiquer les bénéfices de l'enrichissement des aliments qui sont donnés dans cette partie des Directives sont nécessairement généraux. Il est recommandé de conduire des recherches en marketing social dans chaque pays ou région afin d'identifier le meilleur dosage de messages et de communication de façon à servir au mieux les objectifs des programmes d'enrichissement en micronutriments.

### 10.2.1 Construire des partenariats en collaboration

Dans certaines régions du monde, la constitution d'alliances ou de réseaux a conduit à une collaboration plus efficace entre les principaux partenaires impliqués dans la lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments. Ces partenariats impliquent le plus souvent des représentants des agences bilatérales et multilatérales, des ONG internationales et nationales, des établissements de recherche et d'enseignement, des fondations et, de plus en plus, de l'industrie. Le Réseau pour l'élimination durable de la carence en iode<sup>1</sup>

<sup>1</sup> On trouvera de plus amples information sur Internet, à l'adresse <http://www.sph.emory.edu/iodinenetwork/>.

et l'Alliance mondiale pour une meilleure nutrition (GAIN)<sup>1</sup> ainsi que l'Initiative pour l'enrichissement des farines<sup>2</sup> figurent parmi les exemples les plus connus. Le rôle principal de ces alliances est de mobiliser les décideurs par rapport à la dimension de santé publique de la malnutrition par carence en micronutriments et de fournir un appui aux programmes d'enrichissement des aliments.

Dans ce climat de collaboration multisectorielle, le principal rôle de l'industrie agroalimentaire est de produire, distribuer et commercialiser un produit enrichi de bonne qualité et de prix compétitif. Dans l'idéal, l'enrichissement en micronutriments ne devrait pas ajouter plus d'un faible pourcentage du coût du produit à son prix, ni nuire à sa qualité ou créer un déséquilibre au niveau des affaires ou de la concurrence. En revanche, le secteur public devrait faire en sorte de créer un environnement permettant au secteur privé d'investir dans l'enrichissement des aliments. Cet environnement devrait éviter dans la mesure du possible la concurrence déloyale de produits non enrichis de qualité inférieure ou moins chers, qui rendraient difficilement acceptable pour le consommateur le coût additionnel de l'enrichissement des produits.

Inévitablement, une certaine tension se manifesterait entre l'accent mis par le secteur public sur les droits du consommateur et sur les questions d'équité et de santé publique, et l'objectif du secteur privé, axé sur la demande du produit, sa viabilité commerciale et la production de bénéfices. Pour parvenir à un équilibre entre les points de vue du secteur public et du secteur privé, il faudra développer des outils de communication pour négocier un certain nombre de questions potentiellement génératrices de conflits, par exemple :

- L'augmentation des ventes est un des buts fondamentaux des activités de marketing du secteur privé. Cependant, ce n'est pas nécessairement un but au niveau public ou national, et pour certains véhicules alimentaires, comme le sucre ou le sel, l'augmentation de la consommation – ou des ventes – n'est pas un but explicite du programme. Les messages doivent guider le consommateur vers le produit enrichi, mais pas nécessairement pour augmenter la consommation du produit lui-même (sucre, huile, sel, farine).
- Alors que les entreprises privées visent un profit maximum, le secteur public s'efforce d'améliorer l'accessibilité des produits enrichis et de limiter au minimum possible toute augmentation de prix. Il faut donc parvenir à un équilibre pour rémunérer correctement les producteurs tout en évitant une augmentation brutale des prix pour les consommateurs à risque.
- Les logos et la caution apportée par les gouvernements ou les ONG peuvent être de puissants outils de promotion. La difficulté réside ici dans le fait que,

<sup>1</sup> On trouvera de plus amples informations sur Internet, à l'adresse <http://www.gainhealth.org>.

<sup>2</sup> On trouvera de plus amples informations sur Internet, à l'adresse <http://www.sph.emory.edu/wheatflour/>.

tandis que la publicité du secteur privé est conçue pour produire le maximum de parts de marché, les campagnes du secteur public ne peuvent être perçues comme favorisant une entreprise ou une autre. Une solution possible est de faire appel à des campagnes de promotion génériques axées sur l'enrichissement des aliments, sur le micronutriment concerné, sur le véhicule alimentaire ou sur l'aval des pouvoirs publics.

Dans certains contextes, le meilleur moyen de s'assurer que la communication fonctionne entre les partenaires du programme pourrait être de constituer un groupe de travail ou un comité multisectoriel officiel. Le rôle et la composition d'un tel organe sont décrits dans l'Encadré 10.5.

### ENCADRÉ 10.5

#### **Construire des partenariats en collaboration: le rôle d'un groupe de travail ou d'un comité multisectoriel sur l'enrichissement des aliments**

Bien que des groupes de travail informels puissent favoriser la communication, un organisme plus formel, dont les membres représentent officiellement les intérêts de leur organisation, peut être plus efficace pour activer la communication tout au long de la chaîne qui va des décideurs au plus haut niveau jusqu'aux consommateurs. Un groupe de travail ou comité multisectoriel est utile pour assurer l'engagement de tous les acteurs, parvenir à un consensus et coordonner la contribution des divers secteurs ou disciplines (380). Il devra être composé de représentants du secteur de la mise en œuvre technique du programme ainsi que de personnes disposant d'une influence certaine auprès des audiences, des institutions et des décideurs clés. La composition du groupe ou du comité variera selon les conditions du pays, mais son noyau devrait comprendre des représentants des secteurs suivants :

- organismes publics du domaine de la santé, de la réglementation et du contrôle des denrées alimentaires impliqués dans la réglementation, le suivi et la surveillance, et organismes spécialisés dans les besoins particuliers en matière de financement ;
- entreprises impliquées dans la production du véhicule alimentaire choisi, sa transformation avec valeur ajoutée, et la distribution du produit enrichi aux grossistes et aux détaillants ;
- établissements d'enseignement supérieur et de recherche (qui apportent une contribution technique et un surplus de crédibilité) ;
- ONG (qui fournissent appui, ressources et communication à diverses parties intéressées) ;
- organisations de consommateurs.

### 10.2.2 Élaborer des messages à l'intention des dirigeants politiques

Pour de nombreux gouvernements, l'enrichissement des aliments est une option attrayante car elle offre la possibilité de parvenir à des buts nutritionnels et sanitaires avec un financement assuré de manière importante – du fait du transfert des coûts vers le marché de l'agroalimentaire – par le secteur privé. Naturellement, les services et organes gouvernementaux ont des priorités variables, et certains trouveront un plus grand intérêt à un type de résultat qu'à un autre. Par exemple, le potentiel d'amélioration de la productivité et du développement économique intéressera plus particulièrement les services de l'économie et des finances. Les messages adaptés aux conditions économiques du pays auront donc davantage de chances de susciter l'intérêt des responsables politiques travaillant dans ces domaines.<sup>1</sup> On peut citer d'autres exemples :

- Des messages définissant une baisse des coûts de la santé trouveront un écho particulier chez les responsables du budget de la santé.<sup>2</sup>
- Des perspectives comme une amélioration des aptitudes cognitives et des résultats scolaires peuvent être jugées convaincantes par les organismes investissant dans les programmes éducatifs.
- Les organismes travaillant dans le domaine du développement industriel ou des entreprises d'État seront probablement motivés par les estimations portant sur la baisse de productivité et les pertes économiques.

Selon les conditions régnant dans le pays, certains services gouvernementaux peuvent avoir un intérêt particulier pour l'impact de l'enrichissement des aliments et peuvent donc constituer des cibles privilégiées pour les messages de sensibilisation. Après avoir identifié, par des recherches en marketing social, les intérêts et préoccupations spécifiques de chaque groupe, il est possible d'élaborer des séances de sensibilisation ou d'éducation spécialement adaptées, comme dans les exemples suivants :

- Dans certains pays, des organismes gouvernementaux sont impliqués dans la production et la distribution, payante ou gratuite, d'aliments de base. L'enrichissement de ces aliments aura un impact sur le budget des ministères ou des organismes d'État responsables du financement de ces activités.

<sup>1</sup> Il existe plusieurs outils permettant d'estimer l'impact économique des carences en micronutriments d'après les statistiques nationales de prévalence, de produit intérieur brut, de structure de la main-d'œuvre, d'utilisation des soins de santé et d'autres facteurs propres au pays. *Profiles*, une simulation informatique développée par Academy for Education Development, Washington DC, États-Unis d'Amérique, est l'un de ces outils. On trouvera de plus amples informations sur le site Internet <http://aedprofiles.org/>. Un autre a été développé par l'Initiative pour les micronutriments, Ottawa, Canada ; on en trouvera les détails dans le rapport *Economic consequences of iron deficiency* (365).

<sup>2</sup> La simulation *Profiles* (voir la note précédente) comprend une méthodologie de mesure de la réduction des dépenses de santé.

- Parfois, le véhicule alimentaire choisi (qui est souvent de la farine de blé) est importé, auquel cas les responsables peuvent exprimer des préoccupations spécifiques quant à la promotion d'un produit qui a un impact négatif sur la balance économique du pays.
- Comme l'enrichissement des aliments a un meilleur rapport coût-efficacité lorsqu'il est réalisé par les entreprises les plus grandes ou les plus modernes, les services responsables du développement des petites entreprises peuvent être préoccupés par l'impact social et économique de cette intervention sur les petits producteurs ainsi que leur famille et leur communauté.
- La création d'un environnement favorable à l'investissement privé va souvent de pair avec des exonérations de certains impôts et taxes. Les ministères chargés de l'administration de ces programmes créateurs de ressources sont souvent débordés de demandes d'exonération fiscale.

### 10.2.3 Élaborer des messages à l'intention des dirigeants de l'industrie

Du point de vue des producteurs du secteur privé, il ne faut pas laisser l'enrichissement des aliments influencer négativement sur les objectifs fondamentaux de l'industrie que sont les ventes et le profit. Tout lancement d'un nouveau produit comporte le risque d'une résistance de la part du consommateur et par conséquent d'une baisse des ventes et d'une réduction des bénéfices. Les messages destinés à l'industrie peuvent répondre à cette préoccupation en mettant l'accent sur des expériences commerciales réussies ou sur des essais en cours qui montrent qu'il n'existe que très peu, voire pas du tout, de résistance des consommateurs vis-à-vis des produits enrichis.

Même si, du point de vue du consommateur, l'enrichissement des aliments n'entraîne qu'un très faible coût annuel, pour un gros producteur cela peut représenter un investissement initial important. Pour aider à surmonter toute réticence de l'industrie à réaliser cet investissement, les messages destinés au secteur industriel doivent insister sur l'engagement du secteur public en faveur de la création d'un «environnement commercial favorable», c'est-à-dire qui permette aux industriels de dégager un profit raisonnable ou au minimum de récupérer les sommes investies. Cela implique un certain nombre de facteurs techniques, commerciaux et réglementaires, mais un élément clé est la création d'une prise de conscience et d'une demande chez le consommateur. Les messages destinés à l'industrie doivent donc également souligner l'engagement du secteur public en faveur du développement de la communication et son soutien à des allégations de santé crédibles et à une mention d'une caution officielle, par exemple au moyen de logos.

Au-delà des messages de base sur les conditions favorables aux ventes et aux bénéfices, divers autres messages peuvent être utiles pour s'assurer l'engagement de l'industrie en faveur des programmes d'enrichissement des aliments. Là

encore, selon les résultats de recherches menées avec la participation de représentants de l'industrie et du secteur public, des messages portant les idées suivantes pourraient être utiles :

- Aux yeux des services de relations avec le gouvernement ou le public, la perspective d'une meilleure image publique et de meilleures relations avec le gouvernement est souvent perçue comme avantageuse pour les affaires.
- En ce qui concerne les audiences techniques, l'enrichissement des aliments pourrait être présentée comme une occasion d'améliorer la qualité des produits. Par exemple, dans le cas des minoteries, l'adjonction de micronutriments peut être présentée comme une restitution, dans la farine moulue, des qualités nutritionnelles initiales du grain entier.
- Pour les entrepreneurs des pays en développement, la référence à l'enrichissement des aliments en Amérique du Nord et en Europe peut évoquer une pratique industrielle supérieure.
- Pour certaines entreprises, une augmentation des parts de marché et la fidélisation du consommateur peuvent être perçues comme un avantage potentiel de l'enrichissement des aliments pour l'industrie. Cependant, si certaines entreprises en tirent davantage de profit que d'autres, rien ne montre que l'enrichissement des aliments à l'échelle nationale augmente globalement les ventes.

Il ne faut pas non plus sous-estimer la puissance de l'argument «Faire ce qu'il convient de faire». Bien que largement axée sur les résultats financiers, l'industrie conserve une certaine conscience sociale. De plus, elle s'intéresse de près au niveau d'information des consommateurs et à leur réaction vis-à-vis d'un nouveau produit. Cet intérêt ne se manifeste pas seulement dans le secteur industriel; les responsables de l'élaboration des politiques et les leaders dans le domaine des affaires sont également sensibles à la réaction des consommateurs potentiels. Pour les dirigeants politiques les consommateurs représentent aussi une force politique, et ils ont eux donc aussi besoin de prévoir une réaction possible du public à l'enrichissement des aliments. Par conséquent, même si les dirigeants du secteur public comme du secteur privé ne constituent pas une audience directe pour les activités de sensibilisation, il est indispensable de comprendre le point de vue des consommateurs pour répondre à certaines de leurs préoccupations et concevoir des messages efficaces.

#### 10.2.4 Élaborer des stratégies de marketing et d'éducation à l'intention des consommateurs

Le marketing et l'éducation des consommateurs ont pour but de créer une perception de la valeur de l'enrichissement des aliments, de sorte que les

consommateurs accepteront le nouveau produit, choisiront des produits enrichis de préférence aux produits non enrichis, et si nécessaire paieront un prix un peu plus élevé. La création d'une demande des consommateurs pour les produits enrichis, en particulier chez ceux dont les revenus sont les plus faibles, peut se heurter à d'importants obstacles, surtout dans un contexte de forte concurrence (voir **Encadré 10.6**).

Les stratégies de marketing à destination des consommateurs peuvent se diviser en deux catégories, une stratégie «push» (qui va vers le consommateur), et une stratégie «pull» (qui attire le consommateur). La stratégie *push* préempte le choix entre un produit enrichi et un produit non enrichi par une réglementation stipulant un enrichissement universel, et en général obligatoire, de certains aliments. En théorie, bien que les prix puissent augmenter du fait de l'introduction de l'enrichissement obligatoire de certains aliments, il n'y aura pas de différence de prix entre des produits concurrents du fait de l'adjonction de micronutriments. En laissant peu de choix au consommateur et peu de concurrence au niveau des prix, on réduit le rôle actif du consommateur et les stratégies de communication doivent être axées sur l'acceptation du produit, sur l'information et sur l'éducation du consommateur.

Quand les produits enrichis sont en concurrence avec des produits non enrichis moins coûteux, il faut une stratégie axée sur la demande, ou stratégie *pull*. Dans ce scénario, il faut créer une perception de la valeur du produit enrichi pour compenser la différence de prix, et le produit enrichi doit être positivement différencié de la concurrence afin de développer une préférence active de la part du consommateur. Les stratégies de communication axées sur l'information et l'éducation du consommateur de façon générique ne suffisent pas toujours et il faut alors recourir à des techniques plus agressives de marketing commercial pour conférer une avance concurrentielle aux produits enrichis.

Un accord de collaboration entre représentants du gouvernement, de l'industrie et des ONG, selon le principe décrit plus haut (voir section 10.2.1) offre la possibilité d'atteindre les consommateurs grâce à un vaste éventail de canaux de communication relevant du secteur public comme du secteur privé. Il peut s'agir de la télévision et de la radio nationales, des centres de santé y compris périphériques, aussi bien que des points de vente locaux. Chacun de ces secteurs apporte ses compétences et sa propre expérience; les organismes du secteur public et de nombreuses ONG ont une longue expérience de la communication en matière de santé et de nutrition et aussi des activités d'éducation du public visant à accroître ses connaissances dans le domaine de la santé et à promouvoir des comportements favorables à la santé. Le secteur de l'agroalimentaire privé possède l'expérience du marketing auprès des consommateurs, qui permet de créer une demande pour un produit et de susciter une préférence d'achat chez le consommateur. L'ouverture de canaux

**ENCADRÉ 10.6****Produits enrichis et obstacles provenant des consommateurs**

Les obstacles qui peuvent être opposés par les consommateurs aux aliments et produits enrichis sont les suivants :

- Des recherches effectuées dans de nombreux pays montrent que le bénéfice nutritionnel, même s'il s'agit d'un aspect important, n'est pas une priorité d'achat. Le prix, la saveur, l'emballage, l'accessibilité et la commodité sont presque toujours les critères prioritaires.
- Le besoin de micronutriments est souvent méconnu du consommateur et il faut lui donner une meilleure visibilité. Ceci est une tâche difficile.
- Les effets bénéfiques de l'enrichissement des aliments sont peu visibles. Comme les aliments enrichis apportent un bénéfice préventif plutôt que curatif, le consommateur n'éprouve aucune satisfaction immédiate. De plus, des bénéfices comme une amélioration des résultats scolaires et une meilleure productivité au travail ne se manifestent que des années plus tard. La promotion de la prévention et des bénéfices futurs pose souvent des problèmes particulièrement ardues.
- Même si l'augmentation de prix associée à l'enrichissement des aliments est pratiquement invisible, les consommateurs à faible revenu sont particulièrement sensibles à toute différence de prix. Les consommateurs, et surtout les plus pauvres qui tendent à être les plus exposés au risque de malnutrition par carence en micronutriments, sont aussi les plus susceptibles d'acheter des produits moins chers ou de rechercher des alternatives.
- Les aliments de base sont souvent perçus comme des produits « purs » ou « naturels ». Une résistance de la part des consommateurs peut apparaître à la suite d'une perception erronée de l'adjonction de substances « étrangères » ou « d'additifs ». Ces perceptions vont d'une appréhension quant à une toxicité ou à des modifications des qualités organoleptiques de l'aliment, à des peurs quant au but véritable du programme d'enrichissement.
- Les aliments de base et les condiments font partie de l'identité culturelle et les consommateurs peuvent simplement manifester une résistance au changement.
- Dans certains cas, il existe une résistance de la part de consommateurs parfois plus aisés, qui estiment qu'ils n'ont pas besoin de micronutriments supplémentaires et qui ont l'impression d'être forcés à acheter et consommer des produits enrichis.

de communication et de coopération multisectoriels est déterminante pour tirer le meilleur parti des atouts propres à chaque secteur.

### 10.3 Pérenniser le programme

Même après le lancement et l'implantation des produits enrichis sur le marché, il reste fondamental de poursuivre la sensibilisation des consommateurs comme des professionnels pour assurer la pérennité des programmes d'enrichissement des aliments. Le maintien du soutien aux consommateurs permet d'assurer que lorsqu'un gouvernement change, les politiques en faveur de l'enrichissement des aliments sont maintenues. De même, la sensibilisation et l'information des consommateurs aidera à maintenir le soutien à l'industrie malgré des modifications des conditions du marché qui pourraient tenter certaines sociétés de se retirer du programme ou de ne pas se conformer à la réglementation, même si au début elles soutenaient l'enrichissement des aliments.

Une collaboration suivie entre les organisations et les agences impliquées dans la communication et dans l'assurance de la qualité est également vitale pour maintenir l'intérêt pour l'enrichissement des aliments. Par exemple, lors de l'attribution de symboles officiels par le secteur public – logo, sceau de qualité ou autres formes de caution officielle – la qualité du produit doit être régulièrement assurée. La valeur ajoutée du symbole officiel ne vaut que ce que valent les produits auxquels il est associé et en fin de compte c'est la crédibilité de l'organisme délivrant cette caution qui est en jeu. Dans les pays ne disposant pas d'un système totalement fonctionnel de contrôle des denrées alimentaires et de mise en application de la réglementation, les organisations de consommateurs peuvent constituer un moyen d'exercer une surveillance sur le marché. Dans ces conditions, donner aux organisations de consommateurs la possibilité de travailler avec le gouvernement et avec l'industrie – en recueillant des échantillons ou en publiant les résultats d'analyses de produits – peut être une stratégie importante pour permettre de réaliser l'assurance et l'évaluation de la qualité.

---

### Résumé

Les chances de succès d'un programme d'enrichissement des aliments sont grandement améliorées si ce programme est appuyé par une série d'activités qui, ensemble, aident à créer un environnement favorable. En pratique, cela signifie qu'il faut promouvoir le changement à tous les niveaux, de l'individu aux instances politiques en passant par la communauté et les entreprises industrielles.

Il existe divers moyens de faire passer des messages sur les effets bénéfiques de l'enrichissement des aliments, comme l'éducation nutritionnelle, le marketing social et les activités de sensibilisation. Les stratégies reposant sur l'éducation donnent les meilleurs résultats lorsque le bénéfice du changement est évident (le bénéfice perçu

est important) et le changement ne paraît pas coûteux aux individus ou aux groupes auxquels il est demandé (le coût perçu est peu élevé). Inversement, des approches reposant sur la réglementation peuvent être plus appropriées lorsque le bénéfice perçu est faible et le coût perçu élevé. Tous les programmes d'enrichissement tireront profit d'une forme ou d'une autre de marketing social, c'est-à-dire de l'application de techniques de marketing commercial à des objectifs relevant du secteur public. Le marketing social obtient un maximum d'efficacité lorsque les consommateurs sont impliqués dans tous les aspects du programme, du développement du produit à son positionnement, sa place, son prix et sa promotion, et qu'il s'appuie sur des recherches qualitatives et quantitatives qui définissent les principaux groupes de consommateurs, leurs habitudes et les obstacles au changement.

Les messages doivent être clairs et sans ambiguïté et être adaptés aux besoins en matière d'information et aux aptitudes cognitives des destinataires.

L'établissement de réseaux ou d'accords de collaboration peut être un bon moyen de créer et de maintenir des canaux de communication entre les principaux partenaires. Cela offre aussi la possibilité de négocier tous conflits d'intérêts qui pourraient survenir entre les secteurs public et privé.

---

## Législation nationale sur les denrées alimentaires

Les gouvernements ont un rôle fondamental à jouer pour que l'enrichissement des aliments (aussi appelé fortification alimentaire) soit efficace pour le ou les groupes de population les plus exposés au risque de malnutrition par carence en micronutriments, sans créer de danger pour la population générale. Les lois sur les denrées alimentaires et les mesures connexes, avec un système plus général de contrôle des aliments, sont les principaux outils dont disposent les gouvernements pour établir un niveau approprié de contrôle sur les pratiques d'enrichissement des aliments.

Le présent chapitre examine certains des aspects techniques et juridiques concernant l'élaboration d'une législation nationale sur l'enrichissement des aliments. La discussion porte principalement sur la réglementation de la composition des aliments enrichis et sur l'étiquetage et la publicité des produits alimentaires enrichis prêts à l'emploi. D'autres éléments de la législation, portant par exemple sur l'homologation des fabricants, les appuis ou les sanctions, dépassent le cadre des présentes Directives. Lorsqu'il prévoit d'inclure l'enrichissement des aliments dans la législation nationale sur les denrées alimentaires, le législateur doit tenir compte des règlements existants sur le commerce international et des accords généraux qui à l'heure actuelle régissent de plus en plus ce type de commerce. C'est pourquoi le présent chapitre commence par un bref exposé des systèmes internationaux d'établissement de normes alimentaires et des accords généraux en vigueur en matière de commerce international.

### 11.1 Le contexte international

Deux accords internationaux, tous deux administrés par l'Organisation mondiale du Commerce (OMC), sont applicables aux denrées alimentaires. Ce sont :

- l'Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires (Accord SPS) ;
- l'Accord sur les obstacles techniques au commerce (Accord OTC) (381).

Les mesures d'enrichissement des aliments, qu'elles soient obligatoires ou volontaires, seront plus probablement couvertes par le deuxième accord, l'Accord OTC. Cet accord reconnaît que :

[...] rien ne saurait empêcher un pays de prendre les mesures nécessaires [...] à la protection de la santé des personnes [...] aux niveaux qu'il considère appropriés, sous réserve que ces mesures ne soient pas appliquées de façon à constituer soit un moyen de discrimination arbitraire ou injustifiable entre des pays où les mêmes conditions existent, soit une restriction déguisée au commerce international, et qu'elles soient par ailleurs conformes aux dispositions du présent accord.

En d'autres termes, les pays peuvent adopter des dispositions qui limitent le commerce pour des raisons légitimes – la santé étant l'une d'entre elles – sous réserve que ces mesures soient en conformité avec les cinq principes directeurs énoncés dans l'Accord OTC. Ces cinq principes visent à assurer qu'il n'est pas créé d'obstacles non nécessaires au commerce international. Les éléments clés de l'Accord OTC concernant la couverture, les définitions, les objectifs légitimes et les principes directeurs sont expliqués dans l'**Annexe F**.

L'Accord OTC encourage l'utilisation de normes internationales, sauf lorsqu'elles seraient inefficaces ou inappropriées dans la situation du pays (voir [www.codexalimentarius.net](http://www.codexalimentarius.net) et l'**Annexe F**) (382).

## 11.2 Législation nationale sur les denrées alimentaires et enrichissement des aliments

La législation sur les denrées alimentaires, s'exerçant conjointement avec le système plus général de contrôle des denrées alimentaires, est le mécanisme que les gouvernements utilisent habituellement pour établir des dispositions techniques pour les aliments enrichis, dont les plus importantes portent sur la composition, l'étiquetage et les allégations. (Les allégations sont des déclarations faites par les fabricants pour informer les consommateurs au sujet de leurs produits.) La législation sur les denrées alimentaires peut également être utilisée pour imposer des contrôles plus étendus sur l'industrie agroalimentaire, et pour établir des systèmes de surveillance et d'information du public à l'appui de l'enrichissement des aliments.

La législation sur les denrées alimentaires a en règle générale plusieurs objectifs, dont le plus important est la protection de la santé publique. Parmi les autres objectifs fréquemment cités figurent :

- la production d'une information adéquate dans le but de permettre un choix informé;
- la prévention de la fraude et des activités destinées à induire le consommateur en erreur ou à le tromper;
- le commerce équitable.

Pour répondre à ces objectifs, les dispositions relatives à l'enrichissement des aliments dans le cadre de la législation sur les denrées alimentaires doivent non seulement assurer que tous les paramètres applicables à la fois aux composés utilisés pour enrichir les aliments (aussi appelés «fortifiants») et aux véhicules alimentaires (aussi appelés «aliments vecteurs») produisent des résultats sans danger et efficaces, de manière appropriée, sur la santé publique, mais aussi que l'étiquetage, les allégations et la publicité des aliments enrichis sont factuels, non trompeurs, et donnent une information suffisante pour permettre une consommation appropriée.

### 11.2.1 Formes de législation sur les denrées alimentaires: lois, règlements et mesures complémentaires

La législation sur les denrées alimentaires comprend des lois ou des décrets qui définissent le cadre légal et les principes généraux, accompagnés de règlements techniques qui définissent l'application de ces lois ou décrets. Les spécifications sur l'enrichissement des aliments peuvent être établies soit par une loi (portant sur les aliments ou sur la santé) soit par des règlements techniques sur les denrées alimentaires. Par exemple, aux Philippines, une loi est uniquement dédiée à l'enrichissement obligatoire des aliments (Philippines Act Promoting Salt Iodization Nationwide (6)). Cette loi définit la politique, l'applicabilité, le soutien à l'industrie, l'information du public et les sanctions, et est appuyée par des règles et règlements pour la mise en œuvre de l'iodation du sel et des mesures connexes; ces règles incluent une norme technique pour le sel iodé. D'autres pays utilisent des règlements techniques (aussi appelés normes ou autres termes similaires) pour fixer des normes légales spécifiques pour l'enrichissement des aliments, mais s'appuient sur la législation principale pour en assurer la mise en œuvre appropriée. Un des avantages de l'établissement de dispositions réglementaires pour l'enrichissement des aliments plutôt que de dispositions légales réside dans le fait que les amendements peuvent être adoptés plus facilement et plus rapidement, sous réserve, naturellement, que le pouvoir d'administrer la réglementation soit délégué des autorités gouvernementales à un organe subsidiaire ou statutaire approprié.

Quelle que soit la manière dont est établie la législation nationale sur les denrées alimentaires, tous les acteurs du système de production et de distribution de ces denrées (y compris les importateurs) doivent connaître les lois en vigueur et surtout s'y conformer. Pour cela, et pour assurer que la législation sur les denrées alimentaires remplit ses objectifs de santé publique, elle doit être:

- d'une mise en œuvre assurée (c'est-à-dire être exprimée de façon claire et sans ambiguïté pour les personnes engagées dans des activités concernées par la réglementation en question);

- appuyée par un système de diffusion de l'information et par un dispositif de mise en application disposant d'une structure et de ressources appropriées.

Dans certaines circonstances, des mesures complémentaires s'ajoutant à la législation ou à la réglementation peuvent être utilisées pour répondre aux objectifs réglementaires. Ces mesures peuvent prendre la forme d'une autorégulation par l'industrie ou d'un mécanisme de corégulation entre l'industrie et les pouvoirs publics dans lequel ceux-ci décident du niveau approprié de participation. Ces mesures sont respectivement administrées par l'industrie seule ou conjointement par l'industrie et les pouvoirs publics, et se prêtent bien à des questions relatives aux processus ou aux résultats intermédiaires. Un système complémentaire ne fonctionne bien que si des « facteurs de réussite » reconnus, tels que les suivants, sont présents :

- le niveau de risque pour la santé publique et pour la sécurité, ou le danger potentiel pour les consommateurs, est faible ;
- le produit est relativement homogène dans l'ensemble de sa catégorie et les consommateurs peuvent facilement l'identifier à l'industrie ;
- l'industrie est compétitive, mais aussi unie et représentée par une association active ;
- l'industrie et/ou son association sont réactives face aux plaintes des consommateurs ;
- les sociétés sont attentives à préserver et renforcer leur viabilité future, à leur réputation, aux futurs consommateurs et à la communauté au sens large.

### 11.2.2 Réglementation de l'enrichissement des aliments: généralités

Avant de décider de la présentation et des détails des dispositions relatives à l'enrichissement des aliments, il est vital que l'organisme de réglementation connaisse bien les facteurs qui déterminent les modalités de l'approvisionnement alimentaire du pays. Il faut par exemple connaître la balance entre les aliments enrichis produits dans le pays et les produits importés, la composition en micronutriments des produits importés, la capacité de l'industrie du pays à produire des aliments enrichis ou à en augmenter la production, et la cohésion globale du secteur industriel. Toutes ces notions sont particulièrement indispensables si des produits enrichis d'importation doivent contribuer de façon importante aux apports en micronutriments. Si les paramètres de composition figurant dans la législation nationale ne tiennent pas compte des produits enrichis importés (par exemple si le niveau minimal d'enrichissement en fer fixé par une nouvelle loi est plus élevé que la teneur en fer du produit

importé), il peut s'ensuivre une diminution involontaire des apports en micronutriments à moins que l'industrie nationale ne puisse rapidement combler ce déséquilibre.

L'organisme de réglementation doit aussi connaître le niveau actuel de connaissances nutritionnelles de la population et toutes initiatives prévues d'éducation nutritionnelle, de façon à pouvoir déterminer l'équilibre approprié entre l'information figurant sur l'étiquette et l'éducation des consommateurs, ainsi que le type et la quantité de l'information exigée ou autorisée dans l'étiquetage et la publicité. À cet égard, comme on l'a déjà vu, l'organisme de réglementation peut aussi devoir garder à l'esprit l'obligation de respecter les accords internationaux sur le commerce et les normes internationales (voir section 11.1).

Enfin, tout amendement apporté à une loi sur les denrées alimentaires qui oblige l'industrie à modifier ses pratiques de production et/ou l'étiquetage du produit doit prévoir une période de transition. Il faut inévitablement un certain temps pour que l'ensemble des producteurs et des importateurs du pays prennent connaissance des nouvelles exigences réglementaires et soient en mesure de modifier en conséquence leurs procédures de production et/ou d'étiquetage. Il peut aussi être approprié de pouvoir continuer à vendre, pendant une période déterminée, les aliments produits conformément à la version antérieure de la loi.

### 11.3 Enrichissement obligatoire des aliments

Si un produit alimentaire est sujet à un enrichissement obligatoire, le fabricant est légalement tenu de lui ajouter un ou plusieurs micronutriments. L'enrichissement obligatoire des aliments peut atteindre la population générale ou un groupe cible identifié, selon le mode de consommation de l'aliment en question. Par exemple, l'enrichissement d'un aliment de base, comme la farine de blé, augmenterait les apports de la plus grande partie de la population en un micronutriment ajouté à cet aliment, tandis que l'enrichissement, par exemple, du lait en poudre ou d'aliments complémentaires pour nourrissons augmenterait les apports en micronutriments d'un groupe spécifique uniquement. Les conditions du choix de l'enrichissement obligatoire des aliments sous forme d'une intervention à l'échelle de la population (enrichissement universel de certains aliments) ou d'un groupe spécifique (cible) ont été examinées dans le Chapitre 2 des présentes Directives.

L'enrichissement obligatoire des aliments est inscrit dans la législation sur les denrées alimentaires, habituellement sous la forme d'une réglementation qui spécifie un minimum légal et, s'il y a lieu, une teneur maximale légale pour chaque micronutriment dans l'aliment ou la catégorie d'aliments identifiés. Sous réserve qu'il n'y ait pas d'empêchements de nature technologique, un aliment ou une catégorie d'aliments peuvent devoir contenir plusieurs micronutriments ajoutés. Cette règle tend à s'appliquer aux aliments ciblés sur des groupes de

populations spécifiques ayant des besoins nutritionnels multiples et ceux dont le régime alimentaire risque d'être peu diversifié.

### 11.3.1 Composition

Dans sa forme la plus simple, une norme réglementaire régissant la composition d'un aliment enrichi pourrait être rédigée comme suit :

Le [*aliment désigné*] doit [*contenir*]:

i) pas moins de [x] mg/kg de [*nom du micronutriment*],

et, s'il y a lieu,

ii) pas plus de [y] mg/kg de [*nom du micronutriment*].

Chacun des termes clés (en italique) est examiné plus en détail ci-dessous, avec une mention particulière des répercussions sur la réglementation obligatoire et les approches possibles de celle-ci.

#### 11.3.1.1 L'aliment désigné nommément

Le nom de l'aliment ou de la catégorie d'aliments sélectionnés pour l'enrichissement doit être compris de façon générale et sans ambiguïté, ou explicitement défini ou décrit dans le texte du règlement. L'identité du ou des aliments sélectionnés doit correspondre à l'aliment ou aux aliments utilisés pour calculer le niveau d'enrichissement nécessaire pour atteindre les objectifs nutritionnels prédéfinis du programme (voir section 7.3). La correspondance la plus étroite possible avec l'identité des aliments utilisés pour les calculs permet de prévoir plus exactement l'impact du programme sur les apports alimentaires de micronutriments.

Il existe des zones potentielles d'ambiguïté ou de difficulté, dont il faut tenir compte :

- La définition d'un aliment ou d'une catégorie d'aliments peut être aussi large ou aussi restreinte que nécessaire. Par exemple, l'aliment peut être simplement désigné sous le nom de « farine », ce qui pourrait signifier toutes les farines dérivées de tous les types de céréales disponibles dans un pays. Autrement, une description plus restrictive pourrait être utilisée, par exemple « toutes les farines dérivées d'une ou plusieurs céréales [spécifiées] » ou « farine ayant [des caractéristiques de composition particulières] » (qui peuvent être définies par le taux d'extraction) ; ou « farine destinée à [un usage particulier] », par exemple la fabrication du pain.
- Si nécessaire, le règlement doit stipuler s'il s'applique aux aliments vendus seulement au détail, ou seulement en gros (pour utilisation comme ingrédients d'aliments transformés), ou les deux. Cependant, une description plus précise

de l'aliment ou de la catégorie d'aliments, par exemple « ingrédient destiné à [une utilisation particulière] », par exemple farine de boulangerie ou sel de table, déterminera automatiquement sur quel secteur du marché la plus grande partie du produit sera vendue.

- Si nécessaire, l'utilisation, dans certains aliments transformés, d'ingrédients obligatoirement enrichis vendus sur le marché de gros, peut être contrôlée plus précisément s'il est stipulé que ces ingrédients doivent toujours, ou ne doivent jamais, être utilisés dans certains aliments, selon le niveau d'apport alimentaire d'un micronutriment déterminé que l'enrichissement vise à atteindre.

#### 11.3.1.2 « Contient » ou terme similaire

Le terme « contient », ou un terme similaire, se rapporte à la quantité totale de micronutriment présente dans l'aliment. En d'autres termes, le niveau minimal légal et le niveau maximal légal s'appliquent à la quantité totale de micronutriment, c'est-à-dire la quantité naturellement présente plus la quantité ajoutée lors de l'enrichissement, et non uniquement la quantité ajoutée. Cette approche est valable pour les micronutriments dont les différentes formes chimiques ont une biodisponibilité similaire ; une réglementation plus complexe est nécessaire dans les cas où il existe des différences significatives de biodisponibilité entre les formes naturelles et les formes ajoutées du micronutriment en question.

Les fabricants de produits alimentaires peuvent adopter des stratégies légèrement différentes pour calculer la quantité de micronutriment qui doit être ajoutée pour dépasser la norme minimale, selon qu'une teneur maximale est également fixée, ou non, par le règlement. Dans les cas où seule une norme minimale est fixée, et si le coût du produit d'enrichissement n'est pas prohibitif, les fabricants peuvent ne pas tenir compte de la teneur naturelle de l'aliment en le micronutriment considéré, ce qui fait courir le risque de dépasser le minimum légal d'au moins la quantité naturellement présente. Cependant, si une teneur totale maximale est également prescrite, il faut tenir compte de la teneur naturelle pour assurer que la quantité totale de micronutriment ne dépasse pas la limite maximale autorisée. Dans les cas où la teneur naturelle est probablement négligeable, la teneur minimale légale (x) et la teneur maximale légale (y) donnent une valeur approchée de l'intervalle des ajouts autorisés.

#### 11.3.1.3 Teneur minimale et teneur maximale légales

Les procédures appliquées pour déterminer les teneurs totales minimale (x) et maximale (y) légales sont décrites dans le Chapitre 7 des présentes Directives. Sur le plan théorique, les teneurs minimales légales sont fixées sur la base de l'efficacité tandis que les teneurs maximales sont fixées sur la base de l'innocuité

ou d'autres critères de précaution. Le minimum légal et le maximum légal servent tous deux à protéger la santé humaine, et peuvent donc être utilisés pour justifier toutes restrictions au commerce en vertu des accords internationaux pertinents.

Parfois, les fabricants doivent ajouter des quantités supplémentaires de micronutriment (excédent de sécurité) pour tenir compte de toute perte ultérieure pendant la production, le stockage et la distribution, en assurant ainsi que le produit répondra au moins au minimum légal une fois parvenu à son point de distribution. Pour le calcul de l'excédent de sécurité, les fabricants doivent garder à l'esprit toute teneur maximale qui peut aussi s'appliquer à l'aliment au même point de distribution.

Les limites imposées par la réglementation (teneur minimale et teneur maximale) représentent les valeurs extrêmes de la teneur totale autorisée de l'aliment enrichi en micronutriment au point de la chaîne de distribution auquel la réglementation s'applique. En général il s'agit du point de vente au détail. Donc, en théorie, aucun échantillon d'un aliment, prélevé aux fins d'analyse dans un point de vente au détail, ne devrait avoir une teneur en micronutriment située en dehors de ces limites. Cependant, comme on l'a vu ailleurs dans les présentes Directives, dans certains pays les politiques de surveillance réglementaire ou de mise en application de la réglementation peuvent autoriser un écart faible ou une tolérance (qui seront définis) par rapport aux normes légales, en fonction des conditions locales (voir Chapitre 8).

#### 11.3.1.4 *Nom du micronutriment*

Le terme utilisé pour identifier le micronutriment ajouté peut avoir des conséquences importantes aussi bien pour le fabricant que pour les activités de surveillance. En général on utilise le nom générique du micronutriment, par exemple, « iode »; ce nom correspond généralement à ce qui est mesuré par les analyses de laboratoire à des fins de surveillance. Cependant, la plupart des méthodes d'analyse utilisées dans le système de contrôle des denrées alimentaires ne font pas la distinction entre les formes naturelles et les formes ajoutées du micronutriment considéré (à l'exception notable de l'acide folique).

De nombreux produits d'enrichissement en micronutriments vendus dans le commerce contiennent d'autres entités chimiques qui contribuent au poids moléculaire (PM) du composé. Par exemple, l'iode est disponible dans le commerce sous forme d'iodate de potassium ( $\text{KIO}_3$ ,  $\text{PM}=214$ ), dont l'iode constitue environ 60 %, ou d'iodure de potassium ( $\text{KI}$ ,  $\text{PM}=166$ ), dont l'iode constitue environ 76 %. Une norme réglementaire exprimée en « mg/kg de [nom du micronutriment] » se rapporte à la quantité de micronutriment (ici, l'iode) et non à la quantité de composé chimique (par exemple l'iodate de potassium). Cette forme d'expression assure donc que la même quantité du micronutriment

lui-même est ajoutée, quelle que soit la composition chimique du composé utilisé pour l'enrichissement. Par exemple, l'enrichissement du sel en iode à une concentration de 20 mg d'iode par kg de sel (en supposant une teneur naturelle négligeable) nécessite l'adjonction d'environ 34 mg d'iodate de potassium ou d'environ 26 mg d'iodure de potassium par kg de sel.

### 11.3.1.5 Composés autorisés

Du fait que les produits d'enrichissement en micronutriments disponibles dans le commerce ont une composition chimique et une biodisponibilité variables, tous ne conviennent pas pour tous les aliments (voir Partie III). L'organisme de réglementation se trouve donc face à plusieurs options : le règlement peut soit inclure une liste de tous les composés autorisés pour l'enrichissement (en laissant au fabricant le libre choix du composé à utiliser), soit autoriser l'emploi de certains composés dans des catégories déterminées d'aliments. Le règlement peut aller plus loin et stipuler des normes d'identité et de pureté pour les composés autorisés, ou se référer aux pharmacopées et autres publications techniques spécifiant de telles normes.

Pour certains éléments nutritifs, en particulier le fer, des différences significatives de biodisponibilité entre les divers composés chimiques contenant du fer peuvent nuire à l'efficacité de l'enrichissement des aliments et influencer sur les quantités de composé devant être ajoutées (voir section 5.1). Le **Tableau 11.1** montre de quelle manière on peut exprimer les teneurs minimale et maximale légales en fer total pour tenir compte des différences importantes de biodisponibilité du fer contenu dans le composé ajouté, grâce à l'utilisation de multiples d'une quantité de référence. Dans cet exemple, les quantités minimale

TABLEAU 11.1

#### Relation entre le niveau minimal et le niveau maximal légal pour le fer compte tenu de sa biodisponibilité relative à partir de divers composés d'enrichissement

Composé	Niveau minimal légal	Niveau maximal
Sulfate ferreux	Teneur naturelle en fer + quantité minimale de fer provenant du sulfate ferreux	Teneur naturelle en fer + quantité maximale de fer provenant du sulfate ferreux
Fer électrolytique <sup>a</sup>	Teneur naturelle en fer + 2 × quantité minimale de fer spécifiée pour le sulfate ferreux	Teneur naturelle en fer + 2 × quantité maximale de fer spécifiée pour le sulfate ferreux

<sup>a</sup> La biodisponibilité du fer à partir du fer électrolytique est d'environ la moitié de celle du fer provenant du sulfate ferreux, et il faut donc en ajouter deux fois plus pour délivrer une quantité de fer équivalente.

et maximale de sulfate ferreux sont données par la somme du fer naturellement présent dans l'aliment et de celui apporté par le sulfate ferreux ajouté. Les quantités réglementaires applicables au deuxième composé, le fer électrolytique, sont calculées en supposant la même teneur de base en fer naturellement présent dans l'aliment, mais en doublant la quantité de fer qui serait apportée par le sulfate ferreux, puisque la biodisponibilité du fer est plus grande dans ce dernier que dans le fer électrolytique.

### 11.3.2 Étiquetage et publicité

L'étiquetage des produits alimentaires a pour but d'identifier l'aliment contenu dans l'emballage et de fournir au consommateur des informations sur l'aliment et sur sa manipulation et son utilisation appropriées. Les informations de base comme le nom du produit, la mention «à consommer avant le [date]», ou «à consommer de préférence avant le [date]», les instructions de stockage et le mode d'emploi, et la liste des ingrédients, sont les mêmes que pour tous les aliments et ne sont pas examinées dans les présentes Directives. On pourra consulter à ce sujet la Norme générale Codex pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées (383).

Dans le cas des aliments enrichis, les gouvernements peuvent établir une réglementation sur l'étiquetage, les allégations et la publicité, exigeant des fabricants une information nutritionnelle destinée aux consommateurs. L'utilité et le contenu de cette information dépendront du niveau de connaissances nutritionnelles des consommateurs visés par le produit, du rôle de l'étiquetage pour atteindre les objectifs éducatifs du programme d'enrichissement des aliments, et du rapport coût-efficacité de cette approche par rapport à d'autres stratégies de communication.

#### 11.3.2.1 Déclaration concernant les micronutriments

Les décisions importantes sur l'aspect qualitatif et quantitatif de l'information nutritionnelle, comme la liste standardisée de la teneur en éléments nutritifs d'un aliment enrichi, à faire figurer sur l'étiquette (à part toute référence au micronutriment dans le nom de l'aliment, comme «iodé» ou «enrichi en fer» ou sa déclaration en tant qu'ingrédient du composé d'enrichissement), incombent à l'organisme de réglementation. Ces décisions doivent être prises dans le contexte des connaissances nutritionnelles de la population cible et des futures initiatives en matière d'éducation nutritionnelle. Par exemple, des symboles ou des dessins, plutôt qu'une information quantitative, peuvent être plus efficaces dans une population cible ayant un fort taux d'illettrisme et/ou relativement peu de connaissances sur la nutrition. Le coût que représente l'éducation nutritionnelle, d'abord supporté par le fabricant puis par le consommateur lui-même, est un autre facteur à prendre en compte. Plusieurs textes Codex donnent des

indications générales sur l'étiquetage et les allégations et peuvent être utiles aux organismes ou personnes chargés de la réglementation; ce sont par exemple les Directives Codex concernant l'étiquetage nutritionnel (342) et les Directives Codex pour l'emploi des allégations relatives à la nutrition et à la santé (343) (voir aussi l'**Annexe F**).

Les normes relatives à la déclaration quantitative des micronutriments peuvent poser un problème particulier aux fabricants et à l'organisme de réglementation du fait de la labilité de certains micronutriments au cours du temps. Dans de nombreux systèmes de réglementation, la véracité des informations figurant sur l'étiquette est applicable au produit à son point de vente; la surveillance externe de la conformité tend également à s'exercer à ce stade. Une mention spécifique de ces problèmes figure dans la section 3.5 des Directives Codex concernant l'étiquetage nutritionnel (342). L'organisme de réglementation peut aussi souhaiter examiner la nécessité de mentionner une date «à consommer de préférence avant le» pour les aliments enrichis ayant une longue durée de conservation, surtout si les équivalents non enrichis sont exemptés d'une telle mention (par exemple les formes solides de sucre ou le sel de qualité alimentaire). Le fait de stipuler une date «à consommer de préférence avant le» offre un moyen de relier la déclaration des éléments nutritifs à la durée de validité du produit.

#### *11.3.2.2 Allégations relatives à la nutrition et à la santé*

Les allégations sont des déclarations faites volontairement par les fabricants pour informer les consommateurs au sujet de leurs produits. Les allégations relatives à la santé et à la nutrition sont axées sur les propriétés nutritionnelles du produit ou sur ses avantages pour le consommateur sur le plan de la nutrition et, là où une telle mention est autorisée, de la santé. Les allégations relatives à la nutrition et à la santé concernent particulièrement les aliments soumis à un enrichissement volontaire, et seront donc examinées plus en détail dans la section consacrée à l'enrichissement volontaire des aliments (voir section 11.4.2). Deux questions sont toutefois spécifiques de l'enrichissement obligatoire des aliments. Bien que les fabricants soient peu incités à produire sur une base volontaire des allégations relatives à la nutrition et à la santé pour leurs produits lorsque tous les aliments d'une même catégorie sont enrichis, si l'aliment obligatoirement enrichi ne constitue qu'une partie de la catégorie auquel il appartient (par exemple le sel de table vis-à-vis de l'ensemble du sel), les fabricants peuvent choisir de faire figurer sur le produit les allégations légales relatives aux qualités nutritionnelles et aux effets bénéfiques potentiels de la consommation de leurs produits enrichis. Dans ces circonstances, les dispositions à prévoir par l'organisme de réglementation sont les mêmes que dans le cas de l'enrichissement volontaire des aliments (voir section 11.4.2).

Ensuite, certains ingrédients obligatoirement enrichis sont utilisés dans la fabrication d'aliments hautement transformés riches en énergie. Les aliments transformés se trouvent donc eux-mêmes enrichis en micronutriments, bien qu'indirectement et dans une moindre mesure. L'organisme de réglementation peut souhaiter examiner s'il convient d'émettre des restrictions sur la capacité des aliments transformés indirectement enrichis à porter des allégations nutritionnelles et de santé basées sur le caractère enrichi du produit ou faisant état de ce caractère.

### 11.3.3 Commerce

La prescription de normes d'enrichissement obligatoire des aliments dans la réglementation peut imposer des restrictions commerciales sur les produits importés, soit parce qu'ils ne sont pas enrichis, soit parce qu'ils l'ont été différemment. Ces restrictions peuvent entraîner des difficultés pour les partenaires commerciaux d'un pays. Néanmoins, il est clair d'après la jurisprudence de l'OMC que non seulement les pays ont le droit de déterminer le niveau de protection de la santé qu'ils jugent approprié – sous réserve que ces mesures ne créent pas de restriction non nécessaires au commerce – mais aussi que la protection de la santé humaine figure parmi plusieurs objectifs légitimes que les pays peuvent avancer pour justifier une restriction au commerce (voir section 11.1) (384).

Ces considérations mises à part, des normes d'enrichissement différentes selon les pays peuvent créer des problèmes pratiques au niveau du commerce international. Les pays d'une même région, qui ont les mêmes problèmes de nutrition en santé publique et les mêmes cultures alimentaires, peuvent avoir intérêt à trouver une position commune sur la politique et la réglementation de l'enrichissement des aliments qui pourraient être uniformément adoptées. Cette stratégie permettrait d'une part de promouvoir le commerce international et de réaliser des économies d'échelle, et d'autre part d'augmenter le poids de la région, si nécessaire, pour se procurer un produit enrichi d'importation conforme aux spécifications particulières des pays de la région. Les aliments obligatoirement enrichis entrant dans le commerce international peuvent être importés non seulement par des pays ayant une réglementation compatible en matière d'enrichissement des aliments mais aussi par des pays dont la réglementation sur l'enrichissement volontaire des aliments tient compte de la composition du produit importé, mais l'étiquetage du produit peut devoir être modifié de façon à être conforme aux prescriptions nationales. La nécessité de modifier l'étiquetage dépendra de la souplesse des normes d'étiquetage en vigueur dans le pays importateur.

## 11.4 Enrichissement volontaire des aliments

Il y a enrichissement volontaire des aliments lorsqu'un fabricant choisit librement d'enrichir des aliments en micronutriments. Il se pratique largement dans la plupart des pays industrialisés et de plus en plus dans les pays en développement. La mesure dans laquelle la décision d'un fabricant d'enrichir les aliments est volontaire et indépendante varie cependant selon le micronutriment considéré et l'environnement sociopolitique et législatif. Dans certains cas, l'impulsion est donnée par le gouvernement – sous la forme d'incitations, d'accords de collaboration ou d'une perspective de coopération avec des autorisations spécifiques pour l'enrichissement volontaire des aliments – souvent en tant qu'alternative moins contraignante à l'enrichissement obligatoire. Dans plusieurs pays industrialisés, les règles régissant l'enrichissement de certaines denrées de base, comme le sel et la margarine, constituent des exemples de cette catégorie particulière d'enrichissement volontaire.

Dans la plupart des cas, l'enrichissement volontaire des aliments est motivé par le désir de l'industrie et du consommateur d'augmenter les apports en micronutriments dans le but d'obtenir d'éventuels bénéfices pour la santé. Il n'est peut-être pas étonnant que des considérations commerciales jouent souvent un rôle décisif dans le développement de produits alimentaires volontairement enrichis. Ces produits font l'objet d'une promotion, par l'étiquetage et la publicité, basée sur leurs caractéristiques nutritionnelles et en rapport avec la santé.

La prolifération des produits enrichis observée ces dernières années pourrait avoir des répercussions importantes sur les futurs apports en micronutriments et habitudes alimentaires. La plus importante de ces répercussions serait que la consommation accrue de produits enrichis entraîne des apports en certains micronutriments susceptibles de constituer un risque potentiel pour la santé publique. Par conséquent, il est conseillé aux pouvoirs publics d'exercer un degré de contrôle approprié sur l'enrichissement volontaire, sous la forme d'une réglementation sur les denrées alimentaires ou par le biais d'accords de coopération (par exemple l'adoption d'un code de pratique). La réglementation de l'enrichissement volontaire des aliments doit être cohérente avec les objectifs réglementaires généraux, tout en tenant compte des Principes généraux Codex régissant l'adjonction d'éléments nutritifs aux aliments (385) (voir **Annexe F**).

Comme pour l'enrichissement obligatoire des aliments, plusieurs points importants doivent être pris en compte lors de l'élaboration de la réglementation sur l'enrichissement volontaire, notamment en ce qui concerne la composition, l'étiquetage, la publicité et le commerce des produits enrichis. Ces questions seront vues plus en détail dans les sections qui suivent, mais il s'agit, en résumé, de :

- l'éventail des denrées alimentaires adaptées à l'enrichissement;
- l'éventail et la concentration des micronutriments adaptés à diverses catégories d'aliments;
- le mode d'expression de la réglementation (c'est-à-dire s'il existe ou non un besoin de limites absolues ou si des mécanismes plus souples d'établissement des paramètres de composition de l'aliment seraient plus adaptés à la pratique);
- l'identité et les spécifications de pureté des composés utilisables pour l'enrichissement;
- les contrôles exercés sur les allégations relatives à la nutrition et à la santé ainsi que sur la publicité, et le niveau de détail approprié sur l'étiquette d'information nutritionnelle.

### 11.4.1 Composition

#### 11.4.1.1 *Éventail de denrées alimentaires*

La question de savoir jusqu'où l'organisme de réglementation doit chercher à réduire les risques pour la santé publique du fait de la malnutrition par carence en micronutriments est au centre d'un vaste débat, mais il n'existe aucun consensus international, en particulier quant à l'éventail de denrées alimentaires pouvant faire l'objet d'un enrichissement volontaire en micronutriments. Jusqu'à présent, le débat a été axé sur la question de savoir si le choix des aliments ou des catégories d'aliments en vue de l'enrichissement volontaire doit être laissé aux gouvernements ou laissé entièrement entre les mains des fabricants, auquel cas les contraintes technologiques et/ou commerciales – par exemple l'éventualité d'un effet indésirable du micronutriment sur les caractéristiques du produit, ou un coût dissuasif voire prohibitif – détermineront dans une large mesure quels seront les produits enrichis et ceux qui ne le seront pas.

On peut estimer que, sans un minimum de contraintes réglementaires, la multiplication et la promotion d'aliments enrichis pourraient modifier les choix et les comportements alimentaires d'une façon sans rapport avec la préservation de la santé et du bien-être. Dans un tel scénario, on pourrait prévoir que la promotion commerciale d'aliments volontairement enrichis augmenterait leur attractivité pour le consommateur qui s'attendrait à ce que la consommation de ces aliments entraîne un bénéfice pour sa santé. De plus, si les consommateurs répondent régulièrement à de telles activités promotionnelles, il pourrait s'ensuivre une distorsion des choix alimentaires, les aliments enrichis étant préférés à des aliments naturellement nutritifs. Cela pourrait aussi altérer la perception et la connaissance de la contribution nutritionnelle de divers aliments à un régime favorable à la santé, et donc saper les efforts éducatifs axés sur la valeur nutritionnelle de divers aliments et sur l'importance d'une alimentation

variée pour assurer des apports adéquats en micronutriments essentiels. Globalement, ces influences pourraient avoir un effet défavorable sur la quantité, la qualité et les proportions des apports de certains macronutriments et ainsi comporter un risque à long terme pour la santé de la population.

Plus préoccupante est la possibilité que certains aliments enrichis faisant l'objet d'une promotion intense contiennent des quantités relativement élevées d'éléments nutritifs associés à des effets négatifs sur la santé, en particulier les graisses totales, les acides gras saturés et trans, le sodium ou le sel, les sucres et l'alcool. Les aliments les plus incriminés sont ceux qui font souvent l'objet de mises en garde contre une consommation excessive de la part des autorités sanitaires, comme les confiseries, les boissons sucrées gazeuses et autres boissons sucrées, les desserts, les en-cas (*snacks*) riches en matières grasses et en sel, et les boissons alcoolisées.

Actuellement, les questions soulevées par la multiplication des aliments enrichis sont liées aux prévisions quant à l'évolution future du marché. Celles-ci s'appuient sur le fait observé que les fabricants utilisent souvent l'enrichissement des aliments comme argument pour la promotion de leurs produits. Les partisans d'une approche libérale de la réglementation de l'enrichissement volontaire des aliments citent d'abord l'absence de preuves, dans les pays industrialisés qui disposent d'un système d'éducation nutritionnelle bien développé, d'une telle évolution, et ensuite l'expérience que l'on a déjà d'une approche libérale de l'adjonction de micronutriments aux denrées alimentaires. D'après les données des fabricants, les aliments enrichis sur une base volontaire représentent actuellement 1–6 % de la totalité de l'offre alimentaire dans ces pays, pourcentage resté stable ces dernières années. Il y a aussi peu de preuves concrètes d'un quelconque effet négatif des aliments enrichis sur le bilan global de l'apport en micronutriments dans la population. Ces observations tendent à indiquer que les facteurs clés à examiner lors des décisions concernant l'extension des autorisations d'enrichissement volontaire des aliments sont la force et la durabilité des programmes d'éducation nutritionnelle, le niveau de connaissances nutritionnelles des consommateurs et le risque de provoquer une confusion chez les consommateurs.

Le profil nutritionnel des aliments susceptibles d'être enrichis, en particulier leur teneur en graisses totales, en acides gras saturés et trans, en sucre(s), en sodium ou en sel, constitue à l'évidence un critère possible de choix des aliments pouvant convenir pour un enrichissement volontaire en micronutriments. Cependant, une approche souple qui tiendrait également compte des avantages nutritionnels de l'aliment examiné éviterait d'exclure par erreur d'un éventuel enrichissement des aliments intéressants sur le plan nutritionnel. Lors de l'examen de la valeur nutritive d'aliments susceptibles d'être enrichis, on se référera au rapport de la Consultation FAO/OMS d'experts sur le régime alimentaire, la nutrition et la prévention des maladies chroniques (386). Il faut

cependant savoir que la décision définitive quant aux aliments pouvant être enrichis dépendra en grande partie de la typologie alimentaire et de l'état nutritionnel de la population, et différera donc d'un pays à l'autre. Contrairement aux critères régissant l'enrichissement obligatoire des aliments (voir section 11.3.1.1), l'éventail des aliments susceptibles d'être enrichis sur une base volontaire peut être envisagé selon le principe d'une liste positive (tout ce qui n'est pas autorisé est interdit) ou d'une liste négative (tout ce qui n'est pas interdit est autorisé). Si les risques pour la santé découlant d'un enrichissement réalisé dans de mauvaises conditions de sécurité sont élevés, il sera probablement préférable d'établir une liste positive d'aliments plutôt qu'une liste négative.

#### *11.4.1.2 Les micronutriments et leurs diverses formes chimiques*

On considère en général qu'un examen de l'équilibre entre l'intérêt et le risque pour la santé publique associé à chaque micronutriment constitue une base adéquate pour l'établissement d'une liste de micronutriments dont l'adjonction aux aliments sur une base volontaire serait appropriée. Globalement, les micronutriments qui présentent le plus grand intérêt sur le plan de la santé publique sont le fer, la vitamine A et l'iode. Un certain nombre d'autres micronutriments présentent un intérêt général pour la santé publique ou un intérêt potentiel pour de petits groupes de population (voir Chapitre 4). Il peut aussi y avoir certains micronutriments dont l'adjonction aux aliments peut n'apporter aucun bénéfice pour la santé publique car ce micronutriment s'ajouterait en excès à la quantité naturellement présente dans l'aliment, et dans ce cas l'enrichissement ne servirait qu'à promouvoir l'image du produit. On pourrait arguer du fait qu'un micronutriment de plus ou de moins ne changerait pas de manière significative la perception du produit par le consommateur, et que par conséquent ces micronutriments devraient être approuvés, sous réserve qu'ils ne posent pas de problème d'innocuité.

Dans l'idéal, les risques pour la santé publique que comportent chacun des micronutriments considérés devraient être évalués en termes de grandeur de la différence entre une mesure donnée de la quantité adéquate d'élément nutritif et une limite supérieure d'apport sans danger. Ces dernières années, plusieurs organismes scientifiques ont proposé divers systèmes de classification du risque pour les micronutriments, avec beaucoup de points communs (93). Par exemple, la thiamine est couramment créditée d'un faible risque et le sélénium d'un risque élevé. Le classement des micronutriments dans une catégorie de risque modéré à élevé n'empêche pas leur approbation par l'organisme de réglementation, surtout s'ils peuvent apporter un bénéfice notable; cependant, un tel classement indique qu'il est nécessaire que leur adjonction aux aliments soit soigneusement réglementée. Il peut aussi être nécessaire de prévoir des dispositions pour un petit nombre de constituants, comme le vanadium, dont le statut d'élément

nutritif n'est pas encore certain. À cet égard, on notera que la définition de l'enrichissement donnée dans les Principes généraux Codex régissant l'adjonction d'éléments nutritifs aux aliments (385) porte spécifiquement sur l'adjonction d'éléments nutritifs essentiels. Mais dans tous les cas, la priorité doit être d'assurer que le régime alimentaire possède un bilan nutritionnel équilibré.

Une fois décidé l'éventail des micronutriments approuvés, l'organisme de réglementation devra de préférence les inscrire dans la réglementation sous la forme d'une liste restrictive. Les détails ultérieurs sur les autorisations ou les interdictions d'associations spécifiques aliment-micronutriment pourront ensuite être élaborés à partir de cette liste. Une liste restrictive secondaire indiquant les composés de chaque micronutriment utilisés pour l'enrichissement (c'est-à-dire les préparations vitaminiques et sels minéraux utilisés comme sources de vitamines et de minéraux) serait également nécessaire. L'organisme de réglementation devra garder à l'esprit que l'éventail des aliments pouvant être enrichis est large, de même que l'éventail des méthodes de production des denrées alimentaires. Par conséquent, la liste des composés chimiques approuvés devra être aussi large que le permettent les critères de base pour la sélection (biodisponibilité, innocuité). Des critères de pureté devront également être précisés pour ces composés. Ils pourront être élaborés au niveau national mais ce travail est ardu et coûteux en ressources. Des critères de pureté ont été établis au niveau international pour la plupart des substances et on pourra donc plutôt se référer à des textes comme le *Food Chemicals Codex* (387) et la *British pharmacopoeia* (388).

#### 11.4.1.3 Teneur minimale et teneur maximale légales

Deux questions doivent être envisagées ici : la fixation des teneurs minimale et maximale, et la quantité d'aliment à utiliser comme référence pour ces teneurs (mg par kg ou par portion).

Les teneurs minimales doivent être fixées de façon telle que l'enrichissement résulte en un produit qui contient une quantité significative du micronutriment en question, c'est-à-dire une quantité dont on peut s'attendre à ce qu'elle apporte un bénéfice lorsque ce produit est consommé en quantités normalement prévues dans le cadre d'une alimentation adéquate et variée. Une autre approche, plus souple pour les fabricants (et aussi pour les importateurs) consiste à établir des critères minimaux de déclaration. Lors du choix de l'approche la plus appropriée, l'organisme de réglementation devra tenir compte des bénéfices probables pour la santé du fait de l'enrichissement volontaire.

La fixation des teneurs maximales est plus complexe en raison de la nécessité d'éliminer simultanément tout risque pour la santé découlant d'un apport excessif en certains éléments nutritifs et de préserver l'équilibre de la composition nutritionnelle de l'alimentation. Le choix des teneurs maximales appropriées

pour les micronutriments dans les aliments susceptibles d'être enrichis sur une base volontaire doit être basé sur des estimations des apports alimentaires qui tiennent compte de toutes les sources alimentaires du micronutriment en question, y compris les aliments non enrichis et les suppléments. Toutefois, cela ne signifie pas nécessairement que des teneurs maximales doivent être fixées pour tous les micronutriments en fonction de leur profil de risque, car non seulement cette tâche serait difficile à réaliser pour l'éventail complet des micronutriments, mais le risque d'apport excessif varie avec le micronutriment et avec le niveau de carence (et sera donc différent pour différentes populations). Cela ne signifie pas non plus que des quantités maximales doivent être fixées au niveau le plus élevé qui soit sans danger dans chaque catégorie d'aliments enrichis. Il faudra prévoir une marge pour tenir compte de l'applicabilité des limites supérieures (en particulier pour les groupes à risque), des hypothèses utilisées dans l'évaluation des apports alimentaires (par exemple, que la prise de suppléments ne prenne pas plus d'ampleur), et de la valeur des apports futurs en micronutriments du fait des aliments enrichis.

Une approche pour l'établissement des limites maximales d'enrichissement basée sur le risque est de plus en plus couramment adoptée, notamment avec la fixation de valeurs de référence pour les apports maximaux sans danger, tandis que dans les autres cas l'approche adoptée part du principe que les apports nutritionnels officiellement recommandés, c'est-à-dire une mesure en population de l'adéquation des apports alimentaires, appelée de diverses façons selon les pays et abrégées en DRI, RDI, RNI, DRV ou autres sont de meilleurs critères d'orientation. Cette dernière approche repose sur la notion d'absence de nécessité d'apports plus élevés et d'une meilleure compatibilité avec les quantités de micronutriments naturellement présentes dans les aliments.

Il ressort de ce qui précède qu'il ne serait pas judicieux d'autoriser l'ajout de micronutriments qui possèdent une faible marge de sécurité en quantités importantes dans tous les aliments ou dans une gamme étendue d'aliments. Donc l'éventail des aliments auxquels ils peuvent être ajoutés devra être restreint ou classé par ordre de priorité d'une façon ou d'une autre; on peut pour cela se baser sur leur nature et sur leur importance dans le régime alimentaire de la population générale ou de certains groupes de population. Les organismes de réglementation qui administrent des systèmes dans lesquels les aliments sont inscrits sur une liste restrictive et peuvent être approuvés au cas par cas suite à une demande devront examiner, à l'avance si possible, quelles sont les sources alimentaires les plus appropriées pour les micronutriments en question.

Les teneurs maximales peuvent être spécifiées dans la réglementation soit pour tous les micronutriments ajoutés, soit uniquement pour ceux qui sont associés à un risque connu, en fonction du niveau de risque. Comme dans le cas des teneurs minimales, la notion de teneur maximale déclarée peut être avantageuse. L'utilisation d'une valeur maximale déclarée permet en effet à

l'organisme de réglementation d'imposer des restrictions à la teneur maximale en micronutriment en fonction du niveau de risque; de plus, en l'absence d'un système prévoyant des tolérances, ces limites laissent aux fabricants (et surtout aux importateurs) davantage de latitude pour décider de la composition en micronutriments des denrées alimentaires légalement proposées à la vente. Cependant, pour les fabricants du pays, les réalités commerciales imposent aussi leurs contraintes car le fabricant ne tire aucun avantage sur le marché de l'adjonction à un aliment de quantités beaucoup plus importantes de micronutriment que la quantité qui peut être déclarée.

Comme on l'a vu ci-dessus, la base quantitative sur laquelle s'appuie la fixation de limites minimales et maximales pour un micronutriment est très importante. Il existe trois possibilités, qui devraient s'appliquer uniformément à tous les aliments pouvant être enrichis :

- concentration maximale par unité de poids ou de volume (par exemple par 100 g ou 100 ml) ;
- densité maximale de micronutriment par unité d'énergie (par 100 kcal ou 100 kJ) ;
- quantité maximale par portion désignée ou par quantité de référence (par exemple g ou ml par portion).

L'utilisation de critères basés sur le poids ou l'énergie nécessite de faire des hypothèses sur les quantités respectives de solides et de liquides, ou de l'énergie, ingérées par un consommateur moyen sur une journée. Comme ces quantités seront probablement à peu près les mêmes chez les populations de différents pays, il est possible de parvenir à un accord au niveau régional ou international, sous réserve que l'approche de base soit acceptable. En revanche, les critères basés sur le poids comme ceux basés sur l'énergie entraîneraient à tort un avantage ou une pénalisation de certains produits (par exemple les aliments riches en énergie, pauvres en énergie ou consommés en petites quantités) de sorte que des exceptions seraient nécessaires. Les critères basés sur des quantités par portion seraient plus appropriés du point de vue des consommateurs, surtout si les quantités déclarées sur l'étiquette reposent sur la même base. Cependant, cette approche nécessite un accord sur la taille d'une portion, qui varie d'un pays à l'autre selon les habitudes alimentaires. Un accord sur la taille des portions serait ainsi plus difficile à obtenir au niveau international et l'établissement de teneurs exprimées en quantité par portion risquerait davantage de créer des problèmes sur le plan du commerce international.

#### 11.4.2 Étiquetage et publicité

Comme on l'a déjà vu, des allégations concernant les propriétés nutritionnelles des aliments enrichis, ou les bénéfiques pour le consommateur sur le plan de la

nutrition et, là où cette mention est autorisée, sur la santé, sont fréquemment avancées par les fabricants comme moyen de promotion de leurs produits; cela s'applique particulièrement aux produits alimentaires enrichis sur une base volontaire. Comme exemples d'allégations relatives aux propriétés nutritionnelles on peut citer celles qui présentent l'aliment comme « contenant » ou « source » ou « source importante » d'un élément nutritif particulier et celles qui comparent la teneur en éléments nutritifs d'un aliment avec celle d'un ou de plusieurs autres aliments. Les allégations relatives à la santé comprennent les allégations nutritionnelles fonctionnelles et les allégations relatives à la réduction du risque de maladie, qui portent sur la relation entre un élément nutritif (ou un constituant particulier d'un aliment) et le fonctionnement physiologique normal de l'organisme ou sur la réduction du risque d'une maladie, y compris les maladies dues à des carences nutritionnelles.

#### *11.4.2.1 Allégations relatives à la nutrition et à la santé*

Une réglementation appropriée des allégations assure que l'information que les fabricants fournissent aux consommateurs sur leurs produits est véridique et non trompeuse.

Les Directives Codex pour l'emploi des allégations relatives à la nutrition et à la santé (343) fournissent aux gouvernements des lignes directrices sur les conditions de l'utilisation des allégations relatives à la nutrition et à la santé et posent le principe général selon lequel ces allégations devraient être compatibles avec la politique nationale en matière de nutrition et corroborer cette politique. Au moment de la rédaction des présentes Directives, les conditions de l'utilisation des allégations relatives à la santé étaient encore en discussion. La réglementation des allégations portant sur la réduction du risque de maladie est une tâche difficile et devrait être menée avec la plus grande prudence. L'organisme de réglementation devra garder à l'esprit que tout ce qui ne serait pas au moins une évaluation au cas par cas et une évaluation détaillée des demandes dûment motivées du fabricant sur l'emploi d'allégations relatives à la réduction du risque de maladie devrait être soigneusement examiné.

Les directives Codex pour l'emploi des allégations relatives à la nutrition et à la santé (343) recommandent que ces allégations soient étayées par des données scientifiques généralement acceptables, bien que le sens de « données scientifiques généralement acceptables » puisse donner lieu à des interprétations différentes. Une liste des allégations relatives à la santé considérées comme bien établies et généralement acceptables serait utile à la fois pour le fabricant et pour les autorités chargées du contrôle des denrées alimentaires. Dans l'idéal, une procédure qui permettrait d'effectuer des mises à jour selon un calendrier approuvé devrait accompagner une telle liste.

Les allégations relatives à la nutrition et à la santé pourraient également être contrôlées en fixant des critères de qualification et de disqualification basés sur

d'autres propriétés de l'aliment. Les avis actuels sur cette question ont beaucoup de points communs avec ceux déjà décrits sur l'éventail des aliments pouvant se prêter à un enrichissement volontaire. Si l'on peut raisonnablement s'attendre à ce que tous les aliments susceptibles d'être enrichis sur une base volontaire puissent également porter des allégations relatives à la nutrition et à la santé, cette approche pourrait introduire des discordances entre les critères qui s'appliquent aux aliments enrichis et ceux qui s'appliquent aux aliments non enrichis, en particulier si des aliments qui ne sont pas autorisés pour un enrichissement direct sont fabriqués à partir d'ingrédients enrichis. Il est donc utile d'examiner si les critères de qualification pour les allégations portées par les aliments enrichis doivent être différents de ceux qui s'appliqueraient aux aliments non enrichis (pour lesquels les allégations s'appuient sur la teneur naturelle en micronutriments), et si oui, sur quelle base.

#### *11.4.2.2 Déclarations concernant les micronutriments*

Du fait de la perception positive de l'enrichissement des aliments par le consommateur, les fabricants souhaitent habituellement promouvoir cet aspect de leurs produits en présentant des allégations relatives à la teneur en éléments nutritifs et/ou autres aspects du produit. Cette démarche aboutit en général à l'étiquetage nutritionnel du produit. Même en l'absence d'allégation, les fabricants peuvent choisir de déclarer les teneurs en micronutriments sur l'étiquetage nutritionnel.

La fourniture d'une information (en général quantitative) sur les teneurs en éléments nutritifs est normalement requise par les règles d'étiquetage nutritionnel ; cette information, couplée à une mention du ou des micronutriments avec lesquels le produit est enrichi, serait une exigence minimale. Pour les consommateurs qui lisent et comprennent l'étiquetage nutritionnel, la déclaration de la teneur en micronutriment ajouté sur le tableau d'information nutritionnelle pourrait améliorer l'image du produit. Il conviendra donc de savoir si une information nutritionnelle plus complète devrait être fournie pour les aliments enrichis afin de donner une information plus équilibrée.

Les directives Codex concernant l'étiquetage nutritionnel (342) fournissent aux gouvernements des lignes directrices sur l'étiquetage nutritionnel.

#### *11.4.2.3 Autres questions*

L'étiquetage et la publicité des aliments enrichis ne doivent pas leur attribuer des mérites nutritionnels exagérés. Ils doivent aussi éviter de donner l'impression qu'un régime alimentaire normal, équilibré et varié, ne fournit pas des quantités suffisantes d'éléments nutritifs ; la réglementation doit toutefois prévoir des exceptions scientifiquement fondées. On peut aussi envisager l'option qui consiste à ajouter des conseils sur la nécessité d'un régime équilibré.

### 11.4.3 Commerce

La réglementation sur l'enrichissement volontaire des aliments, bien que moins restrictive que celle qui s'applique à l'enrichissement obligatoire, peut néanmoins limiter le commerce des aliments enrichis entre les pays, notamment dans les cas où la teneur des aliments enrichis en micronutriments n'est pas conforme à la réglementation du pays importateur, ou lorsque l'enrichissement d'une catégorie d'aliments n'est pas autorisée ou est interdite dans le pays importateur. Des réglementations différentes en matière d'étiquetage, y compris celles qui concernent l'étiquetage nutritionnel et les allégations, peuvent obliger à adapter l'étiquetage des produits aux exigences locales. S'il existe une langue commune, il serait préférable, pour des raisons de coût et d'efficacité, d'harmoniser la réglementation au niveau régional. Cela aurait l'avantage supplémentaire de limiter les obstacles au commerce.

## Références bibliographiques

1. *Iron deficiency anaemia: assessment, prevention, and control. A guide for programme managers.* Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2001 (WHO/NHD/01.3).
2. de Benoist B et al., eds. *Iodine status worldwide. WHO Global Database on Iodine Deficiency.* Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2004.
3. *Global Prevalence of Vitamin A Deficiency. Micronutrient Deficiency Information System working paper No. 2.* Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1995 (WHO/NUT/95.3).
4. *Rapport sur la santé dans le monde 2002 : réduire les risques et promouvoir une vie saine.* Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2002 (WHO/WHR/02.1).
5. *Indicators for assessing vitamin A deficiency and their application in monitoring and evaluating intervention programmes.* Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1996 (WHO/NUT/96.10).
6. *Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination. A guide for programme managers.* 2nd ed. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2001.
7. Allen LH. *Ending hidden hunger: the history of micronutrient deficiency control.* Washington, DC, The World Bank, 2002 (Background Paper for the World Bank/UNICEF Nutrition Assessment).
8. Hetzel BS, Pandav CS. *S.O.S. for a Billion. The Conquest of Iodine Deficiency Disorders.* Oxford, Oxford University Press, 1994.
9. Hetzel BS. Iodine deficiency disorders and their eradication. *Lancet*, 1983, 2:1126–1129.
10. Cobra C et al. Infant survival is improved by oral iodine supplementation. *Journal of Nutrition*, 1997, 127:574–578.
11. Thilly CH et al. Impaired fetal and postnatal development and high perinatal death rate in a severe iodine deficient area. In: Stockigt JR et al., eds. *Thyroid Research VIII.* Canberra, Australian Academy of Science, 1980: 20–23.
12. Beaton GH et al. *Effectiveness of vitamin A supplementation in the control of young child morbidity and mortality in developing countries.* Geneva, Administrative Committee on Coordination – Sub-Committee on Nutrition, 1992 (ACC/SCN Nutrition policy paper No. 13).
13. Sommer A et al. Impact of vitamin A supplementation on childhood mortality. A randomized controlled community trial. *Lancet*, 1986, 1:1169–1173.
14. Haas JD, Brownlie T. Iron deficiency and reduced work capacity: a critical review of the research to determine a causal relationship. *Journal of Nutrition*, 2001, 131 (2S-2):676S–688S.
15. Pollitt E. The developmental and probabilistic nature of the functional consequences of iron-deficiency anemia in children. *Journal of Nutrition*, 2001, 131: 669S–675S.

16. Stoltzfus RJ. Iron-deficiency anemia: reexamining the nature and magnitude of the public health problem. Summary: implications for research and programs. *Journal of Nutrition*, 2001, 131:697S–701S.
17. Brown KH et al. Effect of supplemental zinc on the growth and serum zinc concentrations of prepubertal children: a meta-analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 75:1062–1071.
18. Bhutta ZA et al. Prevention of diarrhea and pneumonia by zinc supplementation in children in developing countries: pooled analysis of randomized controlled trials. Zinc Investigators' Collaborative Group. *Journal of Pediatrics*, 1999, 135:689–697.
19. Black RE. Therapeutic and preventive effects of zinc on serious childhood infectious diseases in developing countries. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1998, 68 (2 Suppl):476S–479S.
20. Résolution WHA 43.2. Lutte contre les troubles dus à une carence en iode. In: *Quarante-troisième assemblée mondiale de la Santé*. Genève, 7–17 mai 1990. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1990.
21. Demment MW, Allen LH, eds. Animal Source Foods to Improve Micronutrient Nutrition and Human Function in Developing Countries. Proceedings of the conference held in Washington, DC, 2002 June 24–26. *Journal of Nutrition*, 2003, 133 (11 Suppl 2):3875S–4061S.
22. de Pee S, Bloem MW, Kiess L. Evaluating food-based programmes for their reduction of vitamin A deficiency and its consequences. *Food and Nutrition Bulletin*, 2000, 21:232–238.
23. Gibson RS et al. Dietary strategies to combat micronutrient deficiencies of iron, zinc, and vitamin A in developing countries: Development, implementation, monitoring, and evaluation. *Food and Nutrition Bulletin*, 2000, 21:219–231.
24. Ruel MT. *Can food-based strategies help reduce vitamin A and iron deficiencies? A review of recent evidence*. Washington, DC, International Food Policy Research Institute, 2001.
25. Burgi H, Supersaxo Z, Selz B. Iodine deficiency diseases in Switzerland one hundred years after Theodor Kocher's survey: a historical review with some new goitre prevalence data. *Acta Endocrinologica*, 1990, 123:577–590.
26. Marine D, Kimball OP. Prevention of simple goiter in man. *Archives of Internal Medicine*, 1920, 25:661–672.
27. Darnton-Hill I, Nalubola R. Fortification strategies to meet micronutrient needs: successes and failures. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2002, 61:231–241.
28. Thuy PV et al. Regular consumption of NaFeEDTA-fortified fish sauce improves iron status and reduces the prevalence of anemia in anemic Vietnamese women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 78:284–290.
29. Mannar V, Boy Gallego E. Iron fortification: country level experiences and lessons learned. *Journal of Nutrition*, 2002, 132 (4 Suppl):856S–858S.
30. Ballot DE et al. Fortification of curry powder with NaFe(III)EDTA in an iron-deficient population: report of a controlled iron-fortification trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1989, 49:162–169.
31. Muhilal et al. Vitamin A-fortified monosodium glutamate and health, growth, and survival of children: a controlled field trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1988, 48:1271–1276.
32. Solon FS et al. Evaluation of the effect of vitamin A-fortified margarine on the vitamin A status of preschool Filipino children. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 50:720–723.

33. Solon FS et al. Efficacy of a vitamin A-fortified wheat-flour bun on the vitamin A status of Filipino schoolchildren. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 72: 738–744.
34. van Stuijvenberg ME et al. Long-term evaluation of a micronutrient-fortified biscuit used for addressing micronutrient deficiencies in primary school children. *Public Health Nutrition*, 2001, 4:1201–1209.
35. Latham MC et al. Micronutrient dietary supplements – a new fourth approach. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 2001, 51 (1 Suppl 1):37–41.
36. Abrams SA et al. A micronutrient-fortified beverage enhances the nutritional status of children in Botswana. *Journal of Nutrition*, 2003, 133:1834–1840.
37. Yip R et al. Declining prevalence of anemia in childhood in a middle-class setting: a pediatric success story? *Pediatrics*, 1987, 80:330–334.
38. Fomon S. Infant feeding in the 20th century: formula and beikost. *Journal of Nutrition*, 2001, 131:409S–420S.
39. Layrisse M et al. Early response to the effect of iron fortification in the Venezuelan population. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 64:903–907.
40. Stekel A et al. Prevention of iron deficiency by milk fortification. II. A field trial with a full-fat acidified milk. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1988, 47:265–269.
41. Hertrampf E. Iron fortification in the Americas. *Nutrition Reviews*, 2002, 60:S22–S25.
42. *Guidelines for iron fortification of cereal food staples*. Washington, DC, Sharing United States Technology to Aid in the Improvement of Nutrition, 2001.
43. Zimmermann MB et al. Addition of microencapsulated iron to iodized salt improves the efficacy of iodine in goitrous, iron-deficient children: a randomized, double-blind, controlled trial. *European Journal of Endocrinology*, 2002, 147:747–753.
44. Zimmermann MB et al. Dual fortification of salt with iodine and microencapsulated iron: a randomized, double-blind, controlled trial in Moroccan schoolchildren. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 77:425–432.
45. Arroyave G et al. *Evaluation of sugar fortification with vitamin A at the national level*. Washington, DC, Pan American Health Organization, 1979 (Scientific publication No. 384).
46. Arroyave G, Mejia LA, Aguilar JR. The effect of vitamin A fortification of sugar on the serum vitamin A levels of preschool Guatemalan children: a longitudinal evaluation. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1981, 34:41–49.
47. Arroyave G et al. Efectos del consumo de azucar fortificada con retinol, por la madre embarazada y lactante cuya dieta habitual es baja en vitamina A. Estudio de la madre y del niño. [Effects of the intake of sugar fortified with retinol, by the pregnant women and infant whose diet is usually low in vitamin A. Study of the mother and child]. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 1974, 24:485–512.
48. Honein MA et al. Impact of folic acid fortification of the US food supply on the occurrence of neural tube defects. *Journal of the American Medical Association*, 2001, 285:2981–2986.
49. Jacques PF et al. The effect of folic acid fortification on plasma folate and total homocysteine concentrations. *New England Journal of Medicine*, 1999, 340:1449–1454.
50. Lewis CJ et al. Estimated folate intakes: data updated to reflect food fortification, increased bioavailability, and dietary supplement use. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1999, 70:198–207.

51. Ray JG et al. Association of neural tube defects and folic acid food fortification in Canada. *Lancet*, 2002, 360:2047–2048.
52. Hirsch S et al. The Chilean flour folic acid fortification program reduces serum homocysteine levels and masks vitamin B-12 deficiency in elderly people. *Journal of Nutrition*, 2002, 132:289–291.
53. Ray JG et al. Persistence of vitamin B12 insufficiency among elderly women after folic acid food fortification. *Clinical Biochemistry*, 2003, 36:387–391.
54. Park YK et al. Effectiveness of food fortification in the United States: the case of pellagra. *American Journal of Public Health*, 2000, 90:727–738.
55. Welch TR, Bergstrom WH, Tsang RC. Vitamin D-deficient rickets: the reemergence of a once-conquered disease. *Journal of Pediatrics*, 2000, 137:143–145.
56. Nesby-O’Dell S et al. Hypovitaminosis D prevalence and determinants among African American and white women of reproductive age: third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988–1994. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 76:187–192.
57. Keane EM et al. Vitamin D-fortified liquid milk: benefits for the elderly community-based population. *Calcified Tissue International*, 1998, 62:300–302.
58. Kinyamu HK et al. Dietary calcium and vitamin D intake in elderly women: effect on serum parathyroid hormone and vitamin D metabolites. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1998, 67:342–348.
59. *Enrichir la vie: en surmontant la malnutrition liée aux carences en vitamines et en minéraux dans les pays en développement*. Washington, DC, Banque mondiale, 1994.
60. Horton S. Opportunities for investment in nutrition in low-income Asia. *Asian Development Review*, 1999, 17:246–273.
61. Commission du Codex Alimentarius. *Principes généraux régissant l’adjonction d’éléments nutritifs aux aliments CAC/GL 09-1987 (Amendés en 1989 et 1991)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome.
62. Beaton GH. *Fortification of foods for refugee feeding. Final report to the Canadian International Development Agency*. Ontario, GHB Consulting, 1995.
63. Department of Health. *Nutrition and bone health. Report of the subgroup on bone health, working group on the nutritional status of the population of the Committee on Medical Aspects of Food and Nutrition Policy*. London, The Stationery Office, 1998.
64. Gibson SA. Iron intake and iron status of preschool children: associations with breakfast cereals, vitamin C and meat. *Public Health Nutrition*, 1999, 2:521–528.
65. Nestel P et al. Complementary food supplements to achieve micronutrient adequacy for infants and young children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 2003, 36:316–328.
66. Zlotkin S et al. Treatment of anemia with microencapsulated ferrous fumarate plus ascorbic acid supplied as sprinkles to complementary (weaning) foods. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2001, 74:791–795.
67. Briend A. Highly nutrient-dense spreads: a new approach to delivering multiple micronutrients to high-risk groups. *British Journal of Nutrition*, 2001, 85 (Suppl 2):175–179.
68. Ministry of Health and Child Welfare and CARE International. *Report of Sub-Regional Workshop on Fortification at Hamermill Level; 2000 Nov 13–16; Harare, Zimbabwe*. Harare, CARE International Zimbabwe, 2000.
69. Beyer P et al. Golden Rice: introducing the beta-carotene biosynthesis pathway into rice endosperm by genetic engineering to defeat vitamin A deficiency. *Journal of Nutrition*, 2002, 132:506S–510S.

70. Ye X et al. Engineering the provitamin A (beta-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science*, 2000, 287:303–305.
71. Lucca P, Hurrell R, Potrykus I. Fighting iron deficiency anemia with iron-rich rice. *Journal of the American College of Nutrition*, 2002, 21 (3 Suppl):184S–190S.
72. *Aspects de la salubrité des aliments génétiquement modifiés d'origine végétale*. Rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS sur les aliments produits par biotechnologie. Genève, 29 mai–2 juin 2000. (WHO/SDE/PHE/FOS/00.6).
73. Allen LH, Gillespie SR. *What works? A review of the efficacy and effectiveness of nutrition interventions*. Geneva, Administrative Committee on Coordination – Sub-Committee on Nutrition, 2001 (ACC/SCN State-of-the-Art Series, Nutrition Policy Discussion Paper No. 19).
74. *Assessing the iron status of populations: report of a Joint World Health Organization/Centers for Disease Control and Prevention Technical Consultation on the Assessment of Iron Status at the Population Level, Geneva, Switzerland, 6–8 April 2004*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2005.
75. Staubli Asobayire F et al. Prevalence of iron deficiency with and without concurrent anemia in population groups with high prevalences of malaria and other infections: a study in Cote d'Ivoire. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2001, 74:776–782.
76. Menendez C, Fleming AF, Alonso PL. Malaria-related anaemia. *Parasitology Today*, 2000, 16:469–476.
77. Allen LH, Casterline-Sabel JE. Prevalence and causes of nutritional anemias. In: Ramakrishnan U, ed. *Nutritional Anemias*. Boca Raton, FL, CRC Press, 2000: 17–21.
78. Besoins en vitamine A, fer, acide folique et vitamine B12. Rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS sur la nutrition. Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 23. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1988.
79. De Maeyer EM et al. *Prévenir et combattre l'anémie ferriprive dans le cadre des soins de santé primaires: guide à l'usage des administrateurs de la santé et des responsables de programme*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1989.
80. Brownlie T et al. Marginal iron deficiency without anemia impairs aerobic adaptation among previously untrained women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 75:734–742.
81. Brabin BJ, Hakimi M, Pelletier D. An analysis of anemia and pregnancy-related maternal mortality. *Journal of Nutrition*, 2001, 131 (2S-2):604S–614S.
82. Brabin BJ, Premji Z, Verhoeff F. An analysis of anemia and child mortality. *Journal of Nutrition*, 2001, 131 (2S-2):636S–645S.
83. Cogswell ME et al. Iron supplementation during pregnancy, anemia, and birth weight: a randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 78:773–781.
84. Rosales FJ et al. Iron deficiency in young rats alters the distribution of vitamin A between plasma and liver and between hepatic retinol and retinyl esters. *Journal of Nutrition*, 1999, 129:1223–1228.
85. Munoz EC et al. Iron and zinc supplementation improves indicators of vitamin A status of Mexican preschoolers. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 71:789–794.
86. Zimmermann MB et al. Persistence of goiter despite oral iodine supplementation in goitrous children with iron deficiency anemia in Cote d'Ivoire. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 71:88–93.

87. Zimmermann MB. Iron status influences the efficacy of iodine prophylaxis in goitrous children in Cote d'Ivoire. *International Journal of Vitamin and Nutrition Research*, 2002, 72:19–25.
88. Sommer A, Davidson FR. Assessment and control of vitamin A deficiency: the Annecy Accords. *Journal of Nutrition*, 2002, 132 (9 Suppl):2845S–2850S.
89. West KP Jr. Extent of vitamin A deficiency among preschool children and women of reproductive age. *Journal of Nutrition*, 2002, 132 (9 Suppl):2857S–2866S.
90. Allen LH, Haskell M. Vitamin A requirements of infants under six months of age. *Food and Nutrition Bulletin*, 2001, 22:214–234.
91. 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, DC, National Academy Press, 2001.
92. Miller M et al. Why do children become vitamin A deficient? *Journal of Nutrition*, 2002, 132 (9 Suppl):2867S–2880S.
93. *Vitamin and mineral requirements in human nutrition. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Human Vitamin and Mineral Requirements, Bangkok, Thailand, 21–30 September 1998*. 2nd ed. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2004.
94. de Pee S, West CE. Dietary carotenoids and their role in combating vitamin A deficiency: a review of the literature. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 50 (Suppl 3):S38–S53.
95. Rodriguez MS, Irwin MI. A conspectus of research on vitamin A requirements of man. *Journal of Nutrition*, 1972, 102:909–968.
96. Castenmiller JJ, West CE. Bioavailability and bioconversion of carotenoids. *Annual Review of Nutrition*, 1998, 18:19–38.
97. West KP Jr. et al. Double blind, cluster randomised trial of low dose supplementation with vitamin A or beta carotene on mortality related to pregnancy in Nepal. The NNIPS-2 Study Group. *British Medical Journal*, 1999, 318:570–575.
98. Christian P et al. Night blindness during pregnancy and subsequent mortality among women in Nepal: effects of vitamin A and beta-carotene supplementation. *American Journal of Epidemiology*, 2000, 152:542–547.
99. Suharno D et al. Supplementation with vitamin A and iron for nutritional anaemia in pregnant women in West Java, Indonesia. *Lancet*, 1993, 342:1325–1328.
100. Delange F. The disorders induced by iodine deficiency. *Thyroid*, 1994, 4:107–128.
101. Delange F. Cassava and the thyroid. In: Gaitan E, ed. *Environmental goitrogenesis*. Boca Raton, FL, CRC Press, 1989: 173–194.
102. Delange F. Endemic cretinism. In: Braverman LE, Utiger RD, eds. *The thyroid. A fundamental and clinical text*. Philadelphia, Lippincott, 2000: 743–754.
103. Stanbury JB, ed. *The damaged brain of iodine deficiency: cognitive, behavioral, neuromotor, educative aspects*. New York, Cognizant Communication Corporation, 1994.
104. Bleichrodt N, Born MA. A meta-analysis of research on iodine and its relationship to cognitive development. In: Stanbury J, ed. *The damaged brain of iodine deficiency: cognitive, behavioral, neuromotor, and educative aspects*. New York, Cognizant Communication Corporation, 1994: 195–200.
105. Boyages SC. Clinical review 49: Iodine deficiency disorders. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 1993, 77:587–591.
106. Delange F et al. Iodine deficiency in the world: where do we stand at the turn of the century? *Thyroid*, 2001, 11:437–447.
107. Osendarp SJ, West CE, Black RE. The need for maternal zinc supplementation in developing countries: an unresolved issue. *Journal of Nutrition*, 2003, 133:817S–827S.

108. Sian L et al. Zinc homeostasis during lactation in a population with a low zinc intake. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 75:99–103.
109. Holt C, Brown KH, eds. International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG) Technical Document #1. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin*, 2004, 25 (Suppl 2):S94–S203.
110. Sandström B. Dietary pattern and zinc supply. In: Mills CF, ed. *Zinc in human biology*. New York, Springer-Verlag, 1989: 350–365.
111. Sandström B, Lonnerdal B. Promoters and antagonists of zinc absorption. In: Mills CF, ed. *Zinc in human biology*. New York, Springer-Verlag, 1989: 57–78.
112. Sandström B et al. Effect of protein level and protein source on zinc absorption in humans. *Journal of Nutrition*, 1989, 119:48–53.
113. Sian L et al. Zinc absorption and intestinal losses of endogenous zinc in young Chinese women with marginal zinc intakes. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 63:348–353.
114. Petterson DS, Sandström B, Cederblad Å. Absorption of zinc from lupin (*Lupinus angustifolius*)-based foods. *British Journal of Nutrition*, 1994, 72:865–871.
115. Davidsson L et al. Dietary fiber in weaning cereals: a study of the effect on stool characteristics and absorption of energy, nitrogen, and minerals in healthy infants. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 1996, 22:167–179.
116. Manary MJ et al. Zinc homeostasis in Malawian children consuming a high-phytate, maize-based diet. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 75:1057–1061.
117. Hambidge M. Human zinc deficiency. *Journal of Nutrition*, 2000, 130 (5S Suppl): 1344S–1349S.
118. Shankar AH et al. The influence of zinc supplementation on morbidity due to *Plasmodium falciparum*: a randomized trial in preschool children in Papua New Guinea. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 2000, 62:663–669.
119. Muller O et al. Effect of zinc supplementation on malaria and other causes of morbidity in west African children: randomised double blind placebo controlled trial. *British Medical Journal*, 2001, 322:1567.
120. Caulfield LE et al. Potential contribution of maternal zinc supplementation during pregnancy to maternal and child survival. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1998, 68 (2 Suppl):499S–508S.
121. Brenton DP, Jackson MJ, Young A. Two pregnancies in a patient with acrodermatitis enteropathica treated with zinc sulphate. *Lancet*, 1981, 2:500–502.
122. King JC. Determinants of maternal zinc status during pregnancy. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 71 (5 Suppl):1334S–1343S.
123. Merialdi M et al. Adding zinc to prenatal iron and folate tablets improves fetal neurobehavioral development. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 1999, 180:483–490.
124. Caulfield LE et al. Maternal zinc supplementation does not affect size at birth or pregnancy duration in Peru. *Journal of Nutrition*, 1999, 129:1563–1568.
125. Sazawal S et al. Zinc supplementation in infants born small for gestational age reduces mortality: a prospective, randomized, controlled trial. *Pediatrics*, 2001, 108:1280–1286.
126. Domellof M et al. Iron, zinc, and copper concentrations in breast milk are independent of maternal mineral status. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2004, 79:111–115.

127. Krebs NF et al. Zinc supplementation during lactation: effects on maternal status and milk zinc concentrations. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1995, 61: 1030–1036.
128. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. *Dietary reference intakes for thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B6, folate, vitamin B12, pantothenic acid, biotin, and choline*. Washington, DC, National Academy Press, 2000.
129. Rucker RB et al. *Handbook of vitamins*. 3rd ed. New York, Marcel Dekker, 2001.
130. *Review of the magnitude of Folate and Vitamin B12 deficiencies worldwide*. McLean E, de Benoist B, Allen LH, 2005.
131. Krishnaswamy K, Madhavan Nair K. Importance of folate in human nutrition. *British Journal of Nutrition*, 2001, 85 (Suppl 2):115–124.
132. Hertrampf E et al. Consumption of folic acid-fortified bread improves folate status in women of reproductive age in Chile. *Journal of Nutrition*, 2003, 133:3166–3169.
133. Villapando S et al. Vitamins A and C and folate status in Mexican children under 12 years and women 12–49 years: A probabilistic national survey. *Salud Publica de Mexico*, 2003, 45 (Suppl 4):S508–S519.
134. Koebnick C et al. Folate status during pregnancy in women is improved by long-term high vegetable intake compared with the average western diet. *Journal of Nutrition*, 2001, 131:733–739.
135. Charoenlarp P et al. A WHO collaborative study on iron supplementation in Burma and in Thailand. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1988, 47:280–297.
136. Berry RJ et al. Prevention of neural-tube defects with folic acid in China. *New England Journal of Medicine*, 1999, 341:1485–1490.
137. Werler MM, Shapiro S, Mitchell AA. Periconceptional folic acid exposure and risk of occurrent neural tube defects. *Journal of the American Medical Association*, 1993, 269:1257–1261.
138. Botto LD et al. Neural-tube defects. *New England Journal of Medicine*, 1999, 341: 1509–1519.
139. Shibuya K, Murray CJL. Congenital anomalies. In: Murray CJL, Lopez AD, eds. *Health dimensions of sex and reproduction*. Boston, Harvard University Press, 1998: 455–512.
140. Moyers S, Bailey LB. Fetal malformations and folate metabolism: review of recent evidence. *Nutrition Reviews*, 2001, 59:215–224.
141. de Onis M, Villar J, Gulmezoglu M. Nutritional interventions to prevent intrauterine growth retardation: evidence from randomized controlled trials. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1998, 52 (Suppl 1):S83–S93.
142. Wald NJ et al. Homocysteine and ischemic heart disease: results of a prospective study with implications regarding prevention. *Archives of Internal Medicine*, 1998, 158:862–867.
143. Perry IJ et al. Prospective study of serum total homocysteine concentration and risk of stroke in middle-aged British men. *Lancet*, 1995, 346:1395–1398.
144. De Bree A et al. Homocysteine determinants and the evidence to what extent homocysteine determines the risk of coronary heart disease. *Pharmacological Reviews*, 2002, 54:599–618.
145. Wald DS, Law M, Morris JK. Homocysteine and cardiovascular disease: evidence on causality from a meta-analysis. *British Medical Journal*, 2002, 325:1202–1206.
146. Malouf M, Grimley EJ, Areosa SA. Folic acid with or without vitamin B12 for cognition and dementia. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2003, Issue 4. Art. No.: CD004514. DOI: 10.1002/14651858.CD004514.

147. Vollset SE et al. Plasma total homocysteine, pregnancy complications, and adverse pregnancy outcomes: the Hordaland Homocysteine study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 71:962–988.
148. Erickson JD et al. Folate status in women of childbearing age, by race/ethnicity – United States, 1999–2000. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 2002, 51:808–810.
149. Lawrence JM et al. Trends in serum folate after food fortification. *Lancet*, 1999, 354:915–916.
150. Allen LH. Folate and vitamin B12 status in the Americas. *Nutrition Reviews*, 2004, 62 (6 Pt 2):S29–S33.
151. Refsum H et al. Hyperhomocysteinemia and elevated methylmalonic acid indicate a high prevalence of cobalamin deficiency in Asian Indians. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2001, 74:233–241.
152. Siekmann JH et al. Kenyan school children have multiple micronutrient deficiencies, but increased plasma vitamin B-12 is the only detectable micronutrient response to meat or milk supplementation. *Journal of Nutrition*, 2003, 133:3972S–3980S.
153. Krajcovicova-Kudlackova M et al. Homocysteine levels in vegetarians versus omnivores. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 2000, 44:135–138.
154. Heaton EB et al. Neurologic aspects of cobalamin deficiency. *Medicine (Baltimore)*, 1991, 70:229–245.
155. Allen LH et al. Cognitive and neuromotor performance of Guatemalan schoolers with deficient, marginal and normal plasma B-12. *FASEB Journal*, 1999, 13:A544.
156. Allen LH. Impact of vitamin B-12 deficiency during lactation on maternal and infant health. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 2002, 503:57–67.
157. Martin DC et al. Time dependency of cognitive recovery with cobalamin replacement: report of a pilot study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 1992, 40:168–172.
158. *Thiamine deficiency and its prevention and control in major emergencies*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1999 (WHO/NHD/99.13).
159. Djoenaidi W, Notermans SL, Verbeek AL. Subclinical beriberi polyneuropathy in the low income group: an investigation with special tools on possible patients with suspected complaints. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 50:549–555.
160. Bovet P et al. Blood thiamin status and determinants in the population of Seychelles (Indian Ocean). *Journal of Epidemiology and Community Health*, 1998, 52:237–242.
161. Butterworth RF. Maternal thiamine deficiency: still a problem in some world communities. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2001, 74:712–713.
162. McGready R et al. Postpartum thiamine deficiency in a Karen displaced population. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2001, 74:808–813.
163. Tang CM et al. Outbreak of beri-beri in The Gambia. *Lancet*, 1989, 2:206–207.
164. Macias-Matos C et al. Biochemical evidence of thiamine depletion during the Cuban neuropathy epidemic, 1992–1993. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 64:347–353.
165. Bates C et al. Reply to D.A. Gans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1997, 65:1091.
166. Lonsdale D. Thiamine deficiency and sudden deaths. *Lancet*, 1990, 336:376.
167. Combs GF Jr. *The vitamins: fundamental aspects in nutrition and health*. 2nd ed. San Diego, CA, Academic Press, 1992.
168. Bhuvaneshwaran C, Sreenivasan A. Problems of thiamine deficiency states and their amelioration. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1962, 98:576–601.

169. Vimokesant SL et al. Effects of betel nut and fermented fish on the thiamin status of northeastern Thais. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1975, 28:1458–1463.
170. Hustad S et al. Riboflavin, flavin mononucleotide, and flavin adenine dinucleotide in human plasma and erythrocytes at baseline and after low-dose riboflavin supplementation. *Clinical Chemistry*, 2002, 48:1571–1577.
171. Graham JM et al. Riboflavin status of pregnant Nepali women; comparison of erythrocyte riboflavin with erythrocyte reductase activity coefficient (EGRAC) methods. *FASEB Journal*, 2002, 16:A276–A277.
172. Allen LH. Micronutrients. In: Flores R, Gillespie S, eds. *Health and nutrition: emerging and reemerging issues in developing countries*. Washington, DC, International Food Policy Research Institute, 2001: 10. (2020 Vision Focus No. 5).
173. Reddy VA et al. Riboflavin, folate and vitamin C status of Gambian women during pregnancy: a comparison between urban and rural communities. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 1987, 81:1033–1037.
174. Boisvert WA et al. Prevalence of riboflavin deficiency among Guatemalan elderly people and its relationship to milk intake. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1993, 58:85–90.
175. Campbell TC et al. Questioning riboflavin recommendations on the basis of a survey in China. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1990, 51:436–445.
176. Allen LH et al. Supplementation of anemic lactating Guatemalan women with riboflavin improves erythrocyte riboflavin concentrations and ferritin response to iron treatment. *Journal of Nutrition*. In press.
177. Powers HJ et al. The relative effectiveness of iron and iron with riboflavin in correcting a microcytic anaemia in men and children in rural Gambia. *Human Nutrition: Clinical Nutrition*, 1983, 37:413–425.
178. *Pellagra and its prevention and control in major emergencies*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2000 (WHO/NHD/00.10).
179. Malfait P et al. An outbreak of pellagra related to changes in dietary niacin among Mozambican refugees in Malawi. *International Journal of Epidemiology*, 1993, 22: 504–511.
180. Setiawan B, Giraud DW, Driskell JA. Vitamin B-6 inadequacy is prevalent in rural and urban Indonesian children. *Journal of Nutrition*, 2000, 130:553–558.
181. McCullough AL et al. Vitamin B-6 status of Egyptian mothers: relation to infant behavior and maternal-infant interactions. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1990, 51:1067–1074.
182. Fairfield KM, Fletcher RH. Vitamins for chronic disease prevention in adults: scientific review. *Journal of the American Medical Association*, 2002, 287:3116–3126.
183. Chang SJ, Kirksey A. Pyridoxine supplementation of lactating mothers: relation to maternal nutrition status and vitamin B-6 concentrations in milk. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1990, 51:826–831.
184. *Scurvy and its prevention and control in major emergencies*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1999 (WHO/NHD/99.11).
185. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Nutrition and health status of displaced persons – Sudan, 1988–1989. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 1989, 38:848–855.
186. Desenclos JC et al. Epidemiological patterns of scurvy among Ethiopian refugees. *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé*, 1989, 67:309–316.
187. Toole MJ. Micronutrient deficiencies in refugees. *Lancet*, 1992, 339:1214–1216.

188. Grusin H, Kincaid-Smith PS. Scurvy in adult Africans – a clinical, haematological, and pathological study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1954, 2:323–335.
189. Hampl JS, Taylor CS, Johnston CS. NHANES III data indicate that American subgroups have a high risk of vitamin C deficiency. *Journal of the American Dietetic Association*, 2000, 100:A-59 (Abstract).
190. Sauberlich HE, Skala OH, Dowdy RP. *Laboratory tests for the assessment of nutritional status*. Cleveland, OH, CRC Press, 1974.
191. Severs D, Williams T, Davies JW. Infantile scurvy – a public health problem. *Canadian Journal of Public Health*, 1961, 52:214–220.
192. Turner E, Pitt D, Thomson R. Scurvy yesterday and today. *Medical Journal of Australia*, 1959, 46:243–246.
193. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. *Dietary reference intakes for calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D, and fluoride*. Washington, DC, National Academy Press, 1999.
194. Specker BL et al. Prospective study of vitamin D supplementation and rickets in China. *Journal of Pediatrics*, 1992, 120:733–739.
195. Zeghoud F et al. Subclinical vitamin D deficiency in neonates: definition and response to vitamin D supplements. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1997, 65:771–778.
196. Dagnelie PC et al. High prevalence of rickets in infants on macrobiotic diets. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1990, 51:202–208.
197. Lebrun JB et al. Vitamin D deficiency in a Manitoba community. *Canadian Journal of Public Health*, 1993, 84:394–396.
198. Yan L et al. Vitamin D status and parathyroid hormone concentrations in Chinese women and men from north-east of the People's Republic of China. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 54:68–72.
199. Du X et al. Vitamin D deficiency and associated factors in adolescent girls in Beijing. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2001, 74:494–500.
200. Goswami R et al. Prevalence and significance of low 25-hydroxyvitamin D concentrations in healthy subjects in Delhi. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 72:472–475.
201. El-Sonbaty MR, Abdul-Ghaffar NU. Vitamin D deficiency in veiled Kuwaiti women. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 50:315–318.
202. Kreiter SR et al. Nutritional rickets in African American breast-fed infants. *Journal of Pediatrics*, 2000, 137:153–157.
203. Thacher TD et al. A comparison of calcium, vitamin D, or both for nutritional rickets in Nigerian children. *New England Journal of Medicine*, 1999, 341:563–568.
204. Dawson-Hughes B et al. Effect of vitamin D supplementation on wintertime and overall bone loss in healthy postmenopausal women. *Annals of Internal Medicine*, 1991, 115:505–512.
205. Lee WT et al. Bone mineral content of two populations of Chinese children with different calcium intakes. *Bone and Mineral*, 1993, 23:195–206.
206. Dibba B et al. Effect of calcium supplementation on bone mineral accretion in Gambian children accustomed to a low-calcium diet. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 71:544–549.
207. Yang GQ et al. The role of selenium in Keshan disease. *Advances in Nutritional Research*, 1984, 6:203–231.
208. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. *Dietary reference intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*. Washington, DC, National Academy Press, 2000.

209. Fox TE, Fairweather-Tait S. Selenium. In: Hurrell RF, ed. *The mineral fortification of foods*. Leatherhead, Surrey, Leatherhead Publishing, 1999: 112–153.
210. *Aspects sanitaires et nutritionnels des oligo-éléments et des éléments en traces*. Genève Organisation mondiale de la Santé, 1996.
211. Ge K, Yang G. The epidemiology of selenium deficiency in the etiological study of endemic diseases in China. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1993, 57 (2 Suppl):259S–263S.
212. Chen XS et al. Studies on the relations of selenium and Keshan disease. *Biological Trace Element Research*, 1980, 2:91–107.
213. Zhang WH et al. Selenium, iodine and fungal contamination in Yulin District (People’s Republic of China) endemic for Kashin-Beck disease. *International Orthopaedics*, 2001, 25:188–190.
214. Moreno-Reyes R et al. Kashin-Beck disease and iodine deficiency in Tibet. *International Orthopaedics*, 2001, 25:164–166.
215. Vanderpas JB et al. Selenium deficiency mitigates hypothyroxinemia in iodine-deficient subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1993, 57 (2 Suppl): 271S–275S.
216. Giray B et al. Status of selenium and antioxidant enzymes of goitrous children is lower than healthy controls and nongoitrous children with high iodine deficiency. *Biological Trace Element Research*, 2001, 82:35–52.
217. Aro A, Alfthan G, Varo P. Effects of supplementation of fertilizers on human selenium status in Finland. *Analyst*, 1995, 120:841–843.
218. Cheng YY, Qian PC. The effect of selenium-fortified table salt in the prevention of Keshan disease on a population of 1.05 million. *Biomedical and Environmental Sciences*, 1990, 3:422–428.
219. *Fluorures et santé bucco-dentaire: Rapport d’un comité OMS d’experts sur la santé bucco-dentaire et l’utilisation des fluorures*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1994. (Série de Rapports techniques N° 846).
220. Hillier S et al. Fluoride in drinking water and risk of hip fracture in the UK: a case-control study. *Lancet*, 2000, 355:265–269.
221. Demos LL et al. Water fluoridation, osteoporosis, fractures – recent developments. *Australian Dental Journal*, 2001, 46:80–87.
222. Phipps KR et al. Community water fluoridation, bone mineral density, and fractures: prospective study of effects in older women. *British Medical Journal*, 2000, 321:860–864.
223. Semba RD et al. Impact of vitamin A supplementation on hematological indicators of iron metabolism and protein status in children. *Nutrition Research*, 1992, 12: 469–478.
224. Hurrell RF. How to ensure adequate iron absorption from iron-fortified food. *Nutrition Reviews*, 2002, 60 (7 Pt 2):S7–S15.
225. Hurrell RF. Iron. In: Hurrell RF, ed. *The mineral fortification of food*. Leatherhead, Surrey, Leatherhead Publishing, 1999: 54–93.
226. Swain JH, Newman SM, Hunt JR. Bioavailability of elemental iron powders to rats is less than bakery-grade ferrous sulfate and predicted by iron solubility and particle surface area. *Journal of Nutrition*, 2003, 133:3546–3552.
227. Hurrell RF et al. Ferrous fumarate fortification of a chocolate drink powder. *British Journal of Nutrition*, 1991, 65:271–283.
228. Theuer RC et al. Effect of processing on availability of iron salts in liquid infants formula products – experimental milk-based formulas. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1973, 21:482–485.

229. Hurrell RF et al. The usefulness of elemental iron for cereal flour fortification: a SUSTAIN Task Force report. *Nutrition Reviews*, 2002, 60:391–406.
230. Lee PW, Eisen WB, German RM, eds. *Handbook of powder metal technologies and applications*. Materials Park, OH, American Society of Metals, 1998.
231. International Nutritional Anemia Consultative Group (INACG). *Iron EDTA for food fortification*. Washington, DC, International Life Sciences Institute, 1993.
232. Hurrell RF et al. An evaluation of EDTA compounds for iron fortification of cereal-based foods. *British Journal of Nutrition*, 2000, 84:903–910.
233. Davidsson L et al. Iron bioavailability from iron-fortified Guatemalan meals based on corn tortillas and black bean paste. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 75:535–539.
234. Fairweather-Tait SJ et al. Iron absorption from a breakfast cereal: effects of EDTA compounds and ascorbic acid. *International Journal of Vitamin and Nutrition Research*, 2001, 71:117–122.
235. Barclay D et al. Cereal products having low phytic acid content. Société des Produits Nestlé S.A. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich. International Patent Application PCT/EP00/05140, publication No.WO/00/72700, 2000.
236. Egli I. *Traditional food processing methods to increase mineral bioavailability from cereal and legume based weaning foods* [Dissertation]. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 2001.
237. Dary O, Freire W, Kim S. Iron compounds for food fortification: guidelines for Latin America and the Caribbean 2002. *Nutrition Reviews*, 2002, 60:S50–S61.
238. *Évaluation de certains additifs alimentaires et contaminants. Cinquante-troisième rapport du Comité mixte FAO/OMS des additifs alimentaires*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2000 (Série de Rapports techniques N° 896).
239. Allen LH. Advantages and limitations of iron amino acid chelates as iron fortificants. *Nutrition Reviews*, 2002, 60 (Suppl 1):S18–S21.
240. Bovell-Benjamin AC, Viteri FE, Allen LH. Iron absorption from ferrous bisglycinate and ferric trisglycinate in whole maize is regulated by iron status. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000, 71:1563–1569.
241. Fidler MC et al. A micronised, dispersible ferric pyrophosphate with high relative bioavailability in man. *British Journal of Nutrition*, 2004, 91:107–112.
242. Zimmermann MB et al. Comparison of the efficacy of wheat-based snacks fortified with ferrous sulfate, electrolytic iron, or hydrogen-reduced elemental iron: randomized, double-blind, controlled trial in Thai women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2005, 82:1276–1282.
243. Dary O. Lessons learned with iron fortification in Central America. *Nutrition Reviews*, 2002, 60 (7 Pt 2):S30–S33.
244. Sarker SA et al. Helicobacter pylori infection, iron absorption, and gastric acid secretion in Bangladeshi children. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2004, 80:149–153.
245. Wang CF, King RL. Chemical and sensory evaluation of iron-fortified milk. *Journal of Food Science*, 1973, 38:938–940.
246. Moretti D et al. Development and Evaluation of Iron-fortified Extruded Rice Grains. *Journal of Food Science*, 2005, 70:S330–S336.
247. Douglas FW et al. Color, flavor, and iron bioavailability in iron-fortified chocolate milk. *Journal of Dairy Science*, 1981, 64:1785–1793.
248. Davidsson L et al. Influence of ascorbic acid on iron absorption from an iron-fortified, chocolate-flavored milk drink in Jamaican children. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1998, 67:873–877.

249. Fidler MC et al. Iron absorption from fish sauce and soy sauce fortified with sodium iron EDTA. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 78:274–278.
250. Huo J et al. Therapeutic effects of NaFeEDTA-fortified soy sauce in anaemic children in China. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 11:123–127.
251. Oppenheimer SJ. Iron and its relation to immunity and infectious disease. *Journal of Nutrition*, 2001, 131 (2S-2):616S–633S.
252. Heresi G et al. Effect of supplementation with an iron-fortified milk on incidence of diarrhea and respiratory infection in urban-resident infants. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases*, 1995, 27:385–389.
253. Hemminki E et al. Impact of iron fortification of milk formulas on infants growth and health. *Nutrition Research*, 1995, 15:491–503.
254. Power HM et al. Iron fortification of infant milk formula: the effect on iron status and immune function. *Annals of Tropical Paediatrics*, 1991, 11:57–66.
255. Brunser O et al. Chronic iron intake and diarrhoeal disease in infants. A field study in a less-developed country. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1993, 47:317–326.
256. Danesh J, Appleby P. Coronary heart disease and iron status: meta-analyses of prospective studies. *Circulation*, 1999, 99:852–854.
257. Lund EK et al. Oral ferrous sulfate supplements increase the free radical generating capacity of feces from healthy volunteers. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1999, 69:250–255.
258. Stevens RG et al. Body iron stores and the risk of cancer. *New England Journal of Medicine*, 1988, 319:1047–1052.
259. Arya SS, Thakur BR. Effect of water activity on vitamin A degradation in wheat flour (atta). *Journal of Food Processing and Preservation*, 1990, 14:123–134.
260. Favaro RMD et al. Studies on fortification of refined soybean oil with all-transretinyl palmitate in Brazil: stability during cooking and storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1991, 4:237–244.
261. *Fortification Basics: Sugar*. Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1997.
262. Olson JA. Vitamin A. In: Ziegler EE, Filer LJ, eds. *Present knowledge in nutrition*. Washington, DC, International Life Sciences Institute Press, 1996: 109–119.
263. Dary O, Mora JO. Food fortification to reduce vitamin A deficiency: International Vitamin A Consultative Group recommendations. *Journal of Nutrition*, 2002, 132 (9 Suppl):2927S–2933S.
264. Johnson LE. Oils, fats and margarine: overview of technology. In: Micronutrient Initiative, ed. *Food fortification to end micronutrient malnutrition. State of the Art*. Ottawa, Micronutrient Initiative, 1998: 22–26.
265. Bloch CE. Effects of deficiency in vitamins in infancy. *American Journal of Diseases of Children*, 1931, 42:271.
266. Aykroyd WR et al. Medical Resurvey of Nutrition in Newfoundland 1948. *Canadian Medical Association Journal*, 1949, 60:329–352.
267. Sridhar KK. Tackling micronutrient malnutrition: Two case studies in India. In: Micronutrient Initiative, ed. *Food fortification to end micronutrient malnutrition. State of the Art*. Ottawa, Micronutrient Initiative, 1998: 32–36.
268. Atwood SJ et al. Stability of vitamin A in fortified vegetable oil and corn soy blend used in child feeding programs in India. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1995, 8:32–44.

269. Opportunities for Micronutrient Interventions (OMNI). *Fortification of wheat flour with vitamin A: an update*. Washington, DC, US Agency for International Development, 1998.
270. *Final Report of the Micronutrient Assessment Project*. Washington, DC, Sharing United States Technology to Aid in the Improvement of Nutrition, 1999.
271. Chavez JF. Enrichment of precooked corn flour and wheat flour in Venezuela: A successful experience. In: Micronutrient Initiative, ed. *Food fortification to end micronutrient malnutrition. State of the Art*. Ottawa, Micronutrient Initiative, 1998: 62–65.
272. Dary O. Sugar fortification with vitamin A: A Central American contribution to the developing world. In: Micronutrient Initiative, ed. *Food fortification to end micronutrient malnutrition. State of the Art*. Ottawa, Micronutrient Initiative, 1998: 95–98.
273. Arroyave G. The program of fortification of sugar with vitamin A in Guatemala: some factors bearing on its implementation and maintenance. In: Scrimshaw NS, Wallerstein MT, eds. *Nutrition policy implementation. Issues and experience*. New York, Plenum Press, 1982: 75–88.
274. Krause VM, Delisle H, Solomons NW. Fortified foods contribute one half of recommended vitamin A intake in poor urban Guatemalan toddlers. *Journal of Nutrition*, 1998, 128:860–864.
275. Dary O, Guamuch M, Nestel P. Recovery of retinol in soft-drink beverages made with fortified unrefined and refined sugar: implications for national fortification programs. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1998, 11:212–220.
276. Rosado JL et al. Development, production, and quality control of nutritional supplements for a national supplementation programme in Mexico. *Food and Nutrition Bulletin*, 2000, 21:30–34.
277. Tartanac F. Incaparina and other Incaparina-based foods: Experience of INCAP in Central America. *Food and Nutrition Bulletin*, 2000, 21:49–54.
278. Lopez de Romana D. Experience with complementary feeding in the FONCODES project. *Food and Nutrition Bulletin*, 2000, 21:43–48.
279. Chavasit V, Tontisirin K. Triple fortification: instant noodles in Thailand. In: Micronutrient Initiative, ed. *Food fortification to end micronutrient malnutrition. State of the Art*. Ottawa, Micronutrient Initiative, 1998: 72–76.
280. Bynum D. Fortification of dairy products with micronutrients to end malnutrition. In: Micronutrient Initiative, ed. *Food fortification to end micronutrient malnutrition. State of the Art*. Ottawa, Micronutrient Initiative, 1998: 38–42.
281. Allen LH, Haskell M. Estimating the potential for vitamin A toxicity in women and young children. *Journal of Nutrition*, 2002, 132 (9 Suppl):2907S–2919S.
282. *Évaluation de certains additifs alimentaires et contaminants: trente-septième rapport du Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1991 (OMS, Série de Rapports techniques, No. 806).
283. *Recommended iodine levels in salt and guidelines for monitoring their adequacy and effectiveness*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1996 (WHO/NUT/96.13).
284. *Progrès en vue de l'élimination des troubles dus à la carence iodée (TDCI)*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1999 (WHO/NHD/99.4).
285. Commission du Codex Alimentarius. *Norme Codex pour le sel de qualité alimentaire. CODEX STAND 150-1985, révisée en 1997 (amendée en 2001)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1985.
286. Burgi H. Iodization of salt and food. Technical and legal aspects. In: Delange F, Dunn JT, Glinoe D, eds. *Iodine deficiency in Europe. A continuing concern*. New York, Plenum Press, 1993: 261–266.

287. Mannar V, Dunn JT. *Salt iodization for the elimination of iodine deficiency*. The Netherlands, International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders, 1995.
288. Diosady LL et al. Stability of iodine in iodized salt used for correction of iodine deficiency disorders. II. *Food and Nutrition Bulletin*, 1998, 19:240–250.
289. *Résumé: La situation des enfants dans le monde*. New York, Fonds des Nations Unies pour l'Enfance, 2003.
290. Delange F, Hetzel BS. The iodine deficiency disorders. In: Hennemann G, DeGroot L, eds. *The thyroid and its diseases*. MA, Endocrine Education, Inc, 2003.
291. Gerasimov G et al. Bread iodization for iodine deficient regions of Russia and other newly independent states. *IDD Newsletter*, 1997, 13:12–13.
292. Suwanik R, Pleehachinda R, Pattanachak C, et al. Simple technology provides effective IDD control at the village level in Thailand. *IDD Newsletter*, 1989, 5: 1–6.
293. Fisch A et al. A new approach to combatting iodine deficiency in developing countries: the controlled release of iodine in water by a silicone elastomer. *American Journal of Public Health*, 1993, 83:540–545.
294. Elnagar B et al. Control of iodine deficiency using iodination of water in a goiter endemic area. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 1997, 48:119–127.
295. Foo LC et al. Iodization of village water supply in the control of endemic iodine deficiency in rural Sarawak, Malaysia. *Biomedical and Environmental Sciences*, 1996, 9:236–241.
296. Anonymous. Iodized water to eliminate iodine deficiency. *IDD Newsletter*, 1997, 13:33–39.
297. Cao XY et al. Iodination of irrigation water as a method of supplying iodine to a severely iodine-deficient population in Xinjiang, China. *Lancet*, 1994, 344:107–110.
298. Phillips DI. Iodine, milk, and the elimination of endemic goiter in Britain: the story of an accidental public health triumph. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 1997, 51:391–393.
299. Eltom M et al. The use of sugar as a vehicle for iodine fortification in endemic iodine deficiency. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 1995, 46:281–289.
300. Sinawat S. Fish sauce fortification in Thailand. In: Micronutrient Initiative, ed. *Food fortification to end micronutrient malnutrition. State of the Art*. Ottawa, Micronutrient Initiative, 1998: 102–104.
301. Burgi H, Schaffner TH, Seiler JP. The toxicology of iodate: a review of the literature. *Thyroid*, 2001, 11:449–456.
302. Stanbury JB et al. Iodine-induced hyperthyroidism: occurrence and epidemiology. *Thyroid*, 1998, 8:83–100.
303. Bourdoux PP et al. Iodine induced thyrotoxicosis in Kivu, Zaire. *Lancet*, 1996, 347:552–553.
304. Todd CH et al. Increase in thyrotoxicosis associated with iodine supplements in Zimbabwe. *Lancet*, 1995, 346:1563–1564.
305. Delange F, de Benoist B, Alnwick D. Risks of iodine-induced hyperthyroidism after correction of iodine deficiency by iodized salt. *Thyroid*, 1999, 9:545–556.
306. Todd CH. *Hyperthyroidism and other thyroid disorders: a practical handbook for recognition and management*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1999 (WHO/AFRO/NUT/99.1).

307. Laurberg P et al. Thyroid disorders in mild iodine deficiency. *Thyroid*, 2000, 10:951–963.
308. Diaz M et al. Bioavailability of zinc sulfate and zinc oxide added to corn tortilla. A study using stable isotopes. *FASEB Journal*, 2001, 15:A578.5 (Abstract).
309. Lopez de Romana D, Lonnerdal B, Brown KH. Absorption of zinc from wheat products fortified with iron and either zinc sulfate or zinc oxide. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 78:279–283.
310. Hurrell RF et al. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 77: 1213–1219.
311. Davidsson L, Kastenmayer P, Hurrell RF. Sodium iron EDTA [NaFe(III)EDTA] as a food fortificant: the effect on the absorption and retention of zinc and calcium in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1994, 60:231–237.
312. Hambidge KM et al. Zinc nutritional status of young middle-income children and effects of consuming zinc-fortified breakfast cereals. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1979, 32:2532–2539.
313. Kilic I et al. The effect of zinc-supplemented bread consumption on school children with asymptomatic zinc deficiency. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 1998, 26:167–171.
314. Lopez de Romana D, Brown KH, Guinard JX. Sensory trial to assess the acceptability of zinc fortificants added to iron-fortified wheat products. *Journal of Food Science*, 2002, 67:461–465.
315. Pfeiffer CM et al. Absorption of folate from fortified cereal-grain products and of supplemental folate consumed with or without food determined by using a dual-label stable-isotope protocol. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1997, 66: 1388–1397.
316. *Fortification Basics: Stability*. Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1998.
317. Bauernfeind JC, DeRitter E. Foods considered for nutrient addition: cereal grain products. In: Bauernfeind JC, Lachance PA, eds. *Nutrient additions to food: nutritional, technological and regulatory aspects*. Trumbull, CT, Food and Nutrition Press, 1991: 143–209.
318. Bowley A, ed. *Mandatory food enrichment*. Basel, Roche Vitamins Europe Ltd, 2003 (Nutriview Special Issue 1–12).
319. *Opinion of the Scientific Committee on Food on the tolerable upper intake levels of nicotinic acid and nicotinamide (niacin)*. Brussels, European Commission, 2002 (SCF/CS/NUT/UPPLEV/39).
320. Flynn A, Cashman K. Calcium. In: Hurrell RF, ed. *The mineral fortification of foods*. Leatherhead, Surrey, Leatherhead Publishing, 1999: 18–53.
321. Ranhotra GS, Lee C, Gelroth JA. Expanded cereal fortification – bioavailability and functionality (breadmaking) of various calcium sources. *Nutrition Reports International*, 1980, 22:469–475.
322. Van Dael P et al. Comparison of selenite and selenate apparent absorption and retention in infants using stable isotope methodology. *Pediatric Research*, 2002, 51:71–75.
323. Estupinan-Day SR et al. Salt fluoridation and dental caries in Jamaica. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 2001, 29:247–252.
324. Stephen KW et al. Effect of fluoridated salt intake in infancy: a blind caries and fluorosis study in 8th grade Hungarian pupils. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 1999, 27:210–215.

325. National Program of Salt Fluoridation. *Salt fluoridation program in Costa Rica*. Tres Rios, Instituto Costarricense de Investigación y Enseñanza en Nutrición y Salud (INCIENSA), 2002.
326. Stephen KW, Banoczy J, Pakhomov GN, eds. *Milk fluoridation for the prevention of dental caries*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1996 (WHO/ORH/MF/DOC96.1).
327. Woodward SM et al. School milk as a vehicle for fluoride in the United Kingdom. An interim report. *Community Dental Health*, 2001, 18:150–156.
328. Marino R, Villa A, Guerrero S. A community trial of fluoridated powdered milk in Chile. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 2001, 29:435–442.
329. Bian JY et al. Effect of fluoridated milk on caries in primary teeth: 21-month results. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 2003, 31:241–245.
330. Stephen KW et al. Five-year double-blind fluoridated milk study in Scotland. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 1984, 12:223–229.
331. Ketley CE, West JL, Lennon MA. The use of school milk as a vehicle for fluoride in Knowsley, UK; an evaluation of effectiveness. *Community Dental Health*, 2003, 20:83–88.
332. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. *Dietary reference intakes: applications in dietary planning*. Washington, DC, National Academy Press, 2003.
333. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. *Dietary reference intakes: applications in dietary assessment*. Washington, DC, National Academy Press, 2000.
334. Department of Health. *Dietary Reference Values of food energy and nutrients for the United Kingdom*. London, Her Majesty's Stationery Office, 1991.
335. Scientific Committee for Food. *Nutrient and energy intakes for the European Community. Reports of the Scientific Committee for Food*. Luxembourg, Commission of the European Community, 1992 (31st Series).
336. Nusser SM et al. A semiparametric transformation approach to estimating usual daily intake distributions. *Journal of the American Statistical Association*, 1996, 91:1440–1449.
337. Guenther PM, Kott PS, Carriquiry AL. Development of an approach for estimating usual nutrient intake distributions at the population level. *Journal of Nutrition*, 1997, 127:1106–1112.
338. Nyambose J, Koski KG, Tucker KL. High intra/interindividual variance ratios for energy and nutrient intakes of pregnant women in rural Malawi show that many days are required to estimate usual intake. *Journal of Nutrition*, 2002, 132:1313–1318.
339. *Technical consultation on recommended levels of folic acid and vitamin B12 fortification in the Americas*. Washington, DC, Pan American Health Organization, 2003.
340. *Complementary feeding of young children in developing countries: a review of current scientific knowledge*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 1998 (WHO/NUT/98.1).
341. Commission du Codex Alimentarius. *Lignes directrices pour la mise au point des préparations alimentaires d'appoint destinées aux nourrissons du deuxième âge et aux enfants en bas âge. (CAC/GL 08-1991)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1991.
342. Commission du Codex Alimentarius. *Directives concernant l'étiquetage nutritionnel. CAC/GL 02-1985, (révisées en 1993)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1985.

343. Commission du Codex Alimentarius. *Directives pour l'emploi des allégations relatives à la nutrition et à la santé. CAC/GL23-1997 (révisées en 2004)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1997.
344. Habicht JP, Victora CG, Vaughan JP. Evaluation designs for adequacy, plausibility and probability of public health programme performance and impact. *International Journal of Epidemiology*, 1999, 28:10–18.
345. Commission du Codex Alimentarius. *Codex Alimentarius. Vol. 13 – Méthodes d'analyse et d'échantillonnage*. 2<sup>e</sup> éd. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1994.
346. Nestel P, Nalubola R, Mayfield E, eds. *Quality assurance as applied to micronutrient fortification: guidelines for technicians, supervisors and workers, concerned with nutrition*. Washington, DC, International Life Sciences Institute Press, 2002.
347. Pandav CS et al. Validation of spot-testing kits to determine iodine content in salt. *Bulletin of the World Health Organization*, 2000, 78:975–980.
348. Sullivan KM, May S, Maberly G. *Urinary iodine assessment: a manual on survey and laboratory methods*. Atlanta, GA, Program Against Micronutrient Malnutrition, 2000 (2nd ed.).
349. Sullivan KM et al., eds. *Monitoring universal salt iodization programs*. Atlanta, GA, Program Against Micronutrient Malnutrition, 1995.
350. Valadez JJ. *Assessing child survival programs in developing countries: testing lot quality assurance sampling*. Boston, MA, Harvard University Press, 1991.
351. Binkin N et al. Rapid nutrition surveys – how many clusters are enough? *Disasters*, 1992, 16:97–103.
352. Valadez JJ et al. Using lot quality assurance sampling to assess measurements for growth monitoring in a developing country's primary health care system. *International Journal of Epidemiology*, 1996, 25:381–387.
353. Valadez JJ et al. *A trainers guide for baseline surveys and regular monitoring: using LQAS for assessing field programs in community health in developing countries*. Washington, DC, NGO Networks for Health, 2001.
354. World Bank. *World Development Report 1993: Investing in health*. New York, Oxford University Press, 1993.
355. Murray CJL, Lopez AD, eds. *The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020*. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1996.
356. Nestel P, Nalubola R. *Manual for wheat flour fortification with iron. Part 1: Guidelines for the development, implementation, monitoring, and evaluation of a program for wheat flour fortification with iron*. Arlington, VA, Micronutrient Operational Strategies and Technologies, United States Agency for International Development, 2000.
357. Levin HM et al. Micronutrient deficiency disorders. In: Jamison DT et al., eds. *Disease control priorities in developing countries*. New York, Oxford University Press, 1993: 421–451.
358. Population Health and Nutrition Department. *Bangladesh: food and nutrition sector review mission: cost-effectiveness of food and nutrition intervention programs*. Washington, DC, World Bank, 1985 (No. 4974-BD).
359. Mason JB et al. *The Micronutrient Report. Current progress and trends in the control of vitamin A, iodine, and iron deficiencies*. Ottawa, Micronutrient Initiative, 2001.
360. Gillespie S. *Major issues in the control of iron deficiency*. Ottawa, The Micronutrient Initiative, 1998.
361. Horton S, Ross J. The economics of iron deficiency. *Food Policy*, 2003, 28:51–75.

362. Ross JS. *Relative risk of child mortality due to vitamin A deficiency. PROFILES 3 Working Series No. 2.* Washington, DC, Academy for Education Development, 1995 (PROFILES 3 Working Series, No.2).
363. Clugston GA et al. Iodine deficiency disorders in South East Asia. In: Hetzel BS, Dunn JT, Stanbury JB, eds. *The prevention and control of iodine deficiency disorders.* Amsterdam, Elsevier, 1987: 273–308.
364. Stoltzfus RJ, Mullany L, Black RE. Iron deficiency anaemia. *Comparative quantification of health risks: the global and regional burden of disease due to 25 selected major risk factors.* Cambridge, Harvard University Press (in press), 2004.
365. Ross J, Horton S. *Economic consequences of iron deficiency.* Ottawa, Micronutrient Initiative, 1998.
366. *Annuaire des statistiques du travail*, 55<sup>e</sup> édition. Genève, Organisation internationale du Travail, 1996.
367. Arkin E, Maibach E, Parvanta C. General public: communicating to persuade. In: Nelson DE et al., eds. *Communicating public health information effectively: a guide for practitioners.* Washington, DC, American Public Health Association, 2002: 59–72.
368. Cotento I. Nutrition education: definitions. *Journal of Nutrition Education*, 1995, 27:279.
369. Roper WL. Health communication takes on new dimensions at CDC. *Public Health Reports*, 1993, 108:179–183.
370. Lefebvre RC, Flora JA. Social marketing and public health intervention. *Health Education Quarterly*, 1988, 15:299–315.
371. Jernigan DH, Wright PA. Media advocacy: lessons from community experiences. *Journal of Public Health Policy*, 1996, 17:306–330.
372. Manoncourt E. Participation and social mobilization. *Promotion & Education*, 1996, 3:3–4, 44.
373. Rothschild ML. Carrots, sticks, and promises: A conceptual framework for the management of public health and social issue behaviors. *Journal of Marketing*, 1999, 63:24–37.
374. Parvanta C. Health and nutrition communication. *Public Health Reviews*, 2000, 28:197–208.
375. Brownson RC, Malone BR. Communicating public health information to policy makers. In: Nelson DE et al., eds. *Communicating public health effectively: a guide for practitioners.* Washington, DC, American Public Health Association, 2002: 97–114.
376. Smitasiri S et al. *Social marketing vitamin A-rich foods in Thailand.* Nakhon Pathom, Institute of Nutrition, Mahidol University, 1993.
377. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). *CDCynergy 2001. Micronutrients edition. Your guide to effective health communications.* Atlanta, GA, United States Department of Health and Human Services, 2001.
378. Alcalay R, Bell RA. *Promoting nutrition and physical activity through social marketing: current practices and recommendations.* Davis, CA, Center for Advanced Studies in Nutrition and Social Marketing, University of California, 2000.
379. Saadé C, Tucker H. *Beyond pharmacies: new perspectives in ORS marketing.* Arlington, VA, PRITECH Project, Management Sciences for Health, 1992.
380. Slater S, Saadé C. *Mobilizing the commercial sector for public health objectives: a practical guide.* Washington, DC, Basic Support for Institutionalizing Child Survival (BASICS), 1996.
381. *The results of the Uruguay Round of multilateral trade negotiations – the legal texts.* Genève, Organisation mondiale du Commerce, 1995.

382. Commission du Codex Alimentarius. *Manuel de procédure*, 12<sup>e</sup> édition. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2001.
383. Commission du Codex Alimentarius. *Norme générale pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées. CODEX STAN 1-1985 (révisée en 1985, 1991, 1999, 2001)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1985 (CODEX STAN 01-1985, amendée en 2001).
384. *Les accords de l'OMC et la santé publique : étude conjointe de l'OMS et du secrétariat de l'OMC*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2002.
385. Commission du Codex Alimentarius. *Principes généraux régissant l'adjonction d'éléments nutritifs aux aliments. CAC/GL 09-1987 (amendés en 1989, 1991)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1987.
386. *Régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques. Rapport d'une Consultation OMS/FAO d'experts*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2003 (OMS, Série de Rapports techniques, N° 916).
387. Institute of Medicine. *Food Chemicals Codex*. 5th ed. Washington, DC, National Academy Press, 2003.
388. British Pharmacopoeial Commission. *The British Pharmacopoeia 2003*. London, Her Majesty's Stationery Office, 2003.

# Pour en savoir plus

## **Partie I. Rôle de l'enrichissement des aliments dans la lutte contre la malnutrition par carence en micronutriments (Chapitres 1 et 2)**

Dexter PB. *Rice fortification for developing countries*. Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1998 (No. 15) (<http://www.mostproject.org/PDF/rice4.pdf>).

Lofti M et al. *Micronutrient fortification of foods: current practices, research and opportunities*. Ottawa, Micronutrient Initiative, International Agricultural Centre, 1996.

Micronutrient Initiative. *Food fortification to end micronutrient malnutrition: State of-the-Art Symposium Report, 2 August 1997, Montreal, Canada*. Ottawa, Micronutrient Initiative, International Agricultural Centre, 1998.

## **Partie II. Évaluation de l'importance de la malnutrition par carence en micronutriments sur le plan de la santé publique (Chapitres 3 et 4)**

Sommer A. *La carence en vitamine A et ses conséquences : guide pratique de dépistage et de la lutte*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 3<sup>e</sup> éd. 1995.

## **Partie III. Composés utilisés pour l'enrichissement des aliments : propriétés physiques, sélection et utilisation dans divers véhicules alimentaires (Chapitres 5 et 6)**

Arroyave G and Dary O. *Manual for Sugar Fortification with Vitamin A. Part 1: Technical and operational guidelines for preparing vitamin A premix and fortified sugar*. Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1996 (2nd) (<http://www.mostproject.org/PDF/1final.pdf>).

Hurrell RF, ed. *The mineral fortification of foods*. Leatherhead, Surrey, Leatherhead Publishings, 1999.

*Fortification basics: milk.* Arlington, VA, Micronutrient Operational Strategies and Technologies, The United States Agency for International Development Micronutrient Program, 1999 ([http://www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/Milk.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/Milk.pdf)).

*Fortification basics: maize flour/ meal.* Arlington, VA, Micronutrient Operational Strategies and Technologies, The United States Agency for International Development Micronutrient Program, 1999 ([http://www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/Maize\\_Corn.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/Maize_Corn.pdf)).

*Fortification Basics: instant noodles.* Arlington, VA, Micronutrient Operational Strategies and Technologies, The United States Agency for International Development Micronutrient Program, 1999 ([http://www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/noodles.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/noodles.pdf)).

Mora JO et al. *Vitamin A Sugar Fortification in Central America: Experience and Lessons Learned.* Arlington, VA, Micronutrient Operational Strategies and Technologies, The United States Agency for International Development Micronutrient Program, 2000 (<http://www.mostproject.org/PDF/sugarlessonsEnglish.pdf>).

Nalubola R and Nestel P. *Wheat flour fortification with vitamin A.* Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1998.

*Manual for Wheat Flour Fortification with Iron. Part 2: Technical and operational guidelines.* Arlington, VA, Micronutrient Operational Strategies and Technologies, The United States Agency for International Development Micronutrient Program, 2000 (<http://www.mostproject.org/PDF/2.pdf>).

*Fortification basics: Wheat flour.* Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1997 ([http://www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/Wheat.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/Wheat.pdf)).

*Fortification Basics: sugar.* Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1997 ([http://www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/Sugar.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/Sugar.pdf)).

*Fortification basics: Oils and margarine.* Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1997 ([http://www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/Oils.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/Oils.pdf)).

*Fortification Basics: choosing a vehicle.* Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1997 ([http://www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/Vehicles.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/Vehicles.pdf)).

*Fortification Basics: stability.* Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1998 ([http://www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/Stability.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/Stability.pdf)).

## **Partie IV. Mise en œuvre de programmes efficaces et durables d'enrichissement des aliments (Chapitres 7–11)**

### **Surveillance et évaluation (Chapitre 8)**

Dary O, Arroyave G. *Manual for Sugar Fortification with Vitamin A. Part 2: Guidelines for the development, implementation, monitoring and evaluation of a vitamin A sugar fortification program.* 2nd ed. Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1996 (<http://www.mostproject.org/PDF/2final.pdf>).

Dary O et al. *Manual for Sugar Fortification with Vitamin A. Part 3: Analytical methods for the control and evaluation of sugar fortification with vitamin A.* 2nd ed. Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1996 (<http://www.mostproject.org/PDF/3final.pdf>).

Nalubola R, Nestel P. *Manual for Wheat Flour Fortification with Iron. Part 3: Analytical methods for monitoring wheat flour fortification with iron.* Arlington, Virginia, Micronutrient Operational Strategies and Technologies, The United States Agency for International Development Micronutrient Program, 2000 (<http://www.mostproject.org/PDF/3.pdf>).

Nestel P, Nalubola R, Mayfield E. *Quality assurance as applied to micronutrient fortification.* Washington, DC, International Life Sciences Institute Press, 2002 (<http://www.ilsa.org/file/QAtext.pdf>).

*Fortification basics: principles of assay procedures.* Arlington, VA, Opportunities for Micronutrient Interventions, 1998 ([http://www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/Assay.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/Assay.pdf)).

### **Législation nationale sur les denrées alimentaires (Chapitre 11)**

Bauernfeind JC, Lachance PA. *Nutrient additions to food. Nutritional, technological and regulatory aspects.* Trumbull, CT, Food and Nutrition Press Inc., 1991.

Nathan R. *Regulation of fortified foods to address micronutrient malnutrition: legislation, regulations, and enforcement.* Ottawa, Micronutrient Initiative, 1999 (<http://www.micronutrient.org/idpas/pdf/315RegulationOfFortified.pdf>).



# **ANNEXES**

---



## ANNEXE A

# Indicateurs pour l'évaluation des progrès sur la voie de l'élimination durable des troubles dus à la carence en iode

La communauté internationale a approuvé l'objectif de l'élimination durable des troubles dus à la carence en iode en tant que problème de santé publique. Divers indicateurs ont été élaborés pour mesurer les progrès réalisés sur la voie de cet objectif (1). Il est commode de les regrouper en trois catégories : les indicateurs liés à l'iodation du sel, ceux qui reflètent le statut en iode de la population, et ceux qui donnent une mesure de la durabilité du programme d'iodation du sel. Des critères de réussite correspondant à chacune de ces catégories ont également été établis ; on peut les utiliser pour déterminer si l'élimination durable des troubles dus à la carence en iode a été réalisée (voir **Tableau A.1**).

TABLEAU A.1

### Indicateurs pour l'évaluation des progrès vers l'élimination durable de la carence en iode en tant que problème de santé publique

Indicateur	Critères de réussite/objectifs
<i>Iodation du sel</i>	
Proportion de ménages utilisant déjà un sel correctement iodé <sup>a</sup>	>90 %
<i>Iode urinaire<sup>b</sup></i>	
Proportion de la population ayant un taux d'iode urinaire inférieur à 100 µg/l	<50 %
Proportion de la population ayant un taux d'iode urinaire inférieur à 50 µg/l	<20 %
<i>Indicateurs programmatiques</i>	
Existence d'un organisme national multidisciplinaire efficace et fonctionnel relevant du gouvernement pour le programme national d'élimination des troubles dus à la carence en iode, avec un président nommé par le ministère de la santé.	Au moins 8 des 10 indicateurs programmatiques mentionnés ici doivent être présents
Preuves d'un engagement politique en faveur de l'iodation universelle du sel et de l'élimination des troubles dus à la carence en iode	
Nomination d'un directeur général en charge du programme d'élimination des troubles dus à la carence en iode.	
Législation ou réglementation sur l'iodation universelle du sel (dans l'idéal, la réglementation devrait s'appliquer à la fois au sel destiné à la consommation humaine et au sel utilisé dans l'agriculture).	

TABLEAU A.1 Suite

Indicateur	Critères de réussite/objectifs
Engagement vis-à-vis de l'évaluation et de la réévaluation des progrès réalisés sur la voie de l'élimination des troubles dus à la carence en iode, avec accès à des laboratoires capables de fournir des données exactes sur les taux d'iode urinaire et sur la teneur du sel en iode.	
Programme d'éducation du public et de mobilisation sociale sur l'importance des troubles dus à la carence en iode et de la consommation de sel iodé.	
Surveillance régulière de la teneur du sel en iode sur les sites de production, dans les commerces de détail et dans les ménages.	
Surveillance régulière des taux d'iode urinaire chez les enfants d'âge scolaire, avec échantillonnage approprié dans les régions à haut risque.	
Coopération de l'industrie du sel pour le maintien des contrôles de qualité.	
Système d'enregistrement des résultats des procédures de surveillance régulière, en particulier pour la teneur du sel en iode, les taux d'iode urinaire et, si possible, les taux de thyrostimuline chez le nouveau-né, avec notification obligatoire aux services publics compétents.	

<sup>a</sup> Un sel correctement iodé est un sel qui contient au moins 15 ppm d'iode. Les autres conditions pour l'utilisation du sel comme véhicule pour l'élimination des troubles dus à la carence en iode sont :

- Production locale et/ou importation de sel iodé en quantité suffisante pour satisfaire la demande potentielle pour l'usage humain (environ 4–5 kg par personne et par an).
- Sur le site de production (ou d'importation), 95 % du sel destiné à la consommation humaine doit être iodé conformément aux normes gouvernementales relatives à la teneur en iode.
- La teneur du sel en iode sur le site de production ou d'importation et au niveau des commerces de gros et de détail doit être déterminée par titrage ; au niveau des ménages, elle peut être déterminée par titrage ou au moyen de kits certifiés.

<sup>b</sup> Les données (nationales ou régionales) doivent avoir été collectées au cours des deux dernières années.

Source : d'après la référence 1.

## Référence bibliographique

1. *Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination. A guide for programme managers*. 2nd ed. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2001 (WHO/NHD/01.1).

## ANNEXE B

# Le réseau international de laboratoires pour l'iode

Le réseau international de laboratoires pour l'iode (IRLI), lancé en 2001, est parrainé par les Centers for Disease Control and Prevention (CDC), le Conseil international pour la lutte contre les troubles dus à la carence en iode (ICCIDD), l'Initiative pour les micronutriments (MI), le Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF) et l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Il a pour mission d'appuyer les activités de surveillance menées par les services nationaux de santé publique et par l'industrie qui contribuent à assurer les progrès vers l'iodation universelle du sel et l'élimination de la carence en iode<sup>1</sup>.

Le réseau mondial IRLI œuvre au renforcement de la capacité des laboratoires participants à mesurer avec précision l'iode urinaire et la teneur en iode du sel. Ses principales activités sont :

- 1) formation et transfert de technologie vers les laboratoires nationaux ;
- 2) constitution de réseaux régionaux pour l'iode ;
- 3) élaboration de normes techniques et de programmes d'assurance externe de la qualité et de tests de bon fonctionnement ;
- 4) collaboration avec l'industrie du sel, et avec d'autres secteurs le cas échéant ;
- 5) partage d'informations entre les réseaux régionaux et communication avec le comité de coordination de l'IRLI et autres parties intéressées ;
- 6) recherche des ressources nécessaires pour soutenir l'activité des réseaux régionaux.

En 2004, le réseau international de laboratoires pour l'iode s'étendait sur 12 pays et se composait des laboratoires suivants :

### *Afrique du Sud*

Nutritional Intervention Research Unit  
Medical Research Council  
PO Box 19070

---

<sup>1</sup> Pour plus d'informations sur le réseau IRLI, s'adresser par courriel à : [iodinelab@cdc.gov](mailto:iodinelab@cdc.gov).

Tygerberg 7505  
Cape Town  
Adresse électronique : [pieter.jooste@mrc.ac.za](mailto:pieter.jooste@mrc.ac.za)

### *Australie*

Institute of Clinical Pathology and Medical Research  
Westmead Hospital  
Darcy Road  
Westmead  
New South Wales 2145  
<http://www.wsahs.nsw.gov.au/icpmr>

### *Belgique*

Centre Hospitalier Universitaire Saint-Pierre  
322 Rue Haute  
1000 Bruxelles  
Adresse électronique : [Daniella\\_GNAT@stpierre-bru.be](mailto:Daniella_GNAT@stpierre-bru.be)

### *Bulgarie*

National Center of Hygiene, Medical Ecology and Nutrition  
15 Dimitar Nestorov Street  
Floor 6, Laboratory 5–6  
Sofia 1431  
<http://www.nchmen.government.bg>

### *Cameroun*

Faculté de Médecine et de Sciences biomédicales  
BP 1364  
Sciences – FMBS  
Yaoundé  
Adresse électronique : [WHO.YAO@camnet.cm](mailto:WHO.YAO@camnet.cm)

### *Chine*

National Reference Laboratory for Iodine Deficiency Disorders  
Disease Control Department  
Ministry of Health  
PO Box No. 5  
Changping  
Beijing 102206  
Adresse électronique : [nrl@cnidd.org](mailto:nrl@cnidd.org)

### *Guatemala*

Food Safety and Fortification Area  
Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)  
Calzada Roosevelt, Zona 11  
Apartado Postal 1188  
Guatemala City  
<http://www.incap.ops-oms.org>

### *Inde*

All India Institute of Medical Sciences  
Centre for Community Medicine  
Room 28  
New Delhi – 110 029  
Adresse électronique : [cpandav@now-india.net.in](mailto:cpandav@now-india.net.in)

### *Indonésie*

Laboratorium Biotehnologi Kedokteran/GAKY  
Diponegoro Medical Faculty  
Gedung Serba Guna Lantai 2  
Jalan Dr Sutomo No. 14  
Kedokteran  
Semarang  
Adresse électronique : [hertanto@indosat.net.id](mailto:hertanto@indosat.net.id)

### *Kazakhstan*

The Kazakh Nutrition Institute  
Khlochkov Str. 66  
Almaty 480008  
Adresse électronique : [nutrit@nursat.kz](mailto:nutrit@nursat.kz)

### *Pérou*

Unidad de Endocrinología y Metabolismo  
Instituto de Investigaciones de la Altura  
Universidad Peruana Cayetano Heredia  
Av. Honorio Delgado 430  
San Martín de Porres  
Lima 1  
Adresse électronique : [epretell@terra.com.pe](mailto:epretell@terra.com.pe)

*Russie*

Institute of Endocrinology

Dm Ulyanova, 11

Moscou

Adresse électronique : [iod@endocrincentr.ru](mailto:iod@endocrincentr.ru)

## ANNEXE C

# Facteurs de conversion pour le calcul des besoins moyens estimés (BME) à partir des apports nutritionnels recommandés (RNI) de la FAO/OMS

La méthode recommandée pour déterminer les quantités de micronutriments à ajouter aux denrées alimentaires est la méthode du seuil des besoins moyens estimés (1). Les besoins moyens estimés (BME) utilisés dans cette méthode peuvent être dérivés des apports nutritionnels recommandés (RNI) publiés, au moyen des facteurs de conversion donnés dans le tableau ci-dessous. Le BME s'obtient en divisant le RNI (ou une valeur nutritionnelle de référence équivalente) pour un sous-groupe de population par le facteur de conversion correspondant (**Tableau C.1**).

La conversion équivaut à soustraire 2 écarts types du besoin nutritionnel moyen pour le sous-groupe de population considéré. Les facteurs de conversion donnés ici sont basés sur les écarts types calculés par l'United States Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine (FNB/IOM), qui les utilise pour calculer ses recommandations nutritionnelles (RDA).

TABLEAU C.1

## Facteurs de conversion pour le calcul des besoins moyens estimés à partir des apports nutritionnels recommandés (RNI) de la FAO/OMS

Élément nutritif	Enfants			Hommes			Femmes					
	1-3 ans	4-6 ans	7-9 ans	10-18 ans	19-65 ans	>65 ans	10-18 ans	19-50 ans	51-65 ans	>65 ans	Enceintes	Allaitantes
Vitamine A	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Vitamine D <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vitamine E	1,25	1,25	1,25	1,25	1,3	1,3	1,25	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Vitamine C	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
Thiamine (vitamine B1)	1,25	1,25	1,25	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Riboflavine (vitamine B2)	1,25	1,25	1,25	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Niacine	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Vitamine B6	1,25	1,25	1,25	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Folates	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Vitamine B12	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Fer <sup>b</sup>	-	-	-	1,4	1,3	1,3	1,6	-	1,6	1,6	1,6	1,4
Zinc	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Calcium <sup>c</sup>	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Sélénium	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Iode	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Fluor <sup>d</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

<sup>a</sup> Ce tableau n'indique pas de facteurs de conversion pour la vitamine D et le fluor car les données sont insuffisantes pour pouvoir calculer un BME pour ces micronutriments. Les apports recommandés sont habituellement exprimés en apports adéquats (AI), ou représentés par les apports habituels chez les personnes en bonne santé.

<sup>b</sup> Ce tableau n'indique pas de facteurs de conversion pour les enfants jusqu'à 9 ans ni pour les femmes réglées de 19-50 ans ; les facteurs indiqués ne doivent pas être utilisés pour les femmes réglées de 14-18 ans du fait de la grande variabilité et de l'asymétrie de la distribution des besoins en fer dans ces groupes de population.

<sup>c</sup> Facteurs de conversion à appliquer aux besoins en calcium établis par l'United Kingdom Department of Health (Reference Nutrient Intakes), qui sont essentiellement les mêmes que les RNI de la FAO/OMS (2).

<sup>d</sup> Ce tableau n'indique pas de facteurs de conversion pour la vitamine D et le fluor car les données sont insuffisantes pour pouvoir calculer un BME pour ces micronutriments. Les apports recommandés sont habituellement exprimés en apports adéquats (AI), ou représentés par les apports habituels chez les personnes en bonne santé.

Source : référence 1.

## Références bibliographiques

1. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. *Dietary reference intakes: applications in dietary planning*. Washington, DC, National Academy Press, 2003.
2. Department of Health. *Dietary Reference Values of food energy and nutrients for the United Kingdom*. London, Her Majesty's Stationery Office, 1991.

# Exemple de procédure d'estimation des niveaux d'enrichissement réalisables dans le cadre d'un programme d'enrichissement universel de certains aliments en micronutriments

## 1. Introduction

L'enrichissement universel de certains aliments (*mass fortification*) désigne l'adjonction de micronutriments à des aliments de consommation courante comme les aliments de base, les condiments et plusieurs autres produits alimentaires. Cela peut être un moyen très efficace de fournir des micronutriments à une grande proportion de la population cible, pour diverses raisons. Tout d'abord, l'enrichissement universel ne nécessite pas de changement des habitudes alimentaires, et ensuite, les programmes peuvent s'appuyer sur les circuits de distribution existants. De plus, les aliments de base et les condiments tendent à être consommés tout au long de l'année, et lorsqu'ils sont enrichis à l'échelle industrielle, l'augmentation du coût du produit qui en résulte est en général relativement faible. En revanche, comme les aliments de ces catégories sont aussi consommés en grandes quantités par les groupes non visés par l'intervention, lorsqu'ils sont enrichis, certaines personnes peuvent se trouver exposées au risque d'augmenter leurs apports en éléments nutritifs jusqu'à atteindre ou dépasser l'apport maximal tolérable (UL). Cela peut poser un problème potentiel pour des micronutriments tels que la vitamine A, la vitamine D, la vitamine C, la niacine (lorsque l'acide nicotinique est utilisé pour l'enrichissement), l'acide folique, le fer, le zinc, le calcium, l'iode et le fluor.

En pratique, la quantité d'un micronutriment qui peut être ajoutée à un aliment dans le cadre de l'enrichissement est souvent dictée par des considérations d'innocuité pour les personnes qui sont au maximum de la consommation du véhicule alimentaire choisi. De plus, certains micronutriments, comme le  $\beta$ -carotène, la vitamine C, la riboflavine (vitamine B2), le fer, le zinc, le calcium et l'iode, ne peuvent être ajoutés que jusqu'à un certain seuil, au-delà duquel les propriétés organoleptiques du véhicule alimentaire seraient dégradées. Les niveaux d'enrichissement peuvent aussi être limités par le coût des micronutriments ajoutés; un coût élevé des composés utilisés pour l'enrichissement pourrait rendre le programme inabordable ou non réalisable comme prévu. La vitamine A

(sauf solution huileuse), la vitamine D, la vitamine C, la niacine et certains composés de fer et de calcium figurent parmi les micronutriments dont l'adjonction aux aliments risque le plus d'être limitée par des considérations de coût. Mais au total, les limites imposées aux quantités de micronutriments qui peuvent être ajoutées aux aliments doivent être pesées par rapport au désir d'atteindre un objectif nutritionnel donné.

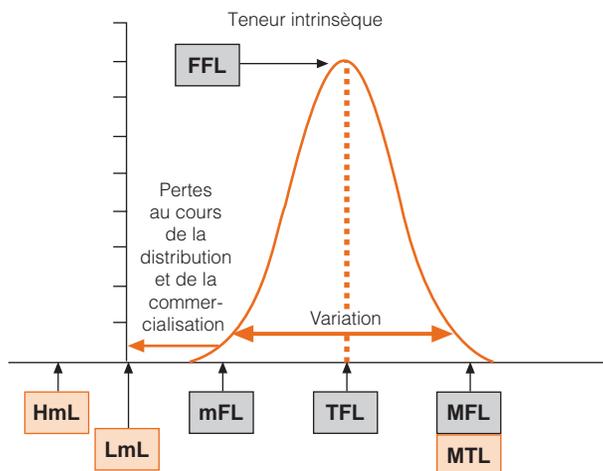
C'est pourquoi, lors de la planification d'un programme d'enrichissement universel de certains aliments ou, plus spécifiquement, du choix du niveau d'enrichissement, il est conseillé de déterminer dans un premier temps les contraintes probables relevant de l'innocuité, de la technologie ou des coûts qui pèseraient sur les quantités de micronutriment qui peuvent être ajoutées à un véhicule alimentaire donné. Une fois établie une valeur limitante pour chacun de ces facteurs, la plus faible d'entre elles devient ce qu'on appelle le *niveau d'enrichissement réalisable* (FFL). On trouvera dans la section 2 ci-dessous la description d'une méthode de détermination du FFL, illustrée par un exemple dans la section 3.

Le *niveau d'enrichissement réalisable* (FFL) est celui qui est défini, compte tenu des contraintes liées aux coûts et à la technologie, comme le niveau qui fournira au plus grand nombre d'individus à risque un apport adéquat en micronutriments sans entraîner un risque inacceptable d'apport excessif dans la population générale.

La notion de niveau d'enrichissement réalisable est utile en ce sens qu'elle peut être appliquée pour estimer l'apport supplémentaire qui résulterait de la consommation d'une quantité déterminée d'un aliment enrichi, pour choisir la formulation définitive d'un prémélange de micronutriments, et pour estimer le coût de l'enrichissement pour chaque micronutriment ajouté. Le FFL sert de base pour définir divers paramètres de production et de réglementation couramment associés à l'enrichissement des aliments. Les paramètres de production sont appliqués dans les entreprises de transformation des denrées alimentaires, et comprennent le *niveau d'enrichissement cible* (TFL), le *niveau maximal d'enrichissement* (MFL) et le *niveau minimal d'enrichissement* (mFL). Ce dernier est utilisé dans la réglementation des denrées alimentaires pour établir le *niveau minimal légal* (LmL). Un autre paramètre important utilisé dans la réglementation est le *niveau maximal tolérable* (MTL), qui est évoqué dans la législation sur les denrées alimentaires pour les éléments nutritifs dont les apports peuvent approcher la limite maximale (UL) du fait de l'enrichissement (voir section 2.4). La **Figure D.1** illustre la relation entre les paramètres de production et de réglementation définis ici.

FIGURE D.1

### Relation entre les divers paramètres de production et de réglementation associés à l'enrichissement universel de certains aliments



*FFL*: niveau d'enrichissement réalisable; *mFL*: niveau minimal d'enrichissement (paramètre de production); *TFL*: niveau d'enrichissement cible (paramètre de production); *MFL*: niveau maximal d'enrichissement (paramètre de production); *LmL*: niveau minimal légal (paramètre de réglementation); *MTL*: niveau maximal tolérable (paramètre de réglementation).

La figure montre également le niveau minimal dans les ménages (*HmL*), qui peut être inférieur au *LmL* compte tenu des pertes pendant le stockage à domicile (c'est-à-dire avant la consommation de l'aliment). Ce paramètre est parfois utilisé pour surveiller l'utilisation, la couverture et la consommation des aliments enrichis par les consommateurs.

Le niveau d'enrichissement cible (*TFL*) est la teneur moyenne en micronutriment d'un aliment enrichi mesurée sur le site de production. Les entreprises doivent chercher à obtenir des produits qui présentent ce niveau cible. Le *TFL* se calcule en additionnant la concentration intrinsèque (naturelle) de chaque micronutriment dans l'aliment non enrichi et le *FFL* (niveau d'enrichissement réalisable).

Le niveau minimal d'enrichissement (*mFL*) s'obtient en diminuant le *TFL* d'une quantité équivalente à deux coefficients de variation de la teneur en micronutriment d'un aliment enrichi mesurée sur le site de production. Ce niveau représente la limite inférieure de la teneur en micronutriment à obtenir par le processus d'enrichissement.

Le **niveau maximal d'enrichissement (MFL)** s'obtient en augmentant le TFL d'une quantité équivalente à deux coefficients de variation de la teneur en micronutriment d'un aliment enrichi mesurée sur le site de production. Ce niveau représente la limite supérieure de la teneur en micronutriment à obtenir par le processus d'enrichissement.

Le **niveau minimal légal (LmL)** est la teneur minimale en micronutriment d'un aliment enrichi définie dans les règlements et les normes ; c'est la quantité qui devra apparaître sur l'étiquette du produit enrichi. Le LmL s'obtient en diminuant le mFL d'une quantité équivalente à la perte moyenne de micronutriment au cours de la distribution et du stockage, pendant la durée de conservation déclarée pour le produit.

Le **niveau maximal tolérable (MTL)** est la teneur maximale en micronutriment qu'un aliment enrichi peut présenter, telle que définie dans la législation nationale ; le MTL a pour but de réduire au minimum le risque d'apport excessif en certains micronutriments. Le MTL doit coïncider avec le MFL pour les micronutriments comportant un risque d'apport excessif.

## **2. Choix des niveaux d'enrichissement en fonction des contraintes d'innocuité, de coût et de technologie**

### **2.1 Limites imposées à l'ajout de micronutriments**

#### **2.1.1 Limite de sécurité**

L'apport en micronutriments est fonction de la quantité d'aliments consommée et de la teneur de ces aliments en micronutriments. Comme les hommes adultes tendent à avoir la plus forte consommation d'aliments de base (et donc l'apport le plus élevé en micronutriments si ces aliments de base sont soumis à un enrichissement universel), ce groupe présente le risque le plus élevé d'apport excessif en micronutriments. Pour évaluer ce risque, il est nécessaire de déterminer le 95<sup>e</sup> centile de la consommation de l'aliment à enrichir, ainsi que l'apport habituel en micronutriments de toutes les autres sources alimentaires (y compris les suppléments s'ils apportent des micronutriments sous une forme qui pose des problèmes d'innocuité) chez les individus les plus exposés au risque – dans le cas présent, les hommes adultes.

D'après ces hypothèses, la limite de sécurité pour un ajout de micronutriment peut être calculée au moyen de la Formule 1. Il faut noter que si l'on envisage

d'enrichir plus d'un aliment, la limite de sécurité sera à répartir entre ces divers aliments. Si les véhicules alimentaires à enrichir sont interchangeables dans l'alimentation (par exemple, farine de blé et farine de maïs, céréales et pâtes), les apports habituels provenant de ces aliments peuvent être combinés pour donner une limite de sécurité commune et donc un niveau d'enrichissement réalisable commun.

#### *Formule 1*

$$\text{Limite de sécurité}^1 \text{ (mg/kg)} = \frac{[\text{UL (mg)} - \text{quantité de micronutriment venant de l'alimentation (mg) et de tous suppléments (mg)}]}{[95^{\text{e}} \text{ centile de la consommation (kg)}]}$$

#### *2.1.2 Limite technologique*

Un aliment ne peut être enrichi que jusqu'au point où l'enrichissement ne modifie pas ses propriétés organoleptiques (couleur, saveur, odeur) et physiques, mesurées juste après l'enrichissement et sur toute la durée de conservation de l'aliment. Ce niveau devra être déterminé de façon expérimentale à la fois pour l'aliment en question et pour les produits dans lesquels l'aliment enrichi est un ingrédient important. Dans l'idéal, une série de teneurs en micronutriments – et, si plusieurs micronutriments sont impliqués, de combinaisons de teneurs – devrait être testée par des personnes expérimentées dans l'analyse des qualités organoleptiques des aliments, pour déterminer quelle quantité de quel micronutriment est techniquement compatible avec un aliment donné. Chaque combinaison de micronutriment(s) et d'aliment vecteur devra avoir ses propres maxima technologiques. Les limites technologiques ne sont pas nécessairement fixes ; du fait de l'évolution des techniques (par exemple l'élaboration de nouveaux composés d'enrichissement posant moins de problèmes de couleur, d'odeur et de réactions avec le véhicule alimentaire), il se peut que le maximum technologique puisse être relevé à un moment ultérieur.

#### *2.1.3 Limite de coût*

Des trois limites, celle imposée par les coûts est en général la plus souple et la plus modifiable, car elle repose sur des jugements de valeur quant à ce qui constitue une augmentation de prix acceptable pour les produits alimentaires enrichis. La plupart des programmes d'enrichissement en cours travaillent avec des augmentations de prix de l'ordre de 0,25–2,0%.

<sup>1</sup> Un calcul plus précis pourrait tenir compte des pertes au cours de la distribution et du stockage, ainsi que des pertes au cours de la préparation de l'aliment. Cependant, comme les pertes varient très fortement selon les circonstances et comme il est souvent prévu de les compenser (par l'ajout d'un excédent de sécurité), cette approche simplifiée est en général acceptable.

Il est recommandé que les directeurs de programmes d'enrichissement s'entendent avec l'industrie dès les premiers stades de l'élaboration du programme sur ce qui serait une augmentation acceptable des coûts de production et du prix du produit, c'est-à-dire une augmentation qui permettrait à un programme d'enrichissement des aliments d'être à la fois réalisable et durable. Si plusieurs micronutriments doivent être ajoutés, leur coût global devra se situer dans les limites de cette augmentation prédéfinie.

Lorsque l'enrichissement des aliments est pratiqué industriellement sur une assez grande échelle, la part de loin la plus importante du coût supplémentaire dû à l'adjonction de micronutriments (90 % ou plus) peut être attribuée au coût du composé d'enrichissement lui-même. Lorsque c'est le cas, la limite de coût peut être calculée selon la Formule 2, dans laquelle on utilise le coût du composé comme substitut du coût de la totalité du programme d'enrichissement. Cette approximation ne s'applique pas à certains processus d'enrichissement du riz, qui utilisent des prémélanges de riz à faible taux de dilution (1:100 ou 1:200). Dans ce cas, le coût de fabrication du prémélange dépasse celui des composés d'enrichissement.

**Formule 2**

$$\text{Limite de coût}^1 \text{ (mg/kg)} = \frac{[\text{Prix de l'aliment (US\$ par kg)} \times \text{augmentation de prix (\%)} \times \text{proportion de micronutriment dans le composé d'enrichissement (\%)} \times 10^6]}{[\text{Prix du composé d'enrichissement (US\$ par kg)}]}$$

## 2.2 Estimation du niveau d'enrichissement réalisable (FFL)

Comme on l'a vu dans l'introduction, la plus basse des trois limites définies et calculées comme ci-dessus – limite de sécurité, limite technologique et limite de coût – devient le FFL, c'est-à-dire le niveau d'enrichissement réalisable. Chaque micronutriment possèdera son propre FFL dans un aliment vecteur déterminé.

Une fois le FFL défini, il est possible d'estimer pour chaque micronutriment l'apport additionnel qui serait fourni à la population cible ainsi que le coût probable du processus d'enrichissement (d'après le coût des composés utilisés), et la formulation finale du prémélange (en multipliant le FFL par le facteur de dilution).

<sup>1</sup> Un calcul plus précis pourrait tenir compte des pertes au cours de la distribution et du stockage, ainsi que des pertes au cours de la préparation de l'aliment. Cependant, comme les pertes varient très fortement selon les circonstances et comme il est souvent prévu de les compenser (par l'ajout d'un excédent de sécurité), cette approche simplifiée est en général acceptable.

### 2.3 Estimation des paramètres de production : niveau d'enrichissement cible (TFL), niveau minimal d'enrichissement (mFL) et niveau maximal d'enrichissement (MFL)

Le TFL est donné par la somme du FFL calculé et de la teneur intrinsèque (naturelle) en micronutriment de l'aliment non enrichi. La valeur du TFL devra être utilisée au niveau de la production comme teneur moyenne cible en micronutriments de l'aliment enrichi, et servira donc de valeur de référence pour les spécifications de contrôle de la qualité.

Le mFL est dérivé du TFL selon la Formule 3, c'est-à-dire que la valeur du TFL sera diminuée d'une quantité proportionnelle à deux fois le coefficient de variation (CV) de la teneur mesurée en micronutriment d'un aliment qui a été enrichi selon un certain procédé (lorsque ce procédé fonctionne correctement). La variabilité de la teneur en micronutriment d'un aliment enrichi dépend de la nature du véhicule alimentaire et de la quantité de micronutriment ajoutée. D'une façon générale, la variabilité inhérente au processus d'enrichissement est plus faible pour les liquides et plus forte pour les solides grossiers. Pour les liquides, le CV est classiquement de 10%; pour les solides de granulométrie fine, comme les farines de céréales, l'adjonction de niacine, de fer, de zinc et de calcium a un CV de 15%, qui atteint 25% pour la plupart des autres micronutriments. La variabilité pour les solides grossiers, comme le sucre et le sel non raffiné, est encore plus élevée, en général de 30–50%.

#### *Formule 3*

$$\text{mFL (mg/kg)} = \text{TFL} \times [1 - (2 \times \text{CV de la teneur en micronutriment pour le processus d'enrichissement (\%)})]$$

Le MFL se calcule de la même façon, la seule différence étant que le double du CV de la teneur en micronutriment pour le processus d'enrichissement lorsque celui-ci fonctionne correctement est *ajouté* au TFL (Formule 4):

#### *Formule 4*

$$\text{MFL (mg/kg)} = \text{TFL} \times [1 + (2 \times \text{CV de la teneur en micronutriment pour le processus d'enrichissement (\%)})]$$

### 2.4 Estimation des paramètres de réglementation : niveau minimal légal (LmL) et niveau maximal tolérable (MTL)

Que l'enrichissement universel de certains aliments soit obligatoire ou volontaire, du point de vue de la santé publique les niveaux d'enrichissement en micronutriments doivent être prescrits dans les normes et règlements nationaux. Ces règlements peuvent mentionner les paramètres technologiques décrits dans

la section 2.3, mais il est indispensable qu'ils spécifient les niveaux qui devront figurer sur les étiquettes des produits et être utilisés aux fins d'inspection et de contrôle de la mise en application, à savoir le niveau minimal légal (LmL) et le niveau maximal tolérable (MTL).

Le LmL se calcule en soustrayant du mFL les pertes de micronutriments prévues au cours de la distribution et du stockage des produits enrichis. Ce calcul est donné par la Formule 5 :

**Formule 5**

$$\text{LmL (mg/kg)} = [\text{mFL (mg/kg)} (1 - \text{proportion de pertes pendant le stockage et la distribution})]$$

Il peut être nécessaire de spécifier un délai après l'enrichissement, pendant lequel les allégations nutritionnelles devront être respectées. En général, la teneur en la plupart des minéraux, à l'exception de l'iode dans le sel non raffiné, doivent rester plus ou moins constantes, mais les teneurs en vitamines sont davantage susceptibles de se modifier au cours du temps, selon la nature du produit enrichi. Ces pertes dépassent toutefois rarement 50 %, même pour les éléments nutritifs les plus sensibles (comme la vitamine A et l'acide folique) pendant la durée de conservation du produit enrichi.

Le MTL est simplement l'expression sur le plan légal du MFL pour les éléments nutritifs qui risquent de poser des problèmes d'innocuité, par exemple la vitamine A, la vitamine D, l'acide folique, la niacine (sous forme d'acide nicotinique), le fer, le zinc, le calcium et l'iode. Pour les autres éléments nutritifs il n'est pas forcément nécessaire de spécifier ce paramètre dans la réglementation, ce qui permet d'alléger le système de mise en application requis.

### **3. Choix d'un niveau d'enrichissement basé sur le niveau d'enrichissement réalisable (FFL): exemple de calcul**

Le gouvernement d'un pays sait que la majeure partie de sa population a un régime alimentaire riche en céréales mais pauvre en aliments d'origine animale. La population générale se trouve exposée à un risque de carences en vitamine A, en riboflavine (vitamine B2), en folates, en vitamine B12, en fer et en zinc. Le gouvernement envisage de mettre en place un programme d'enrichissement universel de certains aliments pour combattre le risque de carences multiples en micronutriments et a demandé à cette fin à ses nutritionnistes de santé publique d'étudier la faisabilité de couvrir 70 % des besoins moyens estimés (BME) pour ces micronutriments au moyen d'aliments enrichis et de recommander des niveaux d'enrichissement appropriés pour atteindre cet objectif nutritionnel.

### 3.1 Choix des véhicules alimentaires appropriés et détermination de l'intérêt de l'enrichissement des aliments en termes de santé publique

Les données sur les quantités de quatre denrées alimentaires de base – sucre, huile, farine de blé et riz – consommées dans la population cible sont rassemblées dans le **Tableau D.1**.

Étant donné qu'ils sont consommés par au moins 50% de la population, le sucre, l'huile et la farine de blé ont été sélectionnés en tant que véhicules alimentaires les plus appropriés pour l'enrichissement universel. Bien que le riz soit également consommé en grandes quantités par la population, la plupart des approvisionnements viennent de petits producteurs locaux, ce qui rend l'enrichissement beaucoup plus difficile.

Même si un taux de couverture raisonnable peut être obtenu grâce à l'enrichissement des trois véhicules alimentaires cités, il reste une question préoccupante, à savoir que près de 30% de la population cible pourrait ne pas bénéficier du programme d'enrichissement prévu. Dans cette catégorie de population entrent les habitants des régions rurales qui risquent de n'avoir qu'un accès limité à des aliments enrichis produits industriellement. Comme il est techniquement possible d'ajouter de la vitamine A aux trois véhicules alimentaires retenus, la couverture sera probablement la plus élevée pour cette vitamine. Mais pour certains des autres éléments nutritifs envisagés, qui ne peuvent être facilement ajoutés qu'à un seul des aliments choisis (la farine de blé), la couverture sera probablement sensiblement plus faible. Il a été conclu qu'avec la couverture prévue, l'enrichissement en vitamine A des trois aliments de base serait valable, mais qu'il serait nécessaire de fournir des suppléments de micronutriments sous diverses formes (par exemple comprimés, poudres, boissons) pour assurer un apport adéquat en micronutriments dans la partie de la population non couverte par l'enrichissement universel (en particulier les habitants des zones rurales). Il a été recommandé que des suppléments soient distribués à la fois dans le

TABLEAU D.1

#### Profil de consommation de certaines denrées de base produites industriellement

Aliment	Consommateurs (% de la population)	Consommation <sup>a</sup> (g/jour)		
		5 <sup>o</sup> centile	50 <sup>o</sup> centile	95 <sup>o</sup> centile
Sucre	70	10	20	60
Huile	60	5	10	25
Farine de blé	50	100	200	600
Riz <sup>b</sup>	10	100	250	700

<sup>a</sup> Exprimée en centiles de la consommation.

<sup>b</sup> Concerne uniquement le riz produit dans de grandes entreprises industrielles.

TABLEAU D.2

**Composition recommandée des suppléments alimentaires utilisés en complément des aliments enrichis**

Micronutriment	Équivalent en dose journalière <sup>a</sup>
Vitamine A	300 µg
Vitamine B2 (riboflavine)	0,8 mg
Acide folique	200 µg <sup>b</sup>
Vitamine B12	1,4 µg <sup>c</sup>
Fer	10 mg
Zinc	4 mg

<sup>a</sup> Ces doses sont données sous forme d'équivalents en doses journalières de façon à pouvoir être utilisées pour exprimer soit une dose journalière soit une dose prise de manière discontinuée (par exemple une dose par semaine). Le but est de couvrir au moins 70 % du BME pour les adultes de sexe masculin, valeur utilisée comme moyenne de référence pour la famille.

<sup>b</sup> 200 µg d'acide folique correspondent à 340 µg d'équivalent folate alimentaire (DFE) ( $200 \times 1,7$ ), ce qui signifie qu'un supplément alimentaire contenant cette dose apporterait 106 % du BME pour cet élément nutritif particulier.

<sup>c</sup> Cette dose peut apporter jusqu'à 140 % du BME en vitamine B12 du fait de la biodisponibilité plus élevée de la forme de synthèse par rapport aux sources alimentaires naturelles.

commerce et par les programmes d'aide sociale, et qu'ils apportent l'équivalent de 70 % des BME pour les micronutriments concernés. La composition proposée des suppléments alimentaires (exprimée sous forme d'équivalent en dose journalière) est donnée dans le **Tableau D.2**.

### 3.2 Analyse des limites technologiques, de sécurité et de coût pour l'enrichissement en vitamine A

Le calcul d'une limite de sécurité pour l'enrichissement en vitamine A doit tenir compte du fait que ce micronutriment doit être ajouté à plus d'un aliment (dans le cas présent, trois aliments). Donc, comme première étape du calcul, il est nécessaire d'ajuster l'apport maximal tolérable (UL) qui sera utilisé pour l'estimation de la limite de sécurité pour chaque aliment, comme suit :

$$UL \text{ par aliment} = [UL - (\text{apport par les aliments et par des suppléments})]/3$$

L'apport de vitamine A (sous forme de rétinol) à partir de sources alimentaires dans la population cible a été estimé à environ 600 µg par jour. Cette valeur représente le niveau de consommation le plus élevé (c'est-à-dire le 95<sup>e</sup> centile des apports). La limite maximale (UL) pour la vitamine A étant de 3000 µg et

TABLEAU D.3

**Limites de sécurité pour la vitamine A**

Aliment	95° centile de la consommation (g/jour)	Limite de sécurité (mg/kg)
Sucre	60	12
Huile	25	28
Farine de blé	300	1,2

en supposant en outre un apport journalier de 300 µg sous forme de suppléments (voir **Tableau D.2**), on obtient :

$$UL \text{ par aliment} = [3000 - (600 + 300)]/3$$

soit

$$UL \text{ par aliment} = 700 \mu\text{g}$$

En utilisant la Formule 1, il est alors possible de calculer une limite de sécurité pour chaque aliment. Les résultats sont donnés dans le **Tableau D.3**.

Il se pose alors la question de savoir s'il est ou non techniquement réalisable d'ajouter ces niveaux de vitamine A dans les véhicules alimentaires choisis. Selon l'avis des spécialistes de technologie alimentaire du pays, ce l'est, et il a par conséquent été conclu qu'il serait peu probable, dans ce scénario, que l'enrichissement en vitamine A soit limité par des considérations technologiques.

Les spécialistes ayant souligné le fait que des augmentations de prix dues à l'enrichissement, qui dépasseraient 2% pour le sucre et l'huile et 0,3% pour la farine de blé, pourraient se heurter à une opposition de la part de l'industrie agroalimentaire, il a été jugé utile de calculer l'augmentation de prix qui résulterait de l'enrichissement des trois produits aux limites de sécurité pour l'adjonction de vitamine A. Le **Tableau D.4** montre les résultats de ces calculs.

D'après ces résultats, il apparaît clairement que l'adjonction de vitamine A au sucre à un taux de 12 mg/kg est peu compatible en ce qui concerne le coût. En revanche, sur les trois véhicules alimentaires retenus, c'est le sucre qui présente le meilleur taux de pénétration (voir **Tableau D.1**). En fin de compte, il a été décidé de réaliser l'enrichissement du sucre, bien que son coût relativement élevé puisse rendre plus difficile la mise en œuvre de cette intervention.

### 3.2.1 *Évaluation des conséquences nutritionnelles de l'enrichissement en vitamine A au niveau d'enrichissement réalisable*

Le **Tableau D.5** présente les apports additionnels probables en vitamine A dus à l'enrichissement des aliments aux limites de sécurité calculées ci-dessus, pour

TABLEAU D.4

**Analyse du coût de l'enrichissement en vitamine A aux limites de sécurité pour le sucre, l'huile et la farine de blé**

Aliment	Quantité de vitamine A ajoutée (mg/kg)	Analyse de coût		
		Coût de l'enrichissement (US\$ par tonne)	Prix du produit (US\$/kg)	Augmentation de prix (%)
Sucre	12	11,00	0,50	2,0
Huile	28	6,00	0,70	0,9
Farine de blé	1,2	0,67	0,45	0,15

TABLEAU D.5

**Apport additionnel de vitamine A pour divers niveaux de consommation d'aliments enrichis**

Aliment	Quantité de vitamine A ajoutée (mg/kg)	Apport supplémentaire (en % du BME <sup>a</sup> )		
		5° centile	50° centile	95° centile
Sucre	12	28	56	168
Huile	28	33	65	163
Farine de blé	1,2	28	56	168
TOTAL		89	177	499

BME: besoin moyen estimé.

<sup>a</sup> BME en vitamine A pour l'adulte de sexe masculin (429 µg/jour). Cette valeur est utilisée pour représenter l'apport « moyen » dans la famille.

le 5°, le 50° et le 95° centiles de la consommation de chaque aliment. Dans chaque cas, l'apport additionnel est exprimé en pourcentage du BME, qui est de 429 µg par jour pour l'adulte de sexe masculin.

D'après les chiffres donnés dans le **Tableau D.5**, une stratégie reposant sur trois aliments fournirait un apport additionnel compris entre 28%<sup>1</sup> et 499% du BME pour les hommes adultes (c'est-à-dire les valeurs extrêmes obtenues avec cette stratégie). Ce résultat justifie la décision de procéder à l'enrichissement du sucre en vitamine A (malgré le coût), car sans cela le programme aurait peu de chances d'atteindre son objectif nutritionnel, à savoir assurer la couverture de 70% des besoins moyens estimés pour la plupart des membres de la population.

L'analyse ci-dessus démontre également les avantages de l'enrichissement de trois véhicules alimentaires par des taux plus faibles de vitamine A plutôt que d'un seul par des taux plus élevés. Cette dernière approche entraînerait non seulement une augmentation de coût inacceptable, mais aussi le risque que les

<sup>1</sup> Cette valeur correspond à l'apport additionnel en vitamine A au 5° centile de la consommation de sucre enrichi, l'aliment dont la consommation est la plus répandue (70% de la population).

TABLEAU D.6

**Paramètres de production pour l'enrichissement en vitamine A**

Aliment	FFL (mg/kg)	Teneur intrinsèque en vitamine A (mg/kg)	TFL <sup>a</sup> (mg/kg)	CV <sup>b</sup> (%)	mFL <sup>c</sup> (mg/kg)	MFL <sup>d</sup> (mg/kg)
Sucre	12	0,0	12	33	4	20
Huile	28	0,0	28	10	22	34
Farine de blé	1,2	0,0	1,2	25	0,6	1,8

FFL : niveau d'enrichissement réalisable; TFL : niveau d'enrichissement cible; CV : coefficient de variation; mFL : niveau minimal d'enrichissement; MFL : niveau maximal d'enrichissement.

<sup>a</sup> Le niveau d'enrichissement cible s'obtient en additionnant la teneur intrinsèque du véhicule alimentaire en vitamine A et le FFL.

<sup>b</sup> Le coefficient de variation (CV) est une mesure de la reproductibilité du processus d'enrichissement.

<sup>c</sup> Calculé au moyen de la Formule 3.

<sup>d</sup> Calculé au moyen de la Formule 4.

personnes se trouvant dans les niveaux élevés de consommation du véhicule alimentaire unique atteignent l'apport maximal tolérable (UL) sans que soient sensiblement améliorés les apports chez les personnes consommant peu de cet aliment. De plus, le taux de couverture de l'intervention serait limité aux consommateurs du véhicule alimentaire unique choisi.

Compte tenu de toutes ces considérations, il a été décidé de prendre les niveaux d'enrichissement réalisables (FFL) comme limites de sécurité pour l'enrichissement en vitamine A, c'est-à-dire 12 mg/kg pour le sucre, 28 mg/kg pour l'huile et 1,2 mg/kg pour la farine de blé.

### 3.2.2 Détermination des paramètres de production

Une fois choisis les niveaux d'enrichissement réalisables (FFL), il faut maintenant déterminer les paramètres de production pour les ajouts de vitamine A au niveau de l'entreprise en utilisant les définitions et les formules données dans la section 2.3. Ces paramètres sont indiqués dans le **Tableau D.6**.

### 3.2.3 Détermination des paramètres de réglementation

Les paramètres de réglementation pour la vitamine A, c'est-à-dire le niveau minimal légal (LmL) et le niveau maximal tolérable (MTL), sont indiqués dans le **Tableau D.7**. Ils constitueront la base des déclarations figurant sur l'étiquette et des activités de contrôle par les services gouvernementaux. Dans le cas de l'enrichissement en vitamine A, il est nécessaire de définir un niveau maximal tolérable (MTL) car il faut s'assurer de l'absence de risque d'apport excessif en vitamine A chez certains membres de la population (ceux qui se trouvent aux niveaux élevés de consommation des aliments choisis pour l'enrichissement).

TABLEAU D.7

**Paramètres de réglementation pour l'enrichissement en vitamine A**

Aliment	FFL (mg/kg)	Pertes pendant la distribution et le stockage (%)	LmL <sup>a</sup> (mg/kg)	MTL <sup>b</sup> (mg/kg)
Sucre	12	30	3	20
Huile	28	30	15	34
Farine de blé	1,2	25	0,5	1,8

FFL: niveau d'enrichissement réalisable; LmL: niveau minimal légal; MTL: niveau maximal tolérable.

<sup>a</sup> Calculé au moyen de la Formule 5.

<sup>b</sup> Dans ce cas, identique au niveau maximal d'enrichissement (MFL) donné dans le Tableau D.6.

### 3.3 Analyse des limites technologiques, de sécurité et de coût pour l'enrichissement de la farine de blé

Après avoir évalué la faisabilité des ajouts de vitamine A, on peut suivre la même procédure pour étudier la question de l'incorporation d'acide folique, de vitamine B12, de riboflavine (vitamine B2), de fer et de zinc à la farine de blé. Le **Tableau D.8** récapitule les aspects principaux de cette analyse, qui révèle que l'ajout d'acide folique est limité par des questions de sécurité, celui de vitamine B12 par des questions de coût et celui de vitamine B2, de fer et de zinc par le risque de modifications des propriétés physiques et organoleptiques de la farine.

#### 3.3.1 Évaluation des conséquences nutritionnelles de l'enrichissement de la farine de blé et ajustement des niveaux d'enrichissement réalisables

Les conséquences nutritionnelles de l'enrichissement de la farine de blé aux niveaux d'enrichissement réalisables (FFL) calculés dans le **Tableau D.8** (c'est-à-dire déterminés par les contraintes technologiques, de sécurité et de coût) sont présentées dans le **Tableau D.9**. Elles sont exprimées par les apports additionnels qui résulteraient de la consommation de farine de blé enrichie selon trois niveaux de consommation correspondant au 5<sup>e</sup> centile (100 g par jour), au 50<sup>e</sup> centile (200 g par jour) et au 95<sup>e</sup> centile (600 g par jour). Les apports sont donnés en valeur absolue et en pourcentage du BME pour les hommes adultes. Il faut noter ici la forte consommation de farine; si ce type d'alimentation est courant dans les pays du Moyen-Orient et d'Asie centrale, il ne s'applique pas nécessairement à d'autres pays dans le monde. Chaque région ou pays devra donc procéder à ses propres calculs en tenant compte de sa situation afin de choisir le niveau d'enrichissement le plus approprié.

Les calculs montrent que l'adjonction d'acide folique à la farine de blé permettrait d'atteindre l'objectif de la couverture de 70 % du BME chez la quasi-totalité des consommateurs de farine de blé (soit 50 % de la population). Pour la vitamine B12 la situation est également favorable, et même très favorable.

TABLEAU D.8  
**Limites technologiques, de sécurité et de coût pour l'enrichissement de la farine de blé<sup>a</sup>**

Élément nutritif	Composé d'enrichissement	Coût du composé d'enrichissement (US\$/kg)	Proportion d'élément nutritif dans le composé d'enrichissement	UL (mg/jour) <sup>b</sup>	Apports par l'alimentation et les suppléments (mg/jour) <sup>c</sup>	Limites (mg/kg)		
						Sécurité <sup>d</sup>	Technologiques <sup>e</sup>	Coût <sup>f</sup>
Folates	Acide folique	90,00	0,90	1	0,2	SO	SO	13,5
Vitamine B12	Vitamine B12 soluble dans l'eau, 0,1 %	38,00	0,001	SO	SO	SO	SO	000,040
Vitamine B2	Riboflavine	38,00	1,00	SO	SO	SO	4,5	36
Fer	Sulfate ferreux anhydre	2,52	0,32	45	10	58	30	171
Zinc	Oxyde de zinc	3,35	0,80	45	4	68	40	322

UL: apport maximal tolérable; FFL: niveau d'enrichissement réalisable; SO: sans objet.

<sup>a</sup> En supposant que la consommation de farine de blé par habitant est de 100–600 g par jour et que le prix de la farine est de US\$0,45 par kg. Ce niveau de consommation élevé est classique dans les pays du Moyen-Orient et d'Asie centrale. Les autres pays devront calculer leurs valeurs de sécurité en fonction de leurs propres chiffres de consommation.

<sup>b</sup> Valeurs pour l'adulte de sexe masculin; ce groupe est considéré comme le plus exposé au risque d'atteindre l'apport maximal tolérable par la consommation de farine enrichie.

<sup>c</sup> Les apports ne sont spécifiés que pour les micronutriments susceptibles de poser des problèmes d'innocuité (et dont la principale source est, dans ce cas, la prise de suppléments alimentaires).

<sup>d</sup> Calculé au moyen de la Formule 1.

<sup>e</sup> La compatibilité technologique est déterminée expérimentalement pour confirmer l'absence de modifications indésirables dans le véhicule alimentaire du fait de l'adjonction des micronutriments.

<sup>f</sup> Calculé au moyen de la Formule 2. Il a été spécifié à l'avance que chaque micronutriment ne devrait pas faire augmenter le prix de la farine de plus de 0,3%.

<sup>g</sup> Le niveau d'enrichissement réalisable (FFL) correspond à la plus basse des trois limites.

TABLEAU D.9

**Répercussions nutritionnelles de l'enrichissement de la farine de blé<sup>a</sup>**

Élément nutritif	Composé d'enrichissement	FFL (mg/kg)	BME <sup>b</sup> (mg/jour)	Apport additionnel en valeur absolue (mg/jour)			Apport additionnel (en % du BME)		
				5 <sup>e</sup> centile	50 <sup>e</sup> centile	95 <sup>e</sup> centile	5 <sup>e</sup> centile	50 <sup>e</sup> centile	95 <sup>e</sup> centile
Folates <sup>c</sup>	Acide folique	1,3	0,32	0,130	0,260	0,780	69	138	414
Vitamine B12 <sup>d</sup>	Vitamine B12 soluble dans l'eau, 0,1 %	0,040	0,002	0,0040	0,0080	0,0240	400	800	2400
	Vitamine B12 soluble dans l'eau, 0,1 %	0,010 <sup>e</sup>	00,002	0,001	0,002	0,006	100	200	600
Vitamine B2	Riboflavine	4,5	1,1	0,45	0,9	2,7	41	82	245
Fer <sup>f</sup>	Sulfate ferreux anhydre	30	10	3	6	18	28	56	167
Zinc	Oxyde de zinc	40	5,8	4	8	24	69	138	414
	Oxyde de zinc	20 <sup>g</sup>	5,8	2	4	8	34	69	207

FFL : niveau d'enrichissement réalisable ; BME : besoin moyen estimé.

<sup>a</sup> En supposant que la consommation de farine de blé par habitant est de 100 g/jour au 5<sup>e</sup> centile, 200 g/jour au 50<sup>e</sup> centile et 600 g/jour au 95<sup>e</sup> centile. BME pour l'adulte de sexe masculin. Ces valeurs sont utilisées pour représenter les apports « moyens » dans la famille.

<sup>c</sup> Le calcul de l'apport additionnel en pourcentage du BME tient compte de la plus grande biodisponibilité de l'acide folique par rapport aux folates alimentaires (1 µg d'acide folique = 1,7 équivalent folate alimentaire (DFE) soit 1,7 µg de folates alimentaires).

<sup>d</sup> Le calcul de l'apport additionnel en pourcentage du BME tient compte de la plus grande biodisponibilité de la vitamine B12 de synthèse par rapport aux sources alimentaires de cette vitamine (% du BME multiplié par 2).

<sup>e</sup> Le FFL a été revu à la baisse car la valeur originale apportait beaucoup plus qu'il n'était nécessaire pour atteindre l'objectif nutritionnel, à savoir un apport additionnel de 70 % du BME.

<sup>f</sup> Si la consommation moyenne de farine de blé est inférieure à 150 g/jour, on peut utiliser le fumarate ferreux à la place du sulfate ferreux pour atteindre l'objectif nutritionnel, à savoir un apport additionnel d'environ 50 % du BME. Il importe toutefois de noter que cette option multiplie par quatre le coût de l'enrichissement en fer.

<sup>g</sup> Le FFL a été revu à la baisse car il était important de maintenir l'équilibre nutritionnel du régime alimentaire.

La quantité ajoutée pourrait être abaissée à 0,010 mg/kg (au lieu de 0,040 mg/kg), ce qui aiderait à réduire le coût du programme tout en répondant encore à l'objectif nutritionnel (c'est-à-dire un apport additionnel de 100% des besoins biologiques (BME) en cet élément nutritif pour la quasi-totalité des consommateurs de farine de blé).

En revanche, l'adjonction de vitamine B2 à un taux de 4,5 mg/kg ne suffit pas à couvrir les besoins nutritionnels, et d'autres sources de cette vitamine (par exemple des suppléments alimentaires) devraient être fournies à la population cible. Il en est de même pour le fer, et dans le cas des femmes en âge de procréer le déficit sera probablement encore plus prononcé car leurs besoins en fer sont supérieurs à ceux qui ont été utilisés dans le présent calcul.

Bien que l'enrichissement en zinc à raison de 40 mg/kg permette théoriquement de couvrir les BME, il a été jugé prudent d'abaisser ce taux à 20 mg/kg pour éviter d'éventuels problèmes avec l'absorption du fer (l'adjonction de zinc à un taux élevé pourrait inhiber l'absorption du fer). Un équilibre serait ainsi maintenu avec l'apport additionnel en fer. À l'avenir, toutes les interventions devraient combiner les ajouts de zinc et de fer de façon à compléter au mieux l'impact de l'enrichissement de la farine de blé.

### 3.3.2 Détermination des paramètres de production et de réglementation

En s'appuyant sur les niveaux d'enrichissement réalisables (FFL) légèrement modifiés, on calcule les paramètres de production et de réglementation pour l'enrichissement de la farine de blé en acide folique, en vitamines B2 et B12, en fer et en zinc de la même manière que pour la vitamine A (voir sections 3.2.2 et 3.2.3). Les résultats de ces calculs sont donnés dans le **Tableau D.10**. Pour être complet, le Tableau D.10 donne également les paramètres correspondants pour la vitamine A calculés plus haut (**Tableaux D.6 et D.7**).

### 3.4 Conclusions et recommandations

L'analyse ci-dessus montre que l'enrichissement de la farine de blé aux niveaux proposés (les niveaux d'enrichissement (FFL) « admis ») fournirait des quantités appropriées de micronutriments essentiels à la majeure partie des consommateurs. De plus, le coût de l'adjonction de vitamine A, de vitamine B2 (riboflavine), d'acide folique, de vitamine B12, de fer et de zinc se situerait dans des limites acceptables.

Étant donné que le processus de mouture élimine plusieurs des vitamines du groupe B qui sont nécessaires à la transformation métabolique des amidons et des protéines, et que les coûts associés à l'adjonction de ces vitamines sont relativement bas, il a été décidé d'inclure certaines de ces vitamines dans le prémélange de micronutriments. Le **Tableau D.11** montre la formulation finale de la farine de blé enrichie, avec une estimation des coûts associés.

TABLEAU D.10  
**Paramètres de production et de réglementation pour l'enrichissement de la farine de blé**

Élément nutritif	Composé d'enrichissement	FFL admis <sup>a</sup> (mg/kg)	Teneur intrinsèque (mg/kg)	CV <sup>b</sup> (%)	Paramètres de production			Paramètres de réglementation	
					MFL <sup>c</sup> (mg/kg)	TFL <sup>d</sup> (mg/kg)	mFL <sup>e</sup> (mg/kg)	LmL <sup>f</sup> (mg/kg)	MTL <sup>g</sup> (mg/kg)
Folates	Acide folique	1,3	0,2	25	0,8	1,5	2,3	0,6	2,3
Vitamine B12	Vitamine B12 soluble dans l'eau, 0,1 %	0,010	0,000	25	0,005	0,010	0,015	0,005	SO
Vitamine B2	Riboflavine	4,5	0,5	25	2,5	5,0	7,5	2,3	SO
Fer	Sulfate ferreux anhydre	30	10	15	28	40	52	28	52
Zinc	Oxyde de zinc	20	10	15	21	30	39	21	39
Vitamine A	250-SD	1,2	0	25	0,6	1,2	1,8	0,5	1,8

FFL : niveau d'enrichissement réalisable ; CV : coefficient de variation ; mFL : niveau minimal d'enrichissement ; TFL : niveau d'enrichissement cible ; MFL : niveau maximal d'enrichissement ; LmL : niveau minimal légal ; MTL : niveau maximal tolérable ; SO : sans objet.

<sup>a</sup> Niveau d'enrichissement finalement retenu, après avoir ajusté les FFL originaux pour certains micronutriments. La composition d'un prémélange à utiliser avec les farines de blé s'obtient en multipliant le FFL par le facteur de dilution.

<sup>b</sup> Le coefficient de variation (CV) est une mesure de la reproductibilité du processus d'enrichissement.

<sup>c</sup> Calculé au moyen de la Formule 3.

<sup>d</sup> Le niveau d'enrichissement cible s'obtient en additionnant la teneur intrinsèque en micronutriments de la farine de blé non enrichie et le FFL. Les fabricants doivent chercher à produire des denrées alimentaires qui, en moyenne, contiennent cette quantité de micronutriments.

<sup>e</sup> Calculé au moyen de la Formule 4.

<sup>f</sup> Calculé au moyen de la Formule 5.

<sup>g</sup> Ne s'applique qu'aux micronutriments posant des problèmes d'innocuité ; dans ce cas, équivalent au MFL.

TABLEAU D.11

**Formulation finale pour l'enrichissement de la farine de blé raffiné et estimations des coûts associés pour un pays hypothétique<sup>a</sup>**

Élément nutritif	Composé d'enrichissement	FFL admis (mg/kg)	Paramètres de réglementation		Estimation du coût de l'enrichissement	
			LmL <sup>b</sup>	MTL <sup>c</sup>	US\$ par tonne	% du coût total
Folates	Acide folique	1,3	0,6	2,3	0,13	5,6
Vitamine B12	Vitamine B12 soluble dans l'eau, 0,1 %	0,010	0,005	SO	0,38	16,2
Vitamine B2	Riboflavine	4,5	2,3	SO	0,17	7,3
Fer	Sulfate ferreux anhydre	30	28	52	0,24	10,1
Zinc	Oxyde de zinc	20	21	39	0,08	3,6
Vitamine A	250-SD	1,2	0,5	1,8	0,67	28,7
Vitamine B1	Mononitrate de thiamine	6	2,8	SO	0,18	7,6
Vitamine B6	Pyridoxine	5	2,4	SO	0,17	7,3
Niacine	Niacinamide	50	40	SO	0,45	13,6
<b>Total</b>					<b>2,34</b>	<b>100,0</b>
<b>Augmentation de prix due à l'enrichissement en micronutriments (%)</b>						<b>0,5</b>

FFL : niveau d'enrichissement réalisable ; LmL : niveau minimal légal ; MTL : niveau maximal tolérable ; SO : sans objet.

<sup>a</sup> En supposant une consommation moyenne de farine de blé par habitant de 200 g/jour (le 95<sup>e</sup> centile de la distribution de la consommation est à 600 g/jour), et que le prix de la farine est de US\$ 0,45 par kg. Ce niveau de consommation élevé est classique dans les pays du Moyen-Orient et d'Asie centrale. Les autres pays devront calculer leurs formulations en fonction de leurs propres chiffres de consommation.

<sup>b</sup> Le niveau minimal légal (LmL) est la teneur en composé d'enrichissement qui doit figurer sur l'étiquette et qui doit être respectée. Il inclut la teneur intrinsèque en micronutriment de la farine de blé non enrichie.

<sup>c</sup> Le niveau maximal tolérable est spécifié pour les micronutriments risquant de poser des problèmes d'innocuité ; dans la législation alimentaire, il est destiné à assurer que, dans leur quasi-totalité, les consommateurs de farine de blé n'atteindront pas l'apport maximal tolérable relatif aux micronutriments pour lesquels ce paramètre est spécifié.

TABLEAU D.12  
Estimation du coût global du programme d'enrichissement proposé et de l'investissement annuel nécessaire

Véhicule alimentaire	Consommateurs (% de la population)	Coût de l'enrichissement (US\$ par tonne)	Demande annuelle (tonnes)	Consommation par habitant <sup>b</sup> (kg/an)	Consommation par habitant <sup>c</sup> (g/jour)	Consommation par consommateur <sup>c</sup> (g/jour)	Coût total <sup>d</sup> (millions US\$ par an)	Investissement annuel par habitant <sup>e</sup> (US\$)	Investissement annuel par consommateur <sup>f</sup> (US\$)
Sucre	70	11,00	100000	10	27	39	1,10	0,110	0,157
Huile	60	6,00	30000	3	8	13	0,18	0,018	0,030
Farine de blé	50	2,34	500000	50	137	274	1,17	0,117	0,234
<b>Total</b>							<b>2,45</b>	<b>0,245</b>	<b>0,421</b>

<sup>a</sup> La consommation annuelle par habitant (en kg) s'obtient en divisant la demande annuelle par la population totale, qui pour cet exemple est supposée de 10 millions d'habitants (soit : demande annuelle (en tonnes) x 1000/10 000 000).

<sup>b</sup> La consommation quotidienne par habitant (en g) s'obtient en divisant la consommation annuelle par habitant par le nombre de jours dans l'année (soit : consommation annuelle par habitant (en kg) x 1000/365).

<sup>c</sup> La consommation quotidienne par consommateur s'obtient en divisant la consommation quotidienne par habitant (en g) par la proportion de la population qui consomme l'aliment. Dans l'idéal, la consommation quotidienne par consommateur calculée de cette façon devrait se situer entre le 50<sup>e</sup> et le 95<sup>e</sup> centiles de la consommation quotidienne déterminée par des enquêtes alimentaires.

<sup>d</sup> Le coût total annuel de l'enrichissement s'obtient en multipliant le coût de l'enrichissement par tonne (en US\$) par la demande annuelle totale (en tonnes).

<sup>e</sup> L'investissement annuel par habitant (en USD) s'obtient en divisant le coût annuel total (en US\$) par la population totale (dans cet exemple, 10 millions d'habitants).

<sup>f</sup> L'investissement annuel par consommateur (en USD) s'obtient en divisant l'investissement annuel par habitant (en US\$) par la proportion de la population qui consomme l'aliment.

Des estimations du coût global du programme d'enrichissement pour le pays, ainsi que l'investissement annuel nécessaire par personne et par consommateur, sont donnés dans le **Tableau D.12**. Ces chiffres indiquent que les bénéfices sur le plan de la santé qui peuvent être attendus de cette proposition d'enrichissement de certains produits alimentaires font de cet investissement une excellente option pour le pays.

# Système de contrôle de la qualité pour les huiles végétales enrichies : l'exemple du Maroc

## 1. Contexte

En 2002, le Ministère marocain de la Santé a lancé un programme d'enrichissement des huiles végétales en vitamines A et D. Avant la mise en œuvre de ce programme, un Comité national pour la fortification des aliments avait été constitué sous l'égide du Ministère de la Santé pour servir de forum pour la supervision, le suivi et l'évaluation du programme marocain d'enrichissement de l'huile. Le Comité se composait de représentants de l'industrie agroalimentaire, de chercheurs universitaires, de membres des services gouvernementaux des normes et inspections techniques, et de représentants de chacune des organisations parrainantes.

La première tâche du Comité a été de conduire une étude de faisabilité de l'enrichissement de l'huile de soja. L'un des objectifs de cette étude était de déterminer un niveau approprié d'enrichissement, en sachant que l'ajout d'excédents de sécurité serait nécessaire pour compenser les pertes de vitamine A et D3 pendant le stockage et la préparation culinaire (cuisson et friture). Les taux d'enrichissement en vitamines A et D3 ont été fixés respectivement à 30 UI/g et 3,0 UI/g, avec des tolérances de 70–150 % de ces valeurs au stade de la distribution du produit enrichi. Il a aussi été établi que les huiles végétales enrichies devraient être commercialisées en récipients opaques.

## 2. Élaboration du système de contrôle et d'assurance de la qualité

Après avoir achevé son étude de faisabilité, le Comité a examiné et approuvé les procédures de contrôle et d'assurance de la qualité proposées pour le programme d'enrichissement de l'huile. Ces procédures, basées sur les bonnes pratiques de fabrication (BPF), ont été élaborées sous la forme d'un manuel technique. Celui-ci donne des instructions complètes sur toute une série d'activités de surveillance, d'inspection et d'audit mais insiste surtout sur le contrôle de la qualité, qu'il considère comme un élément clé du programme d'enrichissement. Comme mesure destinée à encourager l'adhésion des producteurs, les huiles enrichies produites conformément aux procédures prescrites de contrôle interne de la qualité sont identifiées par un logo du Ministère de la Santé.

## 2.1 Système d'analyse des risques – points critiques pour leur maîtrise (HACCP)

L'approche HACCP (analyse des risques – points critiques pour leur maîtrise) a été utilisée comme base du système élaboré pour la surveillance de la qualité des huiles enrichies («fortifiées») produites au Maroc. L'intérêt de cette approche en ce qui concerne l'assurance de la sécurité des denrées alimentaires transformées est attesté par la Commission du Codex Alimentarius et par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). L'approche HACCP peut aussi être appliquée à la gestion de la qualité des produits alimentaires car elle concerne les processus de fabrication; c'est pourquoi elle est complémentaire des autres systèmes de contrôle de la qualité comme le système ISO 9001:2000.<sup>1</sup>

L'analyse HACCP est un outil utilisé pour identifier des dangers spécifiques (biologiques, chimiques ou physiques) et des mesures préventives pour l'élimination ou la maîtrise de ces dangers. Dans le cas des huiles végétales enrichies, il est peu probable que des dangers de nature biologique soient à craindre, essentiellement du fait de l'absence d'eau dans ces produits. Les dangers potentiels seraient plus probablement de nature chimique, par exemple une contamination par des hydrocarbures polycycliques aromatiques ou par des produits migrant à partir des matériaux d'emballage. Des dangers qui menaceraient la qualité peuvent provenir de problèmes avec l'huile végétale raffinée utilisée comme véhicule d'enrichissement (par exemple taux élevé de peroxydation, défaut dans les caractéristiques de sapidité) ou avec les composés utilisés pour l'enrichissement (formation de grumeaux, couleur, odeur).

Les sept principes du système HACCP, tels qu'adoptés par le Codex (1), définissent un cadre pour l'élaboration d'un système basé sur cette approche et spécifique d'une combinaison entre un produit alimentaire et une chaîne de production. Un tel système identifie les dangers à une série de points critiques pour la maîtrise (CCP) puis, pour chaque CCP, identifie des limites critiques et des mesures appropriées de surveillance et de maîtrise. Le système est géré par une revue et une analyse quotidiennes des données pour chaque CCP.

Il est en général recommandé qu'un système HACCP fasse l'objet d'une évaluation périodique par un auditeur externe. De plus, le système devra être révisé chaque fois qu'une modification est apportée au processus de production, par exemple à la suite de plaintes de consommateurs ou d'enquêtes auprès de consommateurs signalant un défaut du produit.

---

<sup>1</sup> La norme ISO 9001:2000 est une norme de l'Organisation internationale de normalisation pour la certification des systèmes de management de la qualité dans l'industrie agroalimentaire. Elle suppose l'application de systèmes qualité efficaces pour assurer la conformité aux exigences statutaires et réglementaires applicables aux produits, et l'existence de revues de direction, d'objectifs qualité et de management des processus axés sur une amélioration continue.

## 2.2 Points critiques pour la maîtrise des risques dans la production des huiles végétales enrichies

L'application de la méthodologie HACCP à la production d'huiles enrichies au Maroc a identifié les points critiques pour la maîtrise énumérés ci-dessous ; dans chaque cas, les mesures préventives appropriées sont décrites :

### 1. Réception des huiles végétales raffinées (le véhicule alimentaire)

*Mesure préventive.* Chaque lot doit être testé par des méthodes approuvées pour confirmer la conformité aux normes marocaines.

### 2. Qualité du prémélange utilisé pour l'enrichissement (« prémix »)

*Mesure préventive.* Un certificat d'assurance de la qualité doit être obtenu du fournisseur du prémélange, et des analyses périodiques doivent être faites pour vérifier la teneur en vitamines et les propriétés organoleptiques du prémélange (par exemple couleur, texture, odeur).

### 3. Stockage du prémélange

*Mesure préventive.* Le prémélange doit être périodiquement retesté pour vérifier sa teneur en vitamines afin d'assurer qu'il continue à satisfaire aux concentrations requises jusqu'à la fin de sa durée de conservation.

### 4. Ajout du prémélange

*Mesure préventive.* L'utilisation du prémélange devra être évaluée, c'est-à-dire que la quantité de prémélange utilisée devra être comparée avec la quantité d'huile végétale enrichie produite (ce qui est la méthode la plus simple). Sinon, on peut étalonner la pompe doseuse une fois par semaine et enregistrer son exactitude en fonctionnement.

## 2.3 Systèmes de contrôle de la qualité et de rétro-information pour la mise en œuvre de mesures correctrices

Les procédures de contrôle de la qualité et les mécanismes de rétro-information ci-dessous ont été établis dans le cadre du système de surveillance du contrôle de la qualité élaboré pour le processus d'enrichissement de l'huile :

### 1. Échantillonnage du produit et fréquence des contrôles

*Procédure.* Trois à cinq échantillons d'huile végétale enrichie (prélevés après emballage du produit) devront être pris chaque jour sur chaque chaîne de production et les teneurs en vitamines A et D3 mesurées. Les teneurs devront se situer dans l'intervalle 95–150% de la teneur déclarée. On préparera chaque jour un « échantillon composite » à partir de chaque chaîne de production et on le conservera dans un récipient opaque et étanche à l'air

jusqu'à un maximum de 3 mois. Ces échantillons composites pourront faire l'objet de tests de teneur en vitamines par des inspecteurs des services gouvernementaux. Quatre échantillons par mois seront analysés par un laboratoire externe, et les résultats obtenus seront utilisés pour vérifier la qualité du processus.

## 2. Étiquetage des huiles végétales enrichies

*Procédure.* Les huiles végétales enrichies doivent être identifiées par une étiquette qui doit spécifier, au minimum, la marque du produit, le numéro de lot, l'adresse de l'entité responsable, la date de fabrication et la durée de conservation, ainsi que les teneurs déclarées en vitamines A et D3. Les huiles végétales enrichies doivent être désignées par le nom usuel du produit suivi des mots « enrichi(e) en vitamines A et D3 » ou « fortifié(e) en vitamines A et D3 ». Toute mention sur l'étiquette d'une nature thérapeutique du produit n'est pas autorisée, mais des allégations nutritionnelles fonctionnelles concernant les vitamines A et D3 sont permises.

## 3. Distribution des huiles végétales enrichies

*Procédure.* On demandera aux producteurs de tenir des registres détaillés des quantités d'huiles enrichies qu'ils distribuent aux grossistes et aux détaillants, afin de faciliter la surveillance du taux de rotation des huiles enrichies et l'assurance des teneurs déclarées en vitamines A et D3. Tous les trois mois, on prélèvera environ 10 échantillons dans des commerces de détail et dans des ménages pour les tester. En cas d'écart par rapport aux tolérances admises pour les teneurs en vitamines A et D3 (-30% à + 50%), un audit technique interne sera réalisé pour en déterminer la ou les causes.

## 4. Documentation

*Procédure.* Tous les résultats des activités d'assurance de la qualité devront être enregistrés et tenus à la disposition des inspecteurs des services gouvernementaux sur demande. Une procédure de rappel devra être établie pour les cas d'huiles végétales surdosées (contenant des quantités élevées de vitamines A et D3) qui pourraient constituer un risque pour la santé du consommateur.

## 5. Inspection et audits techniques

*Procédure.* L'audit technique, plus que de simples tests pratiqués sur des échantillons, forme la base des activités d'inspection. Au niveau de l'entreprise de production, les activités d'inspection par les services gouvernementaux doivent se concentrer sur les procédures de contrôle interne de la qualité et d'assurance de la qualité adoptées par les producteurs d'huiles végétales enrichies. Il faut être particulièrement vigilant quant aux mesures correctrices

prises par les producteurs pour résoudre tous empêchements ou erreurs. On sera attentif à l'équipement de production, aux conditions de stockage et d'ajout du prémélange, à l'analyse et à l'étiquetage des huiles végétales enrichies, et aux conditions de stockage du produit. Des avertissements seront adressés aux fabricants en cas de négligence et d'écart par rapport aux procédures établies. Si le fabricant ne prend aucune mesure correctrice pour assurer la conformité aux spécifications, il sera procédé à un audit technique externe.

Lors de chaque visite, trois à cinq échantillons du produit emballé devront être prélevés et envoyés au Laboratoire officiel d'analyses et de recherches chimiques (LOARC) de Casablanca pour analyse. Les teneurs en vitamines A et D3 devront se situer entre 95 % et 150 % des teneurs déclarées.

Au niveau du grossiste et du détaillant, les activités d'inspection portent principalement sur l'étiquetage, sur la rotation des huiles enrichies selon le principe du premier entré-premier sorti (FIFO), et sur les conditions de stockage et de manutention de ces produits.

#### 6. Activités de formation

*Procédure.* Des stages de formation d'une journée devront être programmés pour les directeurs de la production d'huiles enrichies et pour les inspecteurs des services gouvernementaux. Les domaines suivants devront être abordés pendant ces stages : techniques de raffinage des huiles végétales ; méthodes d'analyse des vitamines A et D3 ; techniques d'échantillonnage des huiles végétales ; facteurs affectant la stabilité des vitamines A et D3 dans les huiles végétales ; principes de l'approche HACCP et son application aux huiles végétales enrichies.

### Référence bibliographique

1. Commission du Codex Alimentarius. *Système d'analyse des risques – points critiques pour leur maîtrise (HACCP) et directives concernant son application. Hygiène alimentaire. Textes de base – 2<sup>e</sup> éd.* Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 1997 : Annexe.

# Le Codex Alimentarius et les accords de l'Organisation mondiale du Commerce

## 1. Le Codex Alimentarius

Le Codex Alimentarius, dont le nom signifie «code alimentaire» en latin, est un recueil complet de normes alimentaires et de textes apparentés (y compris de directives) adoptés au niveau international et présentés de manière uniforme, couramment désignés sous l'appellation de «textes Codex». Les textes Codex traitent d'une vaste gamme de questions générales qui s'appliquent à tous les aliments transformés, semi-transformés et non transformés livrés à la consommation, comme l'hygiène alimentaire, les additifs alimentaires, les résidus de pesticides, les contaminants, l'étiquetage et la présentation, ainsi que des méthodes d'analyse et d'échantillonnage. Les textes traitent aussi de diverses questions spécifiques aux produits individuels; par exemple, des normes, directives et textes apparentés relatifs aux produits ont été préparés pour des groupes de produits comme le lait, la viande, les céréales et les aliments diététiques ou de régime. L'intégralité du Codex Alimentarius est accessible sur le site Internet du Codex.<sup>1</sup>

La révision continue du Codex Alimentarius et son développement incombent à la Commission du Codex Alimentarius, créée au début de l'année 1963 en tant qu'organisme intergouvernemental par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Tous les États membres de la FAO et/ou de l'OMS peuvent être membres de la Commission.

Les textes Codex sont élaborés ou révisés par 29 organes subsidiaires comprenant des comités régionaux, de produit et généraux, tous de nature intergouvernementale et dont la plupart sont actuellement actifs. Les comités les plus pertinents en ce qui concerne l'enrichissement des aliments et les questions connexes sont le Comité du Codex sur la nutrition et les aliments diététiques ou de régime (CCNFSDU), dont le pays hôte est l'Allemagne, et le Comité du Codex sur l'étiquetage des denrées alimentaires (CCFL), dont le pays hôte est le Canada. Le CCNFSDU a pour mission de produire des lignes directrices sur des questions générales relatives à la nutrition, de rédiger des

---

<sup>1</sup> [www.codexalimentarius.net](http://www.codexalimentarius.net).

projets de dispositions générales concernant les aspects nutritionnels de tous les aliments, et d'élaborer des normes, directives et textes apparentés pour les aliments diététiques ou de régime (1). Le Comité du Codex sur l'étiquetage des denrées alimentaires est quant à lui chargé d'étudier les problèmes liés à l'étiquetage et à la publicité des denrées alimentaires, de rédiger des projets de dispositions sur l'étiquetage applicables à tous les aliments et d'approuver les projets de dispositions sur l'étiquetage préparés par d'autres comités du Codex.

### 1.1 Textes du Codex Alimentarius en rapport avec l'enrichissement des aliments

La partie du Codex Alimentarius qui présente le rapport le plus direct avec l'enrichissement des aliments s'intitule *Principes généraux régissant l'adjonction d'éléments nutritifs aux aliments* (CAC/GL 09-1987, amendés en 1989 et 1991) (2). Cette section, qui porte sur l'adjonction d'éléments nutritifs aux fins de restitution, d'équivalence nutritionnelle d'un aliment de remplacement ainsi que d'enrichissement, est destinée à fournir des éléments d'orientation aux gouvernements sur la planification et la mise en œuvre de programmes nationaux d'enrichissement des aliments.

Plus spécifiquement, les Principes généraux Codex régissant l'adjonction d'éléments nutritifs aux aliments, en :

- fournissant des éléments d'orientation aux personnes chargées d'élaborer des directives et des textes juridiques ayant trait à l'adjonction d'éléments nutritifs essentiels aux aliments ; et en
- établissant un ensemble uniforme de principes régissant l'adjonction rationnelle d'éléments nutritifs aux aliments ;

visent à :

- maintenir ou améliorer la qualité nutritionnelle globale des aliments ;
- éviter l'adjonction arbitraire d'éléments nutritifs essentiels aux aliments et, partant, réduire les risques qui découlent pour la santé de l'ingestion excessive desdits éléments, ou encore de carences ou d'apports déséquilibrés (et contribuer par là à empêcher des pratiques susceptibles d'induire le consommateur en erreur ou de le tromper) ;
- faciliter l'acceptation dans le commerce international d'aliments auxquels des éléments nutritifs essentiels ont été ajoutés.

Les Principes généraux stipulent que l'élément nutritif essentiel :

- devrait être présent à une concentration qui ne se traduira pas par une ingestion excessive ou insignifiante de l'élément ajouté, compte tenu des apports d'autres sources dans le régime alimentaire ;

- ne devrait pas avoir d'effet négatif sur le métabolisme de tout autre élément nutritif;
- devrait être suffisamment stable dans les conditions usuelles d'emballage, d'entreposage, de distribution et d'emploi de l'aliment;
- devrait être biologiquement assimilable à partir de l'aliment;
- ne devrait pas transmettre de caractéristiques indésirables à l'aliment et ne devrait pas indûment en réduire la durée de conservation; et que:
- le coût additionnel devrait être raisonnable pour le consommateur visé, et l'adjonction d'éléments nutritifs essentiels à l'aliment ne devrait pas être utilisée pour induire le consommateur en erreur ou pour le tromper sur la valeur nutritive de l'aliment;
- il devrait exister une technologie et des possibilités de traitement appropriées, ainsi que des méthodes permettant de mesurer et/ou de faire respecter les concentrations des éléments nutritifs ajoutés.

Plusieurs autres textes Codex fournissent des directives et des recommandations qui peuvent se rapporter aux aliments enrichis. Des conseils sur la qualité nutritionnelle des aliments diététiques ou de régime figurent dans *Codex Alimentarius, Volume 4 – Aliments diététiques ou de régime* (3). Des textes relatifs à l'étiquetage des aliments, à l'étiquetage nutritionnel et aux allégations, qui peuvent être utilisés par les gouvernements pour établir leur propre réglementation, figurent dans *Codex Alimentarius. Étiquetage des denrées alimentaires – Textes complets* (4).

## 1.2 Teneurs recommandées en éléments nutritifs dans les aliments diététiques ou de régime

Plusieurs normes Codex proposent des teneurs minimales et maximales en certains éléments nutritifs, en particulier des vitamines et des sels minéraux, pour divers aliments diététiques ou de régime, par exemple les aliments pour nourrissons et enfants en bas âge. Des teneurs minimales et maximales recommandées en vitamines et sels minéraux pour les préparations destinées aux nourrissons sont données dans la Norme Codex pour les préparations destinées aux nourrissons et les préparations données à des fins médicales spéciales aux nourrissons (CODEX STAN 72-1981, amendée en 1997) (5), et pour les préparations de suite dans la Norme Codex pour les préparations de suite (CODEX STAN 156-1987, amendée en 1989) (6). Plutôt que de prescrire des teneurs minimales et maximales en éléments nutritifs, la Norme Codex pour les aliments diversifiés de l'enfance («Baby foods») (CAC/STAN 73-1981, amendée en 1989) (7) préfère confier cette question à la réglementation nationale du pays dans lequel l'aliment est vendu.

Les Listes consultatives de sels minéraux et de composés vitaminiques utilisables dans les aliments pour nourrissons et enfants en bas âge (CAC/GL 10-1979, amendées en 1991) (8), émettent des recommandations sur la source de tous sels minéraux ajoutés, leurs spécifications de pureté et le type d'aliments dans lesquels ils peuvent être ajoutés. Dans le cas des vitamines, les diverses formes sont énumérées (avec leurs spécifications de pureté) ainsi que, le cas échéant, diverses préparations vitaminiques spécialement formulées.

Les Lignes directrices pour la mise au point des préparations alimentaires d'appoint destinées aux nourrissons du deuxième âge et aux enfants en bas âge (CAC/GL 08-1991) ne donnent pas seulement des recommandations sur des questions nutritionnelles mais portent également sur les aspects techniques de la production de ces préparations (9). Ces lignes directrices comportent une liste des apports quotidiens de référence pour les vitamines et sels minéraux «pour lesquels une carence est le plus fréquemment observée dans le régime alimentaire des nourrissons du deuxième âge et enfants en bas âge», ces éléments nutritifs étant ceux dont l'inclusion est à envisager en priorité dans la formulation des préparations alimentaires d'appoint. Cependant, au moment de déterminer quels éléments nutritifs ajouter, il faut tenir compte des conditions locales, notamment des éléments nutritifs apportés au régime alimentaire par les aliments de base de la région, et de l'état nutritionnel de la population visée. Les lignes directrices recommandent d'une façon générale que, lors de l'addition d'un ou plusieurs des éléments nutritifs mentionnés dans la liste (vitamines A, D, E ou C, thiamine (vitamine B1), riboflavine (vitamine B2), niacine, vitamine B6, acide folique, vitamine B12, calcium, fer, iode ou zinc), la quantité totale ajoutée par 100 g de produit (sur la base de la matière sèche) ne soit pas inférieure aux deux tiers de l'apport quotidien de référence pour l'élément nutritif considéré. (9)

Dans la Norme Codex pour les aliments transformés à base de céréales destinés aux nourrissons et enfants en bas âge (CODEX STAN 74-1981, amendée en 1991) (10), des teneurs maximales en sodium sont définies pour divers types de produits couverts par la norme. Il est également spécifié que toute adjonction de vitamines, de sels minéraux et de sel iodé doit se faire en conformité avec la législation du pays dans lequel le produit est vendu.

### 1.3 Étiquetage

Des normes générales pour l'étiquetage sont définies dans la Norme générale Codex pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées (CODEX STAN 01-1985, amendée en 2001) (11) et les Directives générales Codex concernant les allégations (CAC/GL 01-1979, révisées en 1991) (12). L'étiquetage nutritionnel est couvert par les Directives Codex concernant l'étiquetage nutritionnel (CAC/GL 02-1985, révisées en 1993) (13) et les allégations relatives à la nutrition par les Directives Codex pour l'emploi des allégations relatives à la nutrition et à la santé (CAC/GL 23-1997, amendées en 2001) (14).

Les Directives Codex sur l'étiquetage nutritionnel sont basées sur le principe selon lequel aucun aliment ne doit être décrit ou présenté de façon inexacte, trompeuse ou mensongère, et que toute allégation nutritionnelle s'appuie sur une déclaration de la teneur en éléments nutritifs (13). Une déclaration des éléments nutritifs, définie dans la section 2.3 des directives comme «un énoncé ou une liste normalisée des éléments nutritifs contenus dans un aliment» n'est obligatoire que lorsque l'aliment fait l'objet d'allégations nutritionnelles. Les Directives comportent des dispositions pour les déclarations des éléments nutritifs, leur calcul et la présentation des teneurs. Des valeurs nutritionnelles de référence (VNR) aux fins d'étiquetage sont définies pour 14 vitamines et minéraux ainsi que pour les protéines.

Les Directives Codex pour l'emploi des allégations relatives à la nutrition et à la santé (14) ont été élaborées en tant que supplément aux dispositions générales des Directives générales concernant les allégations (12) avec pour principal objectif de constituer une base pour l'harmonisation des allégations nutritionnelles. Celles-ci sont largement utilisées comme outil de promotion mais risquent de provoquer une confusion chez le consommateur. Les Directives Codex pour l'emploi des allégations relatives à la nutrition et à la santé précisent que les allégations relatives à la nutrition devraient être compatibles avec la politique nationale en matière de nutrition et corroborer cette politique. Seules les allégations corroborant la politique nationale en matière de nutrition devraient être permises.

Les textes Codex reconnaissent l'importance d'établir des liens entre les dispositions sur l'étiquetage nutritionnel et la politique nutritionnelle dans son ensemble. Ainsi, les textes Codex sur la nutrition et l'étiquetage, en fournissant des lignes directrices aux gouvernements, leur permettent d'élaborer des règlements et spécifications nationaux correspondant aux besoins particuliers de la population. Des conditions ont été définies pour les aliments qui constituent une «source de» ou ont une «teneur élevée en» vitamines, sels minéraux et protéines. Ces dispositions s'appliquent aux allégations concernant toutes les denrées alimentaires et non seulement les aliments enrichis. Lorsque de telles allégations sont faites, une déclaration des éléments nutritifs doit être fournie conformément aux dispositions des Directives concernant l'étiquetage nutritionnel (13) comme mentionné ci-dessus. Les conditions de l'utilisation des allégations relatives à la santé font actuellement l'objet d'un examen par la Commission.

## **2. Les accords de l'Organisation mondiale du Commerce**

L'Organisation mondiale du Commerce (OMC) est la seule organisation internationale qui s'occupe des règles régissant le commerce entre les pays. Sa principale fonction est de favoriser autant que possible la bonne marche,

la prévisibilité et la liberté des échanges (15). En février 2002, 144 pays, collectivement responsables de plus de 90 % des échanges commerciaux dans le monde, avaient négocié leur accession au statut de Membre de l'OMC (16). On trouvera de plus amples informations sur les travaux de l'OMC et sur les accords sur le site Internet de l'Organisation mondiale du Commerce.<sup>1</sup>

Les deux accords de l'OMC (17) les plus pertinents en ce qui concerne les denrées alimentaires sont l'Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires (Accord SPS) et l'Accord sur les obstacles techniques au commerce (Accord OTC). Selon ces deux accords, les pays peuvent adopter des dispositions qui limitent le commerce pour des raisons légitimes, qui peuvent inclure des considérations relatives à la santé, sous réserve que ces mesures ne créent pas d'obstacles non nécessaires au commerce. Toutefois, c'est le deuxième accord, l'Accord OTC, qui a en général les implications les plus importantes pour la réglementation de l'enrichissement des aliments, que celui-ci soit obligatoire ou volontaire, et c'est pourquoi il est examiné en détail ci-dessous.<sup>2</sup>

## 2.1 L'Accord sur les obstacles techniques au commerce: historique et dispositions générales

Dans les années 1970, les parties contractantes de l'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT) ont exprimé leur désaccord avec l'émergence de nouveaux obstacles non tarifaires au commerce. Un groupe de travail du GATT a en conséquence été établi pour évaluer l'impact de ces obstacles sur le commerce international, et a conclu que les principaux obstacles auxquels se heurtaient les exportateurs étaient en fait des obstacles techniques. Au cours des négociations du Tokyo Round du GATT qui s'est tenu en 1979, un projet d'Accord sur les obstacles techniques au commerce (aussi appelé Code de la normalisation) régissant l'élaboration, l'adoption et l'application de règlements techniques, de normes et de procédures d'évaluation de la conformité a été rédigé. La forme définitive de l'Accord OTC a été négociée lors du Cycle d'Uruguay en 1994 et l'Accord est entré en vigueur en 1995, année de la création de l'OMC.

L'Accord OTC est basé sur le principe de la reconnaissance des droits des Membres de l'OMC à élaborer des règlements techniques<sup>3</sup> et à faire en sorte qu'ils soient respectés (en utilisant des procédures d'évaluation de la conformité). Toutefois, l'objectif de l'Accord OTC est de faire en sorte qu'il ne soit pas créé

<sup>1</sup> [www.wto.org](http://www.wto.org).

<sup>2</sup> Cette partie des Directives a été rédigée par la Division du commerce et de l'environnement de l'OMC et n'engage que celle-ci.

<sup>3</sup> Dans le contexte des présentes Directives, le terme «règlement technique» s'applique aux spécifications de produit tant volontaires qu'obligatoires.

d'obstacles non nécessaires au commerce international. À cette fin, il existe plusieurs principes qui régissent l'élaboration, l'adoption et l'application de spécifications obligatoires ou volontaires et de procédures d'évaluation de la conformité. Ces principes sont :

- non-discrimination ;
- absence de création d'obstacles non nécessaires au commerce international ;
- harmonisation ;
- équivalence des règlements techniques et des résultats des procédures d'évaluation de la conformité ;
- reconnaissance mutuelle des procédures d'évaluation de la conformité ;
- transparence.

Au niveau international, l'Accord OTC joue un rôle important en empêchant l'utilisation impropre des règlements techniques et des procédures d'évaluation de la conformité, c'est-à-dire de manière à constituer une restriction déguisée au commerce international. Il veille également à éviter l'élaboration de règlements et de procédures inefficaces qui créeraient des obstacles évitables au commerce. Dans certains contextes, il peut agir comme mécanisme d'encouragement des pays à adopter, pour atteindre les objectifs fixés par leur réglementation, des approches moins restrictives pour le commerce.

## 2.2 Couverture de l'Accord OTC et définitions

L'Accord OTC divise les spécifications techniques en trois parties, à savoir les règlements techniques, les normes et les procédures d'évaluation de la conformité, qui sont définis comme suit :

- *Règlement technique* : « Document qui énonce les caractéristiques d'un produit ou les procédés et méthodes de production s'y rapportant, y compris les dispositions administratives qui s'y appliquent, dont le respect est obligatoire. Il peut aussi traiter en partie ou en totalité de terminologie, de symboles, de prescriptions en matière d'emballage, de marquage ou d'étiquetage, pour un produit, un procédé ou une méthode de production donnés. »
- *Norme* : « Document approuvé par un organisme reconnu, qui fournit, pour des usages communs et répétés, des règles, des lignes directrices ou des caractéristiques pour des produits ou des procédés et des méthodes de production connexes, dont le respect n'est pas obligatoire. Il peut aussi traiter en partie ou en totalité de terminologie, de symboles, de prescriptions en matière d'emballage, de marquage ou d'étiquetage, pour un produit, un procédé ou une méthode de production donnés. »

- *Procédures d'évaluation de la conformité*: «Toute procédure utilisée, directement ou indirectement, pour déterminer que les prescriptions pertinentes des règlements techniques ou des normes sont respectées.»

Même si les règlements techniques et les normes sont des spécifications techniques pour le produit, la principale différence entre eux réside dans le fait que le respect des règlements techniques est obligatoire tandis que le respect des normes est facultatif. Un texte de loi stipulant qu'un aliment donné doit contenir une quantité minimale d'un micronutriment (comme dans le cas de l'enrichissement obligatoire des aliments) constitue un exemple de règlement technique. Les dispositions relatives à l'enrichissement volontaire ou une autorisation d'étiquetage pour des allégations volontaires de teneur en micronutriments sont des exemples de normes.

L'Accord OTC contient des dispositions destinées à assurer que les règlements techniques ne constituent pas des obstacles non nécessaires au commerce. Ces dispositions s'appliquent aux règlements techniques élaborés par des institutions du gouvernement central ou des institutions publiques locales, ainsi qu'à ceux élaborés par des organismes non gouvernementaux. Les Membres de l'OMC sont chargés de faire en sorte que toutes les dispositions de l'Accord OTC en relation avec les règlements techniques soient respectées. Ils devront aussi formuler et mettre en œuvre des mesures et des mécanismes positifs visant à favoriser le respect des dispositions de l'Accord OTC par les institutions publiques locales et les organismes non gouvernementaux.

Les normes sont traitées séparément dans un «Code de pratique» qui figure dans l'Annexe 3 de l'Accord OTC. La plupart des principes qui s'appliquent aux règlements techniques s'appliquent également aux Normes selon le Code de pratique. Le Code est ouvert à l'acceptation de tout organisme à activité normative, qu'il s'agisse d'une institution du gouvernement central, d'une institution publique locale ou d'un organisme non gouvernemental. L'Accord OTC note toutefois que «Les obligations des Membres en ce qui concerne le respect par les institutions ou organismes à activité normative des dispositions du Code de pratique seront d'application, qu'une institution ou un organisme à activité normative ait ou non accepté le Code de pratique.»

Les procédures d'évaluation de la conformité sont soumises à la plupart des principes qui s'appliquent aux règlements techniques et aux normes, afin d'assurer qu'elles ne constituent pas elles-mêmes des obstacles non nécessaires au commerce international. Les Membres de l'OMC devront faire en sorte que toutes les dispositions relatives à l'évaluation de la conformité selon les termes de l'Accord soient respectées et devront formuler et mettre en œuvre des mesures et des mécanismes positifs visant à favoriser le respect des dispositions par les institutions publiques locales. Ils devront également faire en sorte que les institutions du gouvernement central puissent se fier aux procédures

d'évaluation de la conformité appliquées par des organismes non gouvernementaux, mais seulement si ces organismes respectent les dispositions pertinentes de l'Accord OTC.

### 2.3 Objectifs légitimes

Selon les termes de l'Accord OTC, des règlements techniques peuvent être élaborés pour réaliser un ou plusieurs des objectifs considérés comme légitimes par l'Accord. Les objectifs légitimes sont : «entre autres, la sécurité nationale, la prévention de pratiques de nature à induire en erreur, la protection de la santé ou de la sécurité des personnes, de la vie ou de la santé des animaux, la préservation des végétaux ou la protection de l'environnement.» Les mesures d'enrichissement des aliments entreraient probablement dans la catégorie de la protection de la santé des personnes. Cependant, la prévention des pratiques de nature à induire en erreur, qui se rapporte à des mesures destinées à induire en erreur ou à tromper les consommateurs (par exemple inscrire des informations nutritionnelles inexactes sur l'étiquette des produits alimentaires), peut également constituer un objectif légitime et les Membres de l'OMC devraient être autorisés à adopter des règlements techniques pour assurer la protection contre de telles pratiques.

Les risques associés aux objectifs légitimes sont évalués en prenant en considération divers facteurs dont, «entre autres, les données scientifiques et techniques disponibles, les techniques de transformation connexes ou les utilisations finales prévues pour les produits.» Ici encore, la mention «entre autres» indique qu'une certaine flexibilité est admise dans le choix des facteurs utilisés pour l'évaluation des risques.

### 2.4 Principes régissant l'élaboration, l'adoption et l'application des spécifications obligatoires et facultatives et des procédures d'évaluation de la conformité

#### 2.4.1 Non-discrimination

Le principe de non-discrimination est à la base du système de commerce international. L'Accord OTC reprend le principe du GATT concernant la non-discrimination, et l'applique aux règlements techniques, aux normes et aux procédures d'évaluation de la conformité. D'une façon générale, c'est le principe qui exclut toute discrimination entre produits de pays Membres de l'OMC, et entre produits importés et produits d'origine nationale.

En ce qui concerne les règlements techniques et les normes, l'Accord OTC stipule que le principe de non-discrimination doit être observé aux divers stades de leur élaboration, de leur adoption et de leur application. Par exemple, un Membre de l'OMC ne peut adopter un règlement technique exigeant que toutes les denrées alimentaires importées répondent à certaines normes concernant les

micronutriments s'il n'applique pas ces mêmes normes aux denrées alimentaires produites sur son propre territoire. Il ne peut pas non plus exiger l'application d'un règlement technique par un de ses partenaires commerciaux et non par un autre. En bref, selon les dispositions de l'Accord OTC et du système de l'OMC dans son ensemble, le traitement doit être non moins favorable.

Les Membres de l'OMC doivent aussi faire en sorte que les procédures d'évaluation de la conformité ne soient pas élaborées, adoptées ou appliquées d'une façon qui constituerait une discrimination. Pour réaliser la non-discrimination en ce qui concerne l'évaluation de la conformité, il faut, entre autres, garantir le droit du fournisseur à procéder sur son territoire aux mesures d'évaluation de la conformité et à recevoir la marque du système. Les systèmes d'évaluation de la conformité ne doivent pas faire de distinction entre les procédures à suivre pour des produits originaires de diverses sources. Par exemple, les systèmes ne peuvent soumettre des produits similaires à des tests plus ou moins rigoureux selon la source d'approvisionnement.

#### *2.4.2 Absence de création d'obstacles non nécessaires au commerce international*

Le principal objectif de l'Accord OTC est d'éviter la création d'obstacles non nécessaires au commerce international. En ce qui concerne les règlements techniques et les normes, l'Accord OTC stipule que les Membres de l'OMC doivent faire en sorte que l'élaboration, l'adoption ou l'application des règlements techniques et des normes n'aient ni pour objet ni pour effet de créer des obstacles non nécessaires au commerce international. En ce qui concerne les règlements techniques, l'Accord OTC précise le sens de cette phrase, en stipulant que les règlements techniques ne seront pas plus restrictifs pour le commerce qu'il n'est nécessaire pour réaliser un objectif légitime, compte tenu des risques que la non-réalisation entraînerait.

Pour déterminer si un règlement technique crée un obstacle non nécessaire au commerce international, il faut procéder en deux étapes. Premièrement, le règlement doit être élaboré de façon à réaliser l'un des objectifs légitimes spécifiés dans l'Accord OTC (voir section 2.3). Deuxièmement, le règlement doit constituer l'option la moins restrictive pour le commerce dont dispose le Membre de l'OMC pour réaliser cet objectif légitime, compte tenu des risques qui seraient associés à sa non-réalisation.

L'Accord OTC encourage les Membres de l'OMC à élaborer des règlements techniques et des normes qui soient basés sur des prescriptions relatives aux propriétés d'emploi du produit plutôt qu'à sa conception. Dans le premier cas, il est créé moins d'obstacles au commerce, les exportateurs ayant davantage de latitude pour réaliser les objectifs du règlement technique. Par exemple, il serait préférable pour un pays de stipuler la quantité minimale d'un micronutriment

qui doit se trouver dans un certain type d'aliment plutôt que de spécifier un processus d'adjonction dudit micronutriment.

Pour éviter de créer des obstacles non nécessaires au commerce international, l'Accord OTC exige des Membres de l'OMC la révocation des règlements techniques si les objectifs qui ont conduit à leur adoption ont cessé d'exister ou si les circonstances ou les objectifs ont changé de telle sorte qu'il est possible d'y répondre d'une manière moins restrictive pour le commerce.

Les Membres de l'OMC doivent aussi faire en sorte que l'élaboration, l'adoption ou l'application des procédures d'évaluation de la conformité aux règlements techniques et aux normes évitent de créer des obstacles non nécessaires au commerce international. L'accord OTC stipule que «les procédures d'évaluation de la conformité ne seront pas plus strictes ni appliquées de manière plus stricte qu'il n'est nécessaire pour donner au Membre importateur une assurance suffisante que les produits sont conformes aux règlements techniques ou normes applicables, compte tenu des risques que la non-conformité entraînerait.» En d'autres termes, les procédures d'évaluation de la conformité ne doivent pas être appliquées de manière plus stricte qu'il n'est nécessaire pour assurer la conformité. Elles devront examiner les risques que comporterait une application moins stricte et déterminer si les risques l'emportent ou non sur les avantages d'un nombre réduit d'obstacles au commerce international.

L'Accord OTC prie aussi les Membres de faire en sorte que les procédures d'évaluation de la conformité soient engagées aussi vite que possible, que les demandes de renseignements soient limitées à ce qui est nécessaire, que le caractère confidentiel des renseignements soit respecté de manière à ce que les intérêts commerciaux légitimes soient protégés, et enfin que les redevances imposées pour l'évaluation de la conformité de produits d'origine nationale soient équitables par rapport à celles imposées pour les produits d'origine étrangère.

### 2.4.3 Harmonisation

L'Accord OTC encourage les Membres de l'OMC à utiliser, pour l'élaboration de leurs règlements techniques, normes et procédures d'évaluation de la conformité, des normes, directives et recommandations internationales lorsqu'elles existent ou sont sur le point d'être mises en forme finale, sauf lorsqu'elles seraient inappropriées ou inefficaces. Par exemple, il permet des dérogations aux normes et règlements techniques en raison de facteurs climatiques ou géographiques, ou de problèmes technologiques fondamentaux. Bien que non expressément mentionné dans l'Accord OTC, le Codex Alimentarius est largement interprété comme étant le texte de référence pour l'élaboration de règlements sur les denrées alimentaires.

Cet appel à l'harmonisation est destiné à éviter une multiplication des règlements techniques et des procédures d'évaluation et à encourager l'application plus étendue de ceux déjà élaborés et approuvés par la communauté internationale. Afin de favoriser cette entreprise, l'Accord OTC prie les Membres de l'OMC de participer aux travaux des organismes internationaux à activité normative en rapport avec les procédures d'évaluation de la conformité.

#### *2.4.4 Équivalence et reconnaissance mutuelle*

L'harmonisation internationale est un processus long et parfois difficile à mener à bien. Le principe de l'équivalence est donc destiné à compléter celui de l'harmonisation et l'Accord OTC encourage les Membres de l'OMC à accepter les règlements de chacun des autres Membres comme équivalents jusqu'à ce que l'harmonisation internationale devienne possible. Plus spécifiquement, l'Accord OTC stipule que les Membres de l'OMC envisagent de manière positive d'accepter comme équivalents les règlements des autres Membres, même si ces règlements diffèrent des leurs, à condition d'avoir la certitude que ces règlements remplissent de manière adéquate les objectifs de leurs propres règlements. Grâce à l'établissement d'accords d'équivalence entre pays, des produits qui satisfont aux règlements du pays exportateur ne doivent pas nécessairement satisfaire aux règlements du pays importateur, pour autant que les deux réglementations remplissent les mêmes objectifs. Cette approche réduit sensiblement les obstacles au commerce.

L'Accord OTC prie également les Membres de l'OMC de faire en sorte, chaque fois que cela sera possible, d'accepter les résultats des procédures d'évaluation de la conformité obtenus par d'autres Membres, même lorsque ces procédures diffèrent des leurs, sous réserve qu'elles permettent une confiance équivalente dans les résultats. Cette disposition a pour but d'éviter les essais multiples sur les produits (sur les marchés du pays exportateur et ceux du pays importateur) et les coûts qui leur sont associés. L'Accord reconnaît toutefois que pour parvenir à cette acceptation, des négociations peuvent être nécessaires, principalement en vue d'assurer la fiabilité continue des résultats de l'évaluation de la conformité (à cet égard, l'accréditation des organismes d'évaluation de la conformité est un facteur qui peut être pris en considération). L'Accord OTC encourage ces types d'accords de reconnaissance mutuelle entre Membres de l'OMC.

#### *2.4.5 Transparence*

La transparence est un aspect central de l'Accord OTC, et est obtenue par une obligation de notification, l'établissement de points d'information, et la création d'un Comité OMC des obstacles techniques au commerce.

L'obligation de notification impose aux Membres de l'OMC de notifier leurs projets de règlements techniques, de normes et de procédures d'évaluation de la conformité et de laisser aux autres Membres un délai suffisant pour leur permettre de présenter leurs observations. Les Membres sont tenus de tenir compte des observations formulées par les autres pays.<sup>1</sup> Les notifications constituent un moyen utile de diffuser l'information et peuvent souvent aider à éviter à un stade précoce la création d'obstacles non nécessaires au commerce international. Le système de notification a pour avantage de donner aux exportateurs la possibilité d'être informés des nouveaux règlements avant leur entrée en vigueur, de formuler des observations sur ces règlements (en sachant que ces observations seront prises en considération), et de se préparer à s'y conformer.

L'Accord OTC stipule que chaque Membre de l'OMC établisse un point d'information pour répondre aux questions sur les règlements techniques, les normes et les procédures d'évaluation de la conformité (proposés ou adoptés) et communiquer la documentation pertinente.

Un Comité des obstacles techniques au commerce a été constitué dans le cadre de l'Accord OTC pour servir de forum de négociation et de consultation sur toutes questions relatives à l'Accord. La participation au Comité est ouverte à tous les Membres de l'OMC, et divers organismes internationaux à activité normative sont invités à assister aux réunions en tant qu'observateurs.

## Références bibliographiques

1. Commission du Codex Alimentarius. *Manuel de procédure*, 12<sup>e</sup> éd. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2001.
2. Commission du Codex Alimentarius. *Principes généraux régissant l'adjonction d'éléments nutritifs aux aliments CAC/GL 09-1987 (Amendés en 1989, 1991)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1987.
3. Commission du Codex Alimentarius. *Volume 4. Aliments diététiques ou de régime. 2<sup>e</sup> éd.* Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1994.
4. Commission du Codex Alimentarius. *Étiquetage des Denrées Alimentaires – Textes Complets*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome. Révisé en 2001.
5. Commission du Codex Alimentarius. *Norme pour les préparations destinées aux nourrissons et les préparations données à des fins médicales spéciales aux nourrissons. CODEX STAN 72-1981 (amendées en 1983, 1985, 1987, 1997)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1981.

<sup>1</sup> Il n'est obligatoire de notifier les projets de règlements techniques et de procédures d'évaluation de la conformité que s'il n'existe pas de norme, guide ou recommandation internationale pertinents (ou si leur teneur n'est pas conforme à celle des normes, guides ou recommandations existants), et si le règlement technique ou la procédure d'évaluation peut avoir un effet notable sur le commerce d'autres Membres de l'OMC.

6. Commission du Codex Alimentarius. *Norme Codex pour les préparations de suite. CODEX STAN 156-1987 (amendée en 1989)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1987.
7. Commission du Codex Alimentarius. *Norme pour les aliments diversifiés de l'enfance (« Baby Foods ») CODEX STAN 73-1981 (amendée en 1985, 1987, 1989)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1981.
8. Commission du Codex Alimentarius. *Listes consultatives de sels minéraux et de composés vitaminiques utilisables dans les aliments pour nourrissons et enfants en bas âge. CODEX STAN CAC/GL 10-1979 (amendées en 1983, 1991)*. Programme mixte FAO/OMS sur les norms alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1979.
9. Commission du Codex Alimentarius. *Lignes directrices pour la mise au point des préparations alimentaires d'appoint destinées aux nourrissons du deuxième âge et aux enfants en bas âge. CODEX STAN CAC/GL 08-1991*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1991.
10. Commission du Codex Alimentarius. *Norme pour les aliments transformés à base de céréales destinés aux nourrissons et enfants en bas âge. CODEX STAN 74-1981 (amendée en 1985, 1987, 1989, 1991)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1981.
11. Commission du Codex Alimentarius. *Norme générale pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées. CODEX STAN 1-1985 (révisée en 1985, 1991, 1999, 2001)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1985 (CODEX STAN 01-1985, amendée en 2001).
12. Commission du Codex Alimentarius. *Directives générales concernant les allégations. CODEX STAN CAC/GL 01-1979 (révisées en 1991)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1985.
13. Commission du Codex Alimentarius. *Directives concernant l'étiquetage nutritionnel. CAC/GL 02-1985 (révisées en 1993)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1985.
14. Commission du Codex Alimentarius. *Directives pour l'emploi des allégations relatives à la nutrition et à la santé. CAC/GL23-1997 (révisées en 2004)*. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires (Codex Alimentarius), Rome, 1997.
15. *L'OMC en quelques mots*. Genève, Organisation mondiale du Commerce, 2003.
16. *Les accords de l'OMC et la santé publique : étude conjointe de l'OMS et du secrétariat de l'OMC*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2002.
17. *The results of the Uruguay Round of multilateral trade negotiations – the legal texts*. Genève, Organisation mondiale du Commerce, 1995.

# Index

- Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT), 359
- Accord OTC, 270, 359
  - non-discrimination, 360
  - norme, 360
  - procédure d'évaluation de la conformité, 361
  - règlement technique, 360
- Accord SPS, 270, 359
- Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires, *voir* Accord SPS
- Accord sur les obstacles techniques au commerce, *voir* Accord OTC
- Accords internationaux sur le commerce, 270–271
  - Accord OTC, 270–271
  - Accord SPS, 270–271
  - Organisation mondiale du Commerce (OMC), 270, 358
- Acide ascorbique, *voir aussi* Composés d'enrichissement en vitamine C
  - enrichissement en fer, 112
- Acide folique, 141–145
- Acide nicotinique, 144–145
  - UL, 144
- Acide phytique
  - absorption du fer, 113
- Afrique
  - carence en
    - folates, 68
    - vitamine A, 53
    - vitamine C, 87
  - enrichissement en
    - iode, 136
    - vitamine C, 146
  - insuffisance des apports en iode, 59
  - pellagre, 82
- Afrique du Sud
  - enrichissement ciblé, 32
  - en fer, 19
  - multiple, 18
- Afrique subsaharienne
  - carence martiale, 48
  - enrichissement en vitamine A, 16
- Aliments complémentaires
  - définition, 119
  - enrichissement, 191
    - en fer, 120
    - en zinc, 140–141
- Aliments riches en micronutriments
  - exemples, 4
- Aliments transformés pauvres en micronutriments, 5
- Aliments vecteurs, *voir* Véhicules alimentaires
- Allemagne
  - prévalence de la carence en vitamine B12, 70
- Alliance mondiale pour une meilleure nutrition (GAIN), 12
- Amérique centrale
  - enrichissement en
    - fer, 110, 116
    - vitamine A, 15, 20
- Amérique latine
  - enrichissement en zinc, 140
  - prévalence de la carence en vitamine A, 55
- Amériques
  - insuffisance des apports en iode, 59
- Analyse de coût-bénéfice, 235–236, 240–242

- Analyse des risques – points critiques pour leur maîtrise (HACCP), 350–351
- Anémie, 47  
prévalence, 47
- Années de vie ajustées sur l'incapacité (DALY)  
définition, 4
- Apport adéquat, 166
- Apport maximal tolérable, 167
- Apports  
en fer  
cancer, 123  
en folates, 180–181  
enquête par rappel sur 24 heures, 173  
excessifs, 171  
insuffisants, 171  
médian, 171  
médian cible, 169, 170
- Apports nutritionnels de référence  
*Adequate Intake* (AI), 166  
*Average Requirement* (AR), 166  
*Dietary Reference Intakes* (DRI), 166  
*Estimated Average Requirement* (EAR), 166  
*Lower Reference Nutrient Intake*, 166  
*Lower Threshold Intake*, 166  
*Recommended Dietary Allowance* (RDA), 166  
*Safe Intake*, 166  
*Tolerable Upper Level* (UL), 166
- Asie  
enrichissement en iode, 136
- Asie du Sud-Est  
insuffisance des apports alimentaires d'iode, 57  
prévalence de la carence en vitamine A, 55
- Assemblée mondiale de la Santé, 11
- Australie  
enrichissement obligatoire, 36
- Average Requirement*, 166
- Béribéri, 8, 21–22, 74, 76, 77
- Besoin moyen estimé (BME), 162–164  
méthode du seuil des BME, 162–164
- Bioenrichissement, 34
- Bisglycinate ferreux, 114–115
- Botswana  
enrichissement multiple, 18  
prévalence de la carence en vitamine B12, 70
- Brésil  
enrichissement en fer, 121
- Cacao  
enrichissement en fer, 121–122
- Calcium  
définition, 92
- Calculs de coûts  
coûts,  
de la surveillance et de l'évaluation, 236  
d'investissement, 236  
industriels (*t*), 237  
récurrents, 236
- Canada  
enrichissement  
en acide folique, 15, 21, 143–144  
en vitamine A, 20, 126  
en vitamine D, 22  
universel, 31
- Cancer, voir Apports en fer
- Carence en calcium  
conséquences sur la santé, 94  
facteurs de risque, 93–94  
ostéoporose, 94  
prévalence, 92–93  
rachitisme, 94
- Carence en fer  
anémie, 47  
conséquences pour la santé, 52–53  
DALY, 4  
définition, 47  
données de mortalité, 4  
effets bénéfiques de l'intervention, 52–53  
facteurs de risque, 48–51  
prévalence, 47–48  
transferrine, voir Transferrine
- Carence en fluor  
conséquences sur la santé, 99  
définition, 98  
facteurs de risque, 99

- Carence en folates
  - conséquences sur la santé, 68–69
  - facteurs de risque, 68
  - prévalence, 66–68
- Carence en iode
  - Conseil pour la lutte contre
    - les troubles dus à la carence en iode (ICCIDD), 321
  - conséquences pour la santé, 59–60
  - correction, 60
  - DALY, 4
  - élimination durable, 321
  - facteurs de risque, 59
  - goitre, 57
  - prévalence, 57–58
  - Réseau international de laboratoires pour l'iode (IRLI), 321
  - Réseau mondial pour l'élimination des troubles dus à la carence en iode, 12, 321
  - retard mental, 59, 60
  - troubles (*t*), 59–60
- Carence en niacine
  - conséquences sur la santé, 80–81
  - facteurs de risque, 81–82
  - pellagre, 80
  - prévalence, 80–81
- Carence en riboflavine
  - conséquences sur la santé, 78–80
  - facteurs de risque, 78
  - prévalence, 78
- Carence en sélénium
  - conséquences sur la santé, 97–98
  - définition, 94–95
  - facteurs de risque, 95–97
  - maladie de Kashin-Beck, 95, 96
  - prévalence, 95
  - syndrome de Keshan, 95, 96
- Carence en thiamine
  - béribéri, 77
  - béribéri « sec », 77
  - béribéri « humide », 77
  - définition, 74–75
  - facteurs de risque, 76
  - formes graves, 77
  - prévalence, 74–75
  - syndrome de Wernicke-Korsakoff, 77
- Carence en vitamine A
  - cécité nocturne, 56
  - conséquences sur la santé, 56–57
- DALY, 3–4
  - définition, 53
  - diarrhée, 56
  - données de mortalité, 3
  - facteurs de risque, 55–56
  - femmes enceintes, 56
  - mortalité chez l'enfant, 56
  - mortalité maternelle, 56
  - prévalence, 53–55
  - rougeole, 56
- Carence en vitamine B12
  - conséquences sur la santé, 72–73
  - définition, 70
  - facteurs de risque, 72
  - infection à *Helicobacter pylori*, 72
- Carence en vitamine B6
  - conséquences sur la santé, 83
  - facteurs de risque, 83–85
  - prévalence, 83
- Carence en vitamine C
  - facteurs de risque, 87–88
  - prévalence, 85–87
  - symptômes cliniques, 88
- Carence en vitamine D
  - conséquences sur la santé, 91–93
  - définition, 89
  - facteurs de risque, 93–94
  - ostéomalacie, 91
  - prévalence, 92–93
  - rachitisme, 92
- Carence en zinc
  - association avec la carence en fer, 63
  - conséquences sur la santé, 64–65
  - définition, 61
  - dermatite, 65
  - diarrhée, 65
  - facteurs de risque, 63–64
  - prévalence, 61–63
  - troubles mentaux, 65
- Carence martiale, *voir* Carence en fer
- Carences multiples en micronutriments
  - prévalence et facteurs de risque, 99–100
- Carie dentaire
  - prévention, 150–151
- Causalité, *voir* Évaluation d'impact :
  - évaluation basée sur la probabilité
- CCP, *voir* Points critiques pour leur maîtrise

- Cécité nocturne, 53
- Céréales  
 enrichissement en  
 acide folique, 143  
 zinc, 141
- Chili  
 enrichissement en  
 acide folique, 144  
 fer, 112, 118  
 fer et en vitamine C, 19  
 fluor, 151  
 vitamine A, 21  
 vitamine C, 88
- Chine  
 carence en  
 calcium, 94  
 riboflavine, 78  
 sélénium, 95  
 vitamine D, 89  
 enrichissement en  
 fer, 17, 122  
 iode, 136  
 sélénium, 95, 149  
 essais de supplémentation en acide  
 folique, 68  
 pellagre, 80
- Cobalamine, *voir* Vitamine B12
- Comité scientifique de l'alimentation  
 de l'Union européenne,  
 167
- Commission du Codex Alimentarius,  
 194, 197, 354–367
- Comité sur l'étiquetage des  
 denrées alimentaires (CCFL),  
 354
- Comité sur la nutrition et les aliments  
 diététiques ou de régime  
 (CCNFSDU), 354
- Directives concernant l'étiquetage  
 nutritionnel, 357
- Directives générales concernant  
 les allégations, 357
- Lignes directrices pour la mise au  
 point des préparations  
 alimentaires d'appoint destinées  
 aux nourrissons du deuxième  
 âge et aux enfants en bas âge,  
 357
- Listes consultatives de sels minéraux  
 et de composés vitaminiques  
 utilisables dans les aliments  
 pour nourrissons et enfants en  
 bas âge, 357
- Norme générale pour l'étiquetage des  
 denrées alimentaires  
 préemballées, 357
- Norme pour les aliments diversifiés  
 de l'enfance («Baby Foods»),  
 356
- Norme pour les aliments transformés  
 à base de céréales destinés aux  
 nourrissons et enfants en bas  
 âge, 357
- Norme pour les préparations  
 destinées aux nourrissons et  
 les préparations données à des  
 fins médicales spéciales aux  
 nourrissons, 356
- Principes généraux régissant  
 l'adjonction d'éléments nutritifs  
 aux aliments, 355
- Composés d'enrichissement des  
 aliments  
 définition, 105  
 iode, 132
- Composés d'enrichissement en acide  
 folique, *voir aussi* Composés  
 d'enrichissement en vitamines  
 du groupe B  
 innocuité, 144–145
- Composés d'enrichissement en calcium,  
 147
- Composés d'enrichissement en fer,  
 108  
 alternative, 112  
 modifications organoleptiques, 116
- Composés d'enrichissement en fluor,  
 150
- Composés d'enrichissement en  
 sélénium, 149
- Composés d'enrichissement en vitamine  
 A  
 acétate de rétinyle, 126  
 définition, 124  
 formes, 124–125  
 palmitate de rétinyle, 126
- Composés d'enrichissement en vitamine  
 C, 145–146
- Composés d'enrichissement en vitamine  
 D, 146

- Composés d'enrichissement en vitamines du groupe B, 141–144
  - acide folique, 141
- Composés d'enrichissement en zinc
  - définition, 139
- Composés de phosphate ferrique, 111
- Composition nutritionnelle appropriée des aliments spéciaux, 29
- Conférence internationale sur la nutrition, xix
- Corée
  - carence en sélénium, 97
- Costa Rica
  - enrichissement en
    - acide folique, 144
    - fluor, 150
  - prévalence de la carence en vitamine B12, 70
- Coût-efficacité
  - analyse, 239–240
  - analyse de sensibilité, 242
  - coût par année de vie ajustée sur l'incapacité gagnée, 233
  - coût par décès évité, 233
  - définition, 232, 249
  - rapport coût-bénéfice, 235
- Cuba
  - carence en thiamine, 76
- DALY, *voir* Années de vie ajustées sur l'incapacité
- Déclaration mondiale sur la nutrition, xix
- Djibouti
  - carence en thiamine, 76
- Double enrichissement
  - sel, 20
- Eau
  - enrichissement en iode, 135–136
  - méthodes d'enrichissement en iode, 135–136
- Écosse
  - enrichissement en fluor, 151
- Égypte
  - carence en vitamine B6, 83
- El Salvador
  - enrichissement en
    - acide folique, 144
    - vitamine A, 130
- Enfants
  - carence en
    - vitamine A, 6
    - zinc, 7
- Engrais
  - enrichissement en sélénium, 149
- Enrichissement
  - définition, 30
- Enrichissement à domicile et dans la communauté, 33–34
- Enrichissement ciblé, *voir* Niveaux d'enrichissement des aliments
  - définition, 31–32
- Enrichissement des aliments dans un but commercial, 193–194
  - définition, 32, 33
  - limite maximale de sécurité, 195
  - teneur maximale en micronutriment, 194–197
- Enrichissement des aliments
  - à but commercial, 193–194
  - aliments complémentaires, 191–192
  - aliments prêts à l'emploi, 191
  - ciblé, 191–193
    - coût-efficacité, *voir* Coût-efficacité
  - coûts de production, xix–xx
  - définition, 14, 27–28
  - droits humains, xix–xx
  - essais d'efficacité, 16
  - généralités, xix–xx
  - historique, 16
  - innocuité, 185
  - limite de coût, 185, 187
  - limite technologique, 185
  - perceptions des consommateurs, xx
  - réglementation, 35–36
  - volontaire, *voir* Enrichissement volontaire
- Enrichissement du riz en fer
  - difficultés, 121
- Enrichissement en acide folique
  - céréales, 143
  - essais d'efficacité, 21
- Enrichissement en calcium
  - définition, 147
  - farine de blé, 148
- Enrichissement en fer
  - aliments complémentaires, 119–120
  - cacao, 121

- encapsulation, 122
- essais d'efficacité, 17–18
- farine de blé, 119
- farines de maïs, 119
- iode, *voir* Double enrichissement
- poudre de curry, 17
- produits laitiers, 120–121
- questions d'innocuité, 123
- riz, 121
- sauce de soja, sauce de poisson, 122
- sel, 122
- SUSTAIN (groupe de travail), 118
- Enrichissement en iode
  - eau, 135–136
  - essais d'efficacité, 19
  - fer, *voir* Double enrichissement
  - pain, 135
  - questions d'innocuité, 137–138
- Enrichissement en niacine
  - questions d'innocuité, 145
  - véhicules alimentaires, 144–145
- Enrichissement en riboflavine
  - questions d'innocuité, 144
  - véhicules alimentaires, 142
- Enrichissement en sélénium, 149
- Enrichissement en thiamine
  - questions d'innocuité, 144
  - véhicules alimentaires, 144
- Enrichissement en vitamine A
  - céréales et farines, 129
  - essais d'efficacité, 18
  - margarines et huiles, 125–127
- Enrichissement en vitamine C
  - aliments spéciaux, 146
- Enrichissement en vitamine D
  - aliments spéciaux, 146–147
  - essais d'efficacité, 22
  - lait, 147
  - rachitisme, 22
- Enrichissement en vitamines du groupe B
  - véhicules alimentaires, 143
- Enrichissement en zinc
  - aliments spéciaux, 140–141
- Enrichissement multiple
  - essais d'efficacité, 18
- Enrichissement obligatoire des aliments
  - définition, 35–36
- Enrichissement universel, 328
  - définition, 31
- Enrichissement volontaire, 37–38, 282
  - risques, 37
- Équivalence nutritionnelle, 29
- États-Unis d'Amérique
  - béribéri, 21
  - carence en,
    - calcium, 93
    - vitamine C, 87
    - vitamine D, 91
  - carie dentaire, 98
  - enrichissement
    - en acide folique, 15, 21
    - en fer, 19
    - en iode, 19
    - en sélénium, 150
    - en vitamine C, 146
    - en vitamine D, 15
    - en zinc, 141
    - obligatoire, 36
    - universel, 31
    - volontaire, 38
  - essais de supplémentation en acide folique, 68
  - iodation du sel, 15
  - pellagre, 80
  - prévalence de la carence en vitamine B12, 70
  - rachitisme, 91
- Éthiopie
  - carence en thiamine, 76
- Europe
  - enrichissement en iode, 136
  - insuffisance de l'apport alimentaire d'iode, 57–58
  - pellagre, 80
- Évaluation d'impact, 203, 219–228
  - chronologie, 227
  - évaluation basée sur
    - l'adéquation, 221
    - la plausibilité, 221–223
    - la probabilité, 223–224
  - indicateurs de résultat, 224–225
  - surveillance réglementaire, 229
- Farine de blé
  - enrichissement en calcium, 147

- fer, 118
  - vitamine A, 129
- Farines de maïs
  - enrichissement en fer, 119
  - recommandation de l'Organisation panaméricaine de la Santé, 119
- Fer
  - biodisponibilité à partir des composés d'enrichissement, 112
  - formes solubles dans l'eau, 108
- Ferritine
  - comme indicateur de la carence en fer (*t*), 49
- Finlande
  - enrichissement en
    - iode, 137
    - sélénium, 98
- Fluor/fluorures
  - définition, 98
- Folates
  - définition, 66
  - équivalent folate alimentaire, 180–181
  - niveaux d'apport, 181
  - Organisation panaméricaine de la Santé (OPS), 181
- Fortifiants, *voir* Composés d'enrichissement
- Fortification alimentaire, *voir* Enrichissement des aliments
- France
  - carence en vitamine D, 89
- Fumarate ferreux, 109
  - encapsulé, 115
- Gambie
  - béribéri, 77
  - carence en
    - riboflavine, 78
    - thiamine, 76
  - supplémentation en calcium, 94
- Goitre, 58
  - goitrogènes, 59–60
- Guatemala
  - carence en
    - riboflavine, 78
    - vitamine B12, 70
  - enrichissement
    - ciblé, 32
    - en acide folique, 144
    - en vitamine A, 20, 129
- Guinée
  - carence en thiamine, 76
- HACCP, *voir* Analyse des risques – points critiques pour leur maîtrise
- Hémoglobine
  - comme indicateur de la carence en fer (*t*), 49
- Honduras
  - enrichissement en
    - acide folique, 144
    - vitamine A, 130
- Hongrie
  - enrichissement en fluor, 150
- Hyperthyroïdie induite par l'iode (IIH), 137–138
- Inde
  - carence
    - en folates, 68
    - en vitamine D, 91
    - martiale, 48
  - prévalence de la carence en vitamine B12, 70
  - supplémentation en zinc, 63
- Indonésie
  - carence en thiamine, 76
  - enrichissement
    - ciblé, 32
    - en acide folique, 144
    - en zinc, 140
- Infection à *Helicobacter pylori*, *voir* Carence en vitamine B12
- INFOODS, 173–174
- Initiative pour l'enrichissement des farines, 261
- International Zinc Nutrition Consultative Group* (IZiNCG), 139
- Iodate de potassium, 132
- Iodate, 132
- Iodation du sel, 57, 133
  - historique, 15
  - niveaux recommandés, 180
  - programmes de l'OMS, 137
  - traitement, 133–134

- Iode  
 définition, 57  
 niveaux OMS d'enrichissement du sel, 180
- Iodure, 132  
 de potassium, 132
- Israël  
 carence en vitamine D, 91
- Italie  
 enrichissement en fer, 121  
 iode, 136
- Jamaïque  
 enrichissement en fluor, 150
- Japon  
 carence en sélénium, 95  
 thiamine, 76  
 enrichissement en fer, 116  
 prévalence de la carence en vitamine B12, 70
- Kenya  
 prévalence de la carence en vitamine B12, 70  
 supplémentation en vitamine B12, 73
- Lacto-ovo-végétariens  
 carence en folates, 68  
 définition, 68  
 risque de carence en vitamine B12, 72
- Lait  
 enrichissement en iode, 136–137  
 vitamine D, 22, 146  
 zinc, 140
- Législation sur les denrées alimentaires, 270–291  
 allégations relatives à la nutrition et à la santé, 280–281  
 composés d'enrichissement autorisés, 278–279  
 composition, 275  
 contient, 276  
 critères minimaux pour les allégations, 287  
 enrichissement obligatoire, 274  
 enrichissement volontaire, *voir*  
 Enrichissement volontaire  
 étiquetage des aliments, 279  
 nom de l'aliment, 275  
 nom du micronutriment, 279–280  
*Philippines Act Promoting Salt Iodization Nationwide*, 272  
 teneurs minimale et maximale légales, 276–277, 286–288
- Limite technologique  
 définition, 185  
 qualités organoleptiques, 184  
*Lower Reference Nutrient Intake*, 166  
*Lower Threshold Intake (LTI)*, 166
- Maladie de Kashin-Beck, 10, 95–97
- Malaisie  
 enrichissement en iode, 136
- Mali  
 enrichissement en iode, 136
- Malnutrition par carence en micronutriments  
 âges à risque, 3–4  
 définition, 3–4  
 formes courantes, 3–4  
 stratégies basées sur l'alimentation, *voir* Stratégies basées sur l'alimentation
- Malnutrition protéino-énergétique (MPE), 5
- Marketing social  
 communication, 258  
 définition, 257  
 place, 259  
 positionnement du produit, 259  
 prix, 259  
 promotion, 259
- Méditerranée orientale  
 insuffisance de l'apport alimentaire d'iode, 59  
 prévalence de la carence en vitamine A, 55
- Mères sous-alimentées  
 enrichissement, 191
- Mexique  
 enrichissement ciblé, 32  
 en acide folique, 144

- NaFeEDTA, *voir* Sel de sodium et de fer de l'EDTA
- Népal  
 carence en  
 riboflavine, 78  
 thiamine, 76
- Niacinamide, 145  
 UL, 144
- Niacine  
 biodisponibilité, 80  
 définition, 80
- Nicaragua  
 enrichissement en  
 acide folique, 144  
 vitamine A, 130
- Niveau maximal d'enrichissement (MTL), *voir* Niveaux d'enrichissement des aliments
- Niveau minimal d'enrichissement (mFL), *voir* Niveaux d'enrichissement des aliments
- Niveau minimal légal (LmL), *voir* Niveaux d'enrichissement des aliments
- Niveaux d'enrichissement des aliments limite  
 de coût, 332–333  
 de sécurité, 331–332  
 technologique, 332
- niveau  
 d'apport maximal tolérable (UL), 329  
 d'enrichissement cible (TFL), 334  
 d'enrichissement réalisable (FFL), 333  
 maximal d'enrichissement (MFL), 334  
 maximal tolérable (MTL), 334–335  
 minimal d'enrichissement (mFL), 334  
 minimal légal (LmL), 334–335
- Nouvelle-Zélande  
 enrichissement obligatoire, 36
- Objectifs du Millénaire pour le Développement, xxi
- Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), xix, 11, 62
- Organisation mondiale de la Santé, xviii  
 apports provenant du lait maternel, 192  
 indicateurs de carence en iode, 58  
 iodation du sel, 133  
 projet CHOICE, 233  
 Système d'informations nutritionnelles sur les vitamines et les minéraux, 5
- Ostéodensitométrie, 93
- Ostéomalacie  
 carence en vitamine D, 89
- Ostéoporose, 93
- Pacifique occidental  
 insuffisance des apports alimentaires d'iode, 59  
 prévalence de la carence en vitamine A, 55
- Pain  
 enrichissement en iode, 135
- Paludisme  
 anémie, 48  
 effets, 228
- Panama  
 enrichissement en acide folique, 144
- Pellagre, *voir* Carence en niacine
- Pérou  
 enrichissement ciblé, 32
- Philippines Act Promoting Salt Iodization Nationwide, *voir* Législation sur les denrées alimentaires
- Points critiques pour leur maîtrise (CCP), 350
- Principes généraux régissant l'adjonction d'éléments nutritifs aux aliments, 28
- Produits laitiers  
 enrichissement en fer, 120–121
- Programme alimentaire mondial (PAM)  
 directives pour l'enrichissement, 31
- Programmes d'enrichissement des aliments  
 apports alimentaires, 158  
 besoins asymétriques, 177

- besoins en matière d'information, 158
- biomarqueur, 160
- collecte de données, 201
- conception et planification, 105, 201
- directives, *voir* Programme alimentaire mondial (PAM)
- état nutritionnel, 158
- évaluation, 202
- évaluation d'impact, *voir* Évaluation d'impact
- généralités, xv, xvi
- méthode du seuil des BME, 162–163
- méthode des probabilités, 163, 178
- méthodes de couverture, 219
- modes de consommation alimentaire, 158
- objectif nutritionnel, 162–164
- performance opérationnelle, 201
- planification (*t*), 159
- promotion, *voir* Promotion
- sensibilisation, *voir* Sensibilisation
- stratégies de marketing et consommateurs, *voir* Stratégies de marketing et consommateurs
- surveillance
  - au niveau des ménages/de l'individu, 202
  - commerciale, 204
  - et évaluation, 201
  - externe, 204
  - interne, 204
  - réglementaire, 203
- vitamine A, 130–131
- Programmes d'enrichissement universel
  - contraintes, 188
  - coûts de l'enrichissement, 190
  - mise en application, 190
  - niveaux d'enrichissement réalisables, 190
- Promotion
  - éducation nutritionnelle, 252
  - marketing social, 252
  - sensibilisation, 252
- Protoporphyrine érythrocytaire
  - comme indicateur de la carence en fer (*t*), 50
- Pyrophosphate ferrique
  - micronisation, 115–116
- Rachitisme
  - carence en vitamine D, 89–90
  - définition, 89
- Raffinage du sel, 133–134
- Rapport sur la Santé dans le Monde, xv
- Recommended Dietary Allowance* (RDA), 166
- Recommended Nutrient Intake* (RNI), 166
  - définition, 164
- République centrafricaine
  - enrichissement en iode, 136
- République dominicaine
  - enrichissement en acide folique, 144
- Réseau international de laboratoires pour l'iode (IRLI), 135
- Restitution, 29
- Rétinol, 53
- Riboflavine
  - biodisponibilité, 78
  - définition, 77–78
- Riz
  - enrichissement en fer, 121
  - vitamine A, 130
- Rougeole, 56
- Royaume-Uni
  - enrichissement en fluor, 151
  - en sélénium, 150
  - volontaire, 39
  - prévalence de la carence en vitamine B12, 70
- Saccharate ferrique, 109
- Safe Intake*, 166
- Sauce de soja et sauce de poisson
  - enrichissement en fer, 122
- Scandinavie
  - carence en sélénium, 95
- Scorbut, *voir* Carence en vitamine C
- Sel de sodium et de fer de l'EDTA (NaFeEDTA), 114
- Sel disodique de l'EDTA
  - utilisation pour l'enrichissement en fer, 113
- Sel iodé, *voir* Sel

- Sel  
 avec fer et iode, *voir* Double enrichissement  
 enrichissement en iode, 133–135  
 fluoruration, 150  
 iodé  
 stabilité, 133  
 taux de consommation, 133–134
- Sélénate de sodium  
 composés d'enrichissement en sélénium, 149–150
- Sélénium  
 biodisponibilité, 97  
 définition, 94
- Sels de calcium, 149
- Sensibilisation, 256  
 responsables de l'élaboration des politiques, 256
- Seychelles  
 carence en thiamine, 76
- Sicile  
 enrichissement en iode, 136
- Sommet mondial pour les enfants, 11
- Soudan  
 enrichissement en iode, 136
- Stratégies basées sur l'alimentation, 12–13  
 allaitement maternel, 13  
 diversification alimentaire, 13  
 qualité de l'alimentation, 13
- Stratégies de marketing et consommateurs, 266  
 axées sur la demande, 266  
 axées sur l'offre, 266
- Sucre  
 enrichissement en iode, 137  
 vitamine A, 129–130
- Suisse  
 enrichissement volontaire, 39  
 iodation du sel, 15
- Sulfate ferreux, 109  
 encapsulé, 115
- Supplémentation  
 définition, 14–15
- Supplémentation en fer  
 encapsulation, 115
- Supplémentation en vitamine A  
 questions d'innocuité, 131
- Surveillance  
 audit de qualité pour l'évaluation de la conformité (*t*), 208  
 au niveau des ménages/de l'individu, 202  
 niveau  
 maximal tolérable (*t*), 206  
 minimal à la production, 204  
 minimal dans les ménages, 204  
 minimal légal, 204  
 réglementaire, 202
- Surveillance au niveau des ménages, 215  
 échantillonnage par lots pour l'assurance de la qualité, 218  
 enquêtes  
 de marché (*t*), 217, 218  
 ou recensements en milieu scolaire (*t*), 218  
 transversales, 218  
 sondages sur 30 grappes, 218  
 surveillance de sites sentinelles, 218
- Surveillance commerciale, 202, 204, 214  
 allégations, 214  
 date de conservation minimale, 214
- Surveillance, échantillonnage, 211  
 intensif, 211  
 intensité normale, 211  
 intensité modérée, 211
- Surveillance externe, 204, 212–213  
 audit technique, 213  
 inspection, 213  
 minimum légal, 214  
 niveau maximal tolérable, 214  
 tests  
 de confirmation, 214  
 quantitatifs, 213
- Surveillance interne, 204  
 assurance de la qualité, 206  
 bonnes pratiques de fabrication (BPF), 207  
 contrôle de la qualité, 210  
 tests semi-quantitatifs, 212
- Syndrome de Keshan, 95
- Système d'évaluation alimentaire  
 WorldFood, 174
- Systèmes alimentaires  
 généralités, xv

- Tanzanie  
 enrichissement multiple, 18
- Thaïlande  
 carence en thiamine, 76  
 enrichissement en  
 fer, 116, 122  
 iode, 136  
 prévalence de la carence en vitamine  
 B12, 70
- Thiamine  
 définition, 73  
 principales sources, 74
- Thyroïdite induite par l'iode, 137–138
- Tolerable Upper Level (UL)*, 166, 167
- Transferrine  
 récepteurs, 50  
 saturation, 50
- Turquie  
 carence en vitamine D, 91
- Union européenne  
 enrichissement  
 dans un but commercial, 32  
 volontaire, 39
- United States Food and Nutrition Board*,  
 131, 144
- Valeurs nutritionnelles de référence  
 (VNR), 194  
 définition, 194
- Végétariens  
 lacto-ovo-végétariens, *voir*  
 lacto-ovo-végétariens  
 risque de carence en vitamine B12,  
 72
- Véhicules alimentaires  
 définition, xix–xx, 105  
 enrichissement en fer, 113–116  
 fluor, 150
- limites pour les composés  
 d'enrichissement, 25  
 sel, 122–123  
 vitamine A, 124–127
- Venezuela  
 enrichissement en fer, 19, 110,  
 119  
 prévalence de la carence en vitamine  
 B12, 70
- Viet Nam  
 enrichissement en fer, 122
- Vitamine A  
 bêta-carotène, 124  
 rétinol, *voir* Rétinol  
 sources, 56  
 UL, 131
- Vitamine B12  
 définition, 70
- Vitamine B6  
 définition, 83
- Vitamine B9, *voir* Acide folique
- Vitamine C  
 biodisponibilité, 87–88  
 définition, 85
- Vitamine D  
 biodisponibilité, 90–91  
 définition, 88
- Zambie  
 enrichissement en vitamine A, 16,  
 130
- Zimbabwe  
 prévalence de la carence en vitamine  
 B12, 70
- Zinc  
 biodisponibilité, 64, 139–140  
 définition, 61  
 méthodes pour augmenter  
 l'absorption, 140