

## **Enrichissement des aliments en micronutriments: élément d'une stratégie intégrée de lutte contre les carences en micronutriments, en particulier en fer, dans les pays en développement**

**Berger Jacques**

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UR106 "Nutrition, Alimentation, Sociétés", 911 Avenue Agropolis, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5.

Auteur correspondant: [j.berger@fpt.vn](mailto:j.berger@fpt.vn)

### **- Résumé -**

Dans les pays en développement, les carences en micronutriments, en particulier en fer, vitamine A et iode, représentent un problème de santé publique aux conséquences physiologiques et économiques non négligeables. L'évaluation de l'importance de ces carences, de leur distribution et des facteurs de risque permet de sélectionner les groupes cibles et les interventions à mettre en oeuvre. Les programmes de contrôle des carences intègrent la supplémentation, l'enrichissement d'aliments, la diversification alimentaire, et les mesures de santé publique.

L'enrichissement des aliments, a pour objectif d'augmenter le contenu d'un aliment en micronutriments identifiés préalablement comme inadéquats, et leur consommation. Le succès d'un programme d'enrichissement, requiert une volonté politique affirmée et la collaboration du secteur privé, des scientifiques, des consommateurs, des agences internationales, bilatérales et des ONG. Une fois le véhicule alimentaire sélectionné, le choix de chaque micronutriment "fortifiant" dépend de sa stabilité et de sa biodisponibilité dans l'aliment, au cours du stockage et des procédures de préparation. Le procédé d'enrichissement doit être simple et l'aliment enrichi acceptable par le consommateur en terme de propriétés organoleptiques, de sécurité et de prix. Le taux d'enrichissement dépend des besoins nutritionnels des groupes cibles, de la consommation de l'aliment enrichi, de la biodisponibilité du fortifiant et de la législation des pays. Des études d'efficacité en condition contrôlées et en conditions réelles sont nécessaires afin d'évaluer l'impact et l'absence de toxicité de l'aliment enrichi. La mise en place d'un système de suivi du programme et de contrôle de qualité du produit, notamment de sa concentration adéquate en micronutriments de sa production à sa consommation, permet d'assurer l'efficacité et la pérennité du programme et d'envisager les ajustements nécessaires au cours de son développement.

**Mots-clés:** Micronutriments - Carences - Enrichissement d'aliments - Pays en développement.

---

**- Abstract -**

**Fortification of foods with micronutrients: a component of an integrated strategy to control micronutrient deficiencies, especially iron deficiency, in developing countries**

In developing countries, micronutrient malnutrition, especially iron, vitamin A and iodine deficiencies, is a public health problem with important physiologic and economic consequences. Programs implemented to control these deficiencies include supplementation, food-based approaches such as nutrition diversification and food fortification and global public health and disease control measures. Food fortification is recognized as the most cost-effective approach of improving micronutrient status of large populations. Its objective is to increase in a food the level of specific nutrients previously identified as inadequate and their intake.

To be successful, the control of micronutrient deficiencies requires strong political commitment. Food fortification should be included in national strategies of the national plan of action for nutrition and benefit of the active collaboration of the scientific community, the food industry, the consumers, the international and bilateral agencies and NGO. Fortification programs require the definition and careful planning of a fortification strategy adapted to every specific situation. The evaluation of the micronutrient status of a population identifies the magnitude of the problem, its distribution and risk factors that allows selecting the target groups and the interventions to be implemented. Identifying the patterns of consumption of potential food vehicles allows to choose the appropriate one. The choice of each suitable micronutrient fortificant depends on both its stability and biological availability after its addition to food, normal food storage and preparation procedures. The levels of fortification depend on the nutritional needs of the target group and on both estimated consumption of the fortified food and bioavailability of the fortificant and also on the regulations in the country. Target population must consume the fortified food in amounts sufficient to ensure adequate levels of the micronutrient without risk of toxicity. Fields trials will evaluate the efficacy and effectiveness of the fortified product in the target groups. The fortification process must be technically viable and the fortified food acceptable by consumers in term of organoleptic characteristics, safety and price. The consumers demand depends on their education and information of the nutritional and health benefits of fortified products. The promotion strategies of the fortified foods include their packaging, presentation, and selection of distribution channels.

The implementation of a follow-up of the program and of quality control of the product, especially of its appropriate content of fortificants from production until time of consumption, allows to ensure the efficacy and sustainability of the program and to provide all necessary adjustments during its development.

Key words: Micronutrient – Deficiencies – Food fortification – Developing countries.

---

## **INTRODUCTION**

Dans les pays en développement (PED), les carences en micronutriments représentent un problème de santé publique aux conséquences physiologiques et économiques non négligeables<sup>1</sup>. Les principales carences identifiées concernent les carences en iode, fer et vitamine A<sup>2</sup>, mais d'autres carences comme la carence en zinc, vitamine B12, riboflavine et acide folique co-existent probablement même si leur existence et importance n'ont pas encore été bien étudiées. La carence en fer touche près de 3,5 milliards de personnes à travers le monde principalement les femmes à partir de l'adolescence, les nourrissons et les jeunes enfants<sup>2</sup>. La carence en vitamine A concerne environ 127 millions d'enfants d'âge pré-scolaire dont 4,4 millions présentent des signes de xérophtalmie et près de 20 millions de femmes enceintes, avec 25-35% des cas recensés en Afrique<sup>3</sup>. La carence en iode concernerait environ 2 milliards de personnes avec près de 740 millions de goitreux<sup>2</sup> et près de 27% de la population mondiale présenteraient une consommation inadéquate en zinc. Dans les PED, ces différentes carences sont rarement isolées et souvent additionnelles.

Les conséquences de ces carences sur la santé de l'individu sont multiples. La carence en fer, qui dans sa forme la plus sévère résulte en anémie, se traduit chez l'adulte par une diminution de la capacité physique<sup>4</sup> et de la productivité<sup>5</sup>. Chez la femme enceinte, les anémies sévères sont responsables de 20% des décès maternels<sup>6</sup>. Elles augmentent les risques de morbidité et de mortalité fœtale et néonatale ainsi que le risque de prématurité et de faible poids du nourrisson à la naissance<sup>7</sup>. Les enfants anémiques sont intellectuellement moins performants et présentent des troubles du comportement<sup>8</sup>. La carence martiale sans anémie serait aussi associée à un déficit du développement intellectuel étroitement corrélé au degré de sévérité de la carence en fer<sup>8</sup>. Les enfants anémiés présenteraient une taille inférieure et une dynamique de croissance ralentie<sup>9,10</sup>. La résistance aux infections et l'immunocompétence sont diminuées<sup>11</sup>. La carence en vitamine A est la principale cause de cécité et de troubles visuels (xérophtalmie) et augmente les risques de morbidité et de mortalité probablement par un effet sur l'intégrité des barrières épithéliales et des fonctions immunologiques<sup>12</sup>. Elle augmente le risque de carence en fer et d'anémie notamment par un effet négatif sur la mobilisation des réserves en fer<sup>13</sup>. La carence en iode est responsable de la formation de goitre mais surtout de retardement intellectuel pouvant aboutir au crétinisme. Elle a un impact négatif sur la croissance et elle est associée à une baisse de la résistance aux infections avec une augmentation de la morbidité et de la mortalité et à un taux élevé de mort-nés et d'avortements<sup>14</sup>. La carence en zinc a un impact négatif sur le système immunitaire et sur la croissance et elle est associée avec un risque plus élevé de morbidité notamment de diarrhées<sup>15</sup>. Les implications économiques de ces carences, notamment de l'anémie ferriprive, sont loin d'être négligeables: baisse de la force productive, augmentation des coûts de santé, perte de capital humain et social et diminution du PNB<sup>16</sup>. L'ampleur des conséquences de ces carences sur la santé de l'individu justifie la mise en œuvre d'interventions de santé publique.

Les carences apparaissent lorsque les apports en micronutriments ne permettent pas de couvrir les besoins, en particulier ceux élevés des populations à risque. Les besoins en micronutriments correspondent aux quantités nécessaires pour compenser les pertes physiologiques ou liées à des infections, et répondre aux circonstances particulières de la vie, comme durant les périodes de croissance accélérées et au cours de la grossesse. Dans les PED, ces carences sont principalement liées au faible contenu et/ou la faible biodisponibilité des micronutriments des régimes alimentaires. La carence en iode dépend du faible contenu en iode des sols et de l'environnement (les carences apparaissent le plus souvent en zone de montagnes ou inondées) ou de la présence de facteurs goitrigènes dans les régimes. La carence en

vitamine A résulte d'une consommation inadéquate d'aliments riches en rétinol ou précurseurs de la vitamine A<sup>17,18</sup>. La carence en fer résulte principalement de la présence dans le régime d'inhibiteurs de l'absorption comme les phytates ou tannins, très présents dans les aliments d'origine végétale qui constituent le plus souvent la base de l'alimentation des populations les plus pauvres des PED et/ou de l'absence de promoteurs de l'absorption comme par exemple la vitamine C<sup>19</sup>.

La connaissance par les pays de la prévalence et de la sévérité des carences, de leurs facteurs étiologiques, de leur distribution géographique et des groupes à risque concernés est essentielle. La plupart des PED dispose d'enquêtes épidémiologiques nationales plus ou moins récentes ou pour le moins d'informations recueillies au travers d'enquêtes plus limitées qu'il sera peut-être nécessaire de compléter ou d'affiner. Ces informations ainsi que les conséquences de ces carences en terme de santé publique et d'impact économique et la disponibilité de stratégies d'intervention réalisables et économiquement viables doivent permettre aux autorités sanitaires et politiques des pays concernés de prendre la mesure de l'ampleur du problème et de planifier des interventions par exemple dans le cadre de leur Plan National d'Action pour la Nutrition<sup>1</sup>.

Les programmes à mettre en œuvre pour contrôler les carences en micronutriments doivent intégrer différentes approches comme la supplémentation, les approches alimentaires telles que la diversification alimentaire et l'enrichissement d'aliments, et des mesures globales de santé publique et de contrôle des infections et pathologies<sup>19</sup>. Il est important d'indiquer que ces interventions sont complémentaires et non compétitives et que leur choix dépend de la prévalence, de la sévérité et des facteurs étiologiques des carences ainsi que des groupes à risque identifiés. Il est souvent recommandé de les mettre en œuvre simultanément du fait de leur impact différent dans le temps et de leur faisabilité en fonction des différents contextes.

La présentation qui va suivre focalisera sur une des approches possibles: l'enrichissement des aliments en micronutriments, et plus spécialement dans le cadre de la lutte contre la carence en fer qui reste la carence la plus prévalente et la plus difficile à prévenir et à contrôler.

## **ENRICHISSEMENT EN MICRONUTRIMENTS**

L'enrichissement («fortification» en anglais) est défini comme l'addition à un aliment d'un ou plusieurs nutriments essentiels, normalement ou non contenu dans l'aliment, avec l'objectif de prévenir ou corriger une carence affirmée en un ou plusieurs nutriments dans la population ou dans des groupes de population spécifiques<sup>20</sup>. Il concerne l'enrichissement d'aliments de base destinés à l'ensemble de la population ou d'aliments préférentiellement consommés par les groupes à risque<sup>21</sup>.

L'enrichissement d'aliments est pratiqué déjà depuis longtemps dans les pays industrialisés où l'élimination virtuelle des carences en micronutriments a été largement attribuée à l'enrichissement des aliments en micronutriments<sup>22,23</sup>. La conférence internationale sur la Nutrition de 1992 a souligné l'importance et la pertinence de l'enrichissement des aliments en micronutriments pour lutter contre les carences en micronutriments dans les PED<sup>1</sup>. Cette approche est considérée, quand elle est possible, comme l'approche de meilleur coût-efficacité pour améliorer le statut en micronutriments des populations ce qui est un gage de pérennité<sup>24</sup>. Elle est socialement acceptable car, le plus souvent, elle ne modifie pas les habitudes alimentaires ni les aliments consommés. Le rôle principal de l'enrichissement en micronutriments des aliments est la prévention des carences, mais les produits enrichis contribuent aussi à l'élimination des carences installées.

## **UN PARTENARIAT MULTISECTORIEL INDISPENSABLE**

Le succès d'une intervention requiert l'implication du secteur public et la définition d'une politique de nutrition publique. La mise en œuvre d'un Plan National d'Action pour la Nutrition est un des éléments dont dispose les pouvoirs publics, mais la définition d'un programme d'enrichissement d'aliments ne peut toutefois concerner que ce seul secteur public. Un partenariat multisectoriel incluant notamment la communauté scientifique, les pouvoirs publics, les agences internationales les ONG, le secteur privé mais aussi de la société civile notamment les consommateurs et bénéficiaires est souhaitable et considéré comme l'approche à privilégier. Ce partenariat doit être initié dès le début du projet, préciser les rôles de chacun et permettre l'échange constant d'informations appropriées. Les producteurs comme les consommateurs doivent être parfaitement informés du changement minimum dans la production ou les décisions d'achat nécessaires pour modifier les préférences et la demande vers les aliments enrichis<sup>16</sup>. Le secteur privé doit participer à la définition des moyens et techniques à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs. Le secteur public, soutenu par les organisations internationales et bilatérales, a pour rôle notamment d'informer, motiver, conseiller, contrôler et soutenir le secteur privé et d'assurer la diffusion de l'information auprès des populations. La communauté scientifique responsable de la composante recherche et développement doit démontrer la faisabilité et l'impact du programme.

## **DÉFINIR UN PROGRAMME D'ENRICHISSEMENT**

### **Population cible**

Les programmes d'enrichissements d'aliments peuvent être dirigés vers l'ensemble de la population, comme par exemple l'enrichissement en fer et vitamines B des farines de blé<sup>25</sup> ou de maïs<sup>26</sup>, l'enrichissement en fer de la sauce soja en Chine<sup>27</sup> ou de la sauce de poisson au Vietnam<sup>28</sup>. Ils peuvent aussi être développés pour répondre aux besoins spécifiques d'un groupe de population comme dans le cadre d'aliments de complément au lait maternel enrichis en micronutriments pour les nourrissons et jeunes enfants<sup>29</sup> ou pour les scolaires notamment à travers la mise en place de déjeuners scolaires appropriés<sup>30</sup> ou de biscuits enrichis<sup>31</sup>. La définition de la population cible est très importante pour le choix du véhicule alimentaire et des quantités de micronutriments à ajouter.

### **Véhicule alimentaire**

Une fois la population cible identifiée se pose la question du choix du ou des véhicule(s) alimentaire(s) à enrichir. Des enquêtes alimentaires sont nécessaires afin de définir les aliments qui sont consommés régulièrement et en quantité suffisante par les populations cibles. Il est notamment judicieux de disposer de données de consommation d'aliments susceptibles d'être enrichis par les groupes les plus à risques comme les enfants de moins de 5 ans et les femmes en âge de procréer, enceintes ou non. La pertinence de ces données sera d'autant plus grande qu'elles pourront être désagrégées en fonction du niveau socioéconomique et dans le cadre d'un programme national des particularités géographiques et écologiques. L'absence de véhicule alimentaire suffisamment consommé ou de manière régulière peut conduire à l'abandon d'un programme d'enrichissement.

Le véhicule alimentaire doit pouvoir être enrichi dans des unités de production centralisées et la technologie d'enrichissement doit être simple et peu coûteuse. Si possible, le choix doit porter sur un aliment ayant des qualités (couleur, odeur)

pouvant masquer les éventuelles modifications qui pourraient intervenir lors de l'enrichissement. Les véhicules alimentaires les plus souvent utilisés, notamment au niveau national, sont des farines de céréales (blé ou maïs) ou des condiments comme le sel, le sucre ou les margarines<sup>22,32</sup>.

### Fortifiants et niveaux d'enrichissement

Un bon fortifiant doit être organoleptiquement stable et ne pas produire de modifications notables de l'aliment véhicule ou des aliments auxquels il est mélangé. Il doit avoir une bonne biodisponibilité et la conserver au cours du stockage et de l'utilisation. Il doit être facilement disponible en complément alimentaire et d'un coût abordable.

Le choix de ces fortifiants ne présente pas de gros problème en ce qui concerne l'enrichissement en iode, le plus souvent sous forme d'iodate de potassium<sup>32,33</sup>. Il en est de même pour l'enrichissement en vitamine A, essentiellement sous forme de palmitate de rétinol<sup>34</sup>.

C'est plus compliqué pour le fer. Les composés en fer les plus utilisés sont présentés dans le tableau 1 en fonction de leur biodisponibilité relative par rapport à celle du sulfate de fer utilisée comme référence<sup>21</sup>. Les composés de fer solubles dans l'eau sont plus aisément absorbés. Mais ce sont aussi ceux qui produisent le plus de problèmes organoleptiques indésirables tels que changements de couleur et de saveur, oxydation des lipides et rancissement. Les composés peu solubles dans l'eau mais solubles en milieu acide présentent une bonne absorption avec l'avantage d'avoir moins d'effets organoleptiquement néfastes. Les composés peu solubles en milieu acide ne provoquent pas de modifications organoleptiques, mais leur absorption est très variable du fait de leur faible solubilité dans le suc gastrique. Enrichir un aliment consiste donc à trouver le meilleur compromis entre biodisponibilité et effets organoleptiques indésirables.

**Tableau 1:** Caractéristiques des composés de fer couramment utilisés pour enrichir les aliments.

Composés de fer	Biodisponibilité relative *	Quantité de fer (%)	Aliments communément enrichis
<b>Solubles dans l'eau</b>			
Sulfate ferreux hydraté	100	20	Aliments pour nourrissons, pain, pâtes
Sulfate ferreux	100	33	
Gluconate ferreux	89	12	
Lactate ferreux	106	19	
Citrate d'ammonium ferrique	-	18	
<b>Peu solubles dans l'eau / solubles en milieu acide</b>			
Fumarate ferreux	100	33	Céréales pour enfants
Succinate ferreux	92	35	
Saccharate ferreux	74	10	Poudres chocolatées
Glycérophosphate ferrique	-	15	
Citrate ferreux	74	24	
Tartrate ferreux	62	22	
<b>Insolubles dans l'eau / peu solubles en milieu acide</b>			
Orthophosphate ferrique	25-32	28	Céréales pour enfants poudres chocolatées, riz
Pyrophosphate ferrique	21-74	25	
<b>Fer élémentaire</b>			
Electrolytique	75	97	Céréales pour enfants, farine de blé, céréales
Carbonyl	5-20	99	
H-Réduit	13-148	97	
CO-Réduit	-	97	
Atomisé	-	97	

\* Biodisponibilité relative chez l'homme par rapport au sulfate de fer 7H<sub>2</sub>O, pour la même quantité totale en fer (adapté d'après [41]).

Le sulfate de fer a principalement été utilisé dans les aliments lactés pour nourrissons; le fumarate de fer pour enrichir les céréales pour enfants<sup>35</sup> et parfois aussi pour les farines de céréales<sup>25,26</sup>. D'autres composés insolubles dans l'eau comme le pyrophosphate ferrique ont aussi été largement utilisés du fait de leur stabilité organoleptique dans les céréales pour enfants et les poudres chocolatées. Leur biodisponibilité est considérée assez faible mais une récente étude démontre la biodisponibilité relative élevée d'un nouveau composé le pyrophosphate ferrique micronisé dispersible<sup>36</sup> et son potentiel pour l'enrichissement d'aliments. D'autres composés comme le fer élémentaire sont très largement utilisés pour l'enrichissement des farines de céréales, en particulier de blé, le plus souvent sous forme de premix contenant des vitamines du groupe B<sup>25</sup>. Cependant les effets bénéfiques de cet enrichissement sur le statut en fer des populations sont sujets à caution du fait de la biodisponibilité très variable de certains fers élémentaires et de l'absence d'étude ayant montré leur efficacité. Un récent atelier tenu à Monterrey au Mexique a conclu qu'actuellement le seul composé de fer élémentaire acceptable comme fortifiant serait le fer électrolytique (325 mesh) qui ne présente toutefois qu'une biodisponibilité moitié moindre de celle du sulfate de fer<sup>37</sup>.

Le choix d'un "bon" composé en fer ne suffit pas à lui assurer une bonne absorption. En effet, les composants de l'aliment véhicule comme de ceux des autres composants du régime peuvent interférer. Certains, les activateurs, augmentent l'absorption, d'autres en revanche, les inhibiteurs, la diminuent. Les inhibiteurs les plus puissants sont les phytates, les tannins, et certaines protéines comme les protéines de soja<sup>38</sup>. L'activateur le plus puissant est l'acide ascorbique<sup>39</sup> dont l'effet dose dépendant est fonction des autres activateurs ou inhibiteurs du régime<sup>40</sup>. Les acides citrique, succinique et lactique ont aussi un effet positif, mais moins important<sup>38</sup>.

L'adjonction de vitamine C à l'aliment fortifié est une solution relativement onéreuse et sa dégradation lors du stockage peut poser problème. D'autre part, l'effet bénéfique de l'acide ascorbique sur le fer élémentaire et le fumarate de fer est discutable<sup>41</sup>. L'utilisation de composés où le fer est protégé des inhibiteurs est une alternative. Trois composés présentent des possibilités intéressantes: l'éthylène diamine tétracétate de fer et de sodium (NaFeEDTA), le bisglycinate ferreux et l'hémoglobine.

Le NaFeEDTA est organoleptiquement stable et particulièrement intéressant pour les aliments nécessitant un stockage prolongé et des températures de préparation élevées ou qui contiennent des inhibiteurs du fer non-héminique<sup>42</sup>. Il a l'avantage non seulement de conférer une meilleure absorption au fer qu'il contient, mais aussi de favoriser l'absorption de l'ensemble du fer non héminique du régime et celle du zinc<sup>42</sup>. Dans le cas de régime contenant des inhibiteurs de l'absorption de fer, l'absorption du fer du NaFeEDTA, de l'ordre de 7-10%, est 2 à 3 fois supérieure à celle du sulfate de fer<sup>43</sup>. Ajouté à de la sauce de poisson<sup>28,44</sup>, du curry<sup>45</sup> ou du sucre<sup>46</sup> le NaFeEDTA améliore le statut nutritionnel des populations. Cependant, des réactions colorées se développent parfois comme par exemple lorsque le sucre enrichi est ajouté à des produits à base de maïs ou dans le thé et le café. En Bolivie, la consommation quotidienne pendant quatre mois d'*api*, mélange de maïs-quinua-tarui consommé sous forme de boisson chaude, contenant du sulfate de fer ou du NaFeEDTA améliore la concentration d'hémoglobine et les capacités intellectuelles et annule l'anémie chez des enfants scolarisés<sup>30</sup>.

Le bisglycinate de fer est composé d'une molécule de fer liée à deux molécules de glycine<sup>47</sup>. Son absorption serait élevée. Il ne réagirait pas avec les lipides et éviterait le rancissement des céréales, de la margarine et du lait<sup>48</sup>. Cependant le lait<sup>49</sup> et les phytates<sup>50</sup> diminueraient son absorption qui serait augmentée par l'acide ascorbique<sup>49</sup>. L'efficacité et la sûreté de ce composé doivent être évaluées dans diverses conditions avant de le recommander pour la fortification<sup>51</sup>.

Le concentré d'hémoglobine de bovin, dont l'absorption (de l'ordre de 15-20%) n'est pas influencée par les composants du régime hormis le calcium, a été employé au Chili comme fortifiant dans une farine de riz<sup>52</sup> et dans des biscuits de blé<sup>53</sup>. Ses principaux inconvénients sont sa couleur rouge-brun intense, sa faible teneur en fer de l'ordre de 0,3%, les problèmes de contamination potentiels impliqués dans sa production ainsi que les perceptions culturelles de ce supplément<sup>21</sup>.

La biodisponibilité du fer peut également être améliorée dans les aliments «véhicules» en diminuant l'effet des inhibiteurs notamment de l'acide phytique. Mais cette opération n'est réellement efficace que lorsque le contenu résiduel en acide phytique est très faible ou mieux inexistant<sup>41</sup>. Les pratiques traditionnelles qui réduisent les phytates et polyphosphates, comme le décorticage des céréales, le trempage, la germination qui active les phytases endogènes et la fermentation qui favorise un pH optimum pour l'activité des phytases, augmentent la biodisponibilité du fer. Ces méthodes sont particulièrement intéressantes pour la préparation d'aliments de complément du nourrisson<sup>54</sup> car elles diminuent aussi la viscosité des bouillies, améliore la biodisponibilité du zinc et le contenu en vitamines hydrosolubles comme la riboflavine et confèrent à l'aliment une meilleure sécurité microbiologique<sup>7</sup>. L'addition de phytase exogène augmente l'absorption du fer.

Les quantités de micronutriments à ajouter à l'aliment véhicule dépendent de plusieurs facteurs. Tout d'abord des besoins des populations cibles. Certains éléments évalués avant le démarrage du programme permettent de disposer d'informations quant aux apports quotidiens par l'alimentation et à la consommation de l'aliment enrichi. Ces deux paramètres influenceront la quantité de micronutriments à ajouter qui devra aussi tenir compte de la législation en cours dans le pays lorsqu'elle existe et des recommandations internationales. En général les niveaux d'enrichissement admis sont entre 15 et 30% des RDI. La biodisponibilité des micronutriments ajoutés est un autre élément à considérer. Elle peut être évaluée, comme par exemple pour le fer, à l'aide d'isotopes stables, mais, le plus souvent, elle est estimée à partir des connaissances disponibles. Des études d'efficacité biologique en condition contrôlées sont alors nécessaires afin de prouver l'impact positif et l'absence d'effets secondaires ou néfastes de l'aliment enrichi.

## **Evaluation de l'impact du programme**

Efficacité en conditions contrôlées: cette évaluation, appelée "*efficacy*" en anglais, a pour objectif de déterminer si une intervention est efficace ou plus efficace qu'une autre dans des conditions idéales. Une bonne étude repose sur une étude randomisée, réalisée en double-aveugle, incluant un groupe témoin et dans laquelle la consommation régulière et en quantités appropriées de l'aliment enrichi ou non ou du supplément ou du placebo est rigoureusement contrôlée. Les variables ou indicateurs mesurés doivent être choisis avec soin afin d'optimiser les résultats. Elles peuvent être des variables biologiques comme par exemple la mesure de la concentration d'hémoglobine ou de contenus sériques en micronutriments ou d'autres comme la croissance ou les performances intellectuelles ou physiques. De nombreux exemples d'études d'efficacité existent en particulier dans le cadre de la supplémentation en fer<sup>55-57</sup>. En ce qui concerne l'enrichissement d'aliments, l'étude que nous avons récemment réalisée au Vietnam dans le cadre de l'enrichissement en fer du *nuoc mam* (sauce de poisson) a démontré que la consommation régulière pendant 6 mois de 10 ml *nuoc mam* enrichi apportant 10 mg de fer sous forme de NaFeEDTA permet d'améliorer significativement le statut en fer et de réduire la prévalence de l'anémie ferriprive chez des femmes en âge fertile<sup>28</sup>. L'utilisation d'indicateurs du statut en fer comme la ferritine sérique et les récepteurs libres de la transferrine ont permis de

calculer les quantités de fer corporelles et d'estimer la quantité de fer absorbé au cours de l'étude.

Efficacité opérationnelle ou en conditions réelles ("effectiveness" en anglais): démontrer une efficacité en conditions contrôlées ne garantit pas que le programme aura un effet lorsqu'il sera mis en œuvre. Il est donc indispensable d'évaluer auparavant l'efficacité du programme dans les conditions réelles du terrain afin de décider si la population cible doit bénéficier du programme. Cette évaluation sera réalisée lorsque certaines des étapes de mise sur le marché et de promotion du produit présentées dans le paragraphe suivant auront été achevées. Cette évaluation requiert en général des échantillons de population plus importants qu'une étude "d'efficacy", parfois des communautés entières. La méthodologie utilisée repose le plus souvent sur la comparaison de deux sites différents dont seulement un bénéficie de l'intervention et/ou sur des évaluations avant-après sur les mêmes sujets ou des sujets différents. Les variables mesurées peuvent être aussi des variables biologiques ou physiologiques ou d'autres comme la consommation d'aliment enrichi par les populations cibles. Un des avantages de cette évaluation, réalisée le plus souvent sur des périodes assez longues, généralement plus d'une année, est qu'elle peut aussi permettre, si les bons indicateurs sont choisis, de mettre en évidence d'éventuels effets négatifs comme par exemple les risques d'accumulation de réserves en fer. L'évaluation d'efficacité en conditions réelles n'est, pour différentes raisons, pas toujours réalisée alors qu'elle constitue un argument essentiel pour convaincre les décideurs politiques et les bailleurs de fond à investir dans des actions de nutrition publique.

### **Promotion de l'aliment enrichi et pérennité du programme**

Une fois défini et son efficacité en conditions contrôlées testée, l'aliment enrichi doit donc faire l'objet de différentes attentions afin d'en assurer une consommation adéquate et la pérennité du programme.

Le contrôle de qualité, essentiellement de la responsabilité du producteur, permet de garantir la composition et la qualité sanitaire des ingrédients comme du produit fini et qu'à l'instant de sa consommation l'aliment contient la quantité requise de micronutriments<sup>22,58</sup>. Ceci implique notamment de considérer des éléments comme l'emballage du produit, l'exposition du produit aux conditions climatiques parfois extrêmes de certains pays et le temps qui peut se dérouler entre la préparation et la consommation du produit. Outre son utilité protectrice, l'emballage doit être informatif quant à son contenu et à son mode d'utilisation et ne pas accroître de façon substantielle le coût de l'aliment enrichi. Le prix de l'aliment enrichi est un élément important à considérer notamment lorsqu'il est destiné aux populations les plus défavorisées. Il dépend du coût global de l'enrichissement incluant le coût des micronutriments qui en représente la plus grande part, les ressources humaines, l'équipement et sa maintenance, le contrôle de qualité<sup>58</sup>... Le coût additionnel du produit enrichi peut être supporté par les pouvoirs publics, par les producteurs pouvant par exemple recevoir en échange des incitations fiscales ou un label des autorités sanitaires du pays indiquant l'intérêt du produit ou par les consommateurs si la promotion du produit a été bien planifiée. La communication et la promotion du produit sont des éléments très importants du programme notamment si le produit enrichi est en compétition avec d'autres produits similaires non enrichis ou si l'enrichissement a modifié de façon substantielle les propriétés organoleptiques ou le prix de l'aliment véhicule. La simple information des consommateurs ne suffit pas le plus souvent et des campagnes de promotion sociales et/ou commerciales sont nécessaires. Le programme Fasevie mené au Vietnam par l'Institut National de Nutrition de Hanoi en coopération avec l'IRD et le GRET s'est appuyé sur une

approche de marketing social visant à la promotion des conditions d'une bonne nutrition des nourrissons et des jeunes enfants<sup>59</sup>. Cette promotion est réalisée par des volontaires communautaires de l'Union des Femmes vietnamiennes et intègre des messages adaptés à l'âge des enfants concernant les bonnes pratiques alimentaires (allaitement exclusif jusqu'à six mois d'âge, introduction en temps opportun d'aliments de complément de bonne qualité nutritionnelle). Les aliments de compléments enrichis en vitamines et minéraux, fabriqués localement par de petites unités de production, sont proposés aux mères par les volontaires communautaires. Ces dernières sont rémunérées par une marge sur la vente des aliments enrichis ce qui contribue à la pérennité de ce projet. D'autres expériences impliquant la participation active des communautés ont montré des résultats intéressants<sup>60</sup>.

La mise sur le marché et la pérennité d'un programme de fortification dépendent aussi de la législation mise en place par les pouvoirs publics. Cette législation, qui doit s'appuyer sur les standards, recommandations et règlements du Codex Alimentarius, doit permettre d'atteindre les objectifs du programme d'enrichissement et d'assurer que les doses d'enrichissement soient dans des limites acceptables et sûres<sup>61</sup>. La mise en place d'un système de contrôle et de surveillance permettant d'ajuster les composantes du programme au cours de son développement complètera le dispositif devant assurer le succès et la pérennité du programme d'enrichissement.

## **RÉFÉRENCES**

1. Conférence Internationale sur la Nutrition (CIN). Les grands enjeux des stratégies nutritionnelles. Rome: FAO/OMS, 1992.
2. ACC/SCN. Fourth report on the world nutrition situation. Nutrition throughout the life cycle. Geneva: ACC/SCN in collaboration with IFPRI; 2000.
3. West KP. Extent of vitamin A deficiency among preschool children and women of reproductive age. *J Nutr* 2002;132(9):2857S-66S.
4. Gardner GW, Edgerton VR, Senewiratne B, Barnard RJ, Ohira Y. Physical work capacity and metabolic stress in subjects with iron deficiency anemia. *Am J Clin Nutr* 1977;30:910-7.
5. Basta S, Soekirman M, Karryadi K, Scrimshaw N. Iron deficiency anemia and the productivity of adult males in Indonesia. *Am J Clin Nutr* 1979;3:916-25.
6. Viteri F. Prevention of iron deficiency. In: Institute of Medicine NAPE, ed. Prevention of micronutrient deficiencies: Tools for policy makers and public health workers. Washington; National Academic Press, 1997:45-103.
7. Allen LH. Pregnancy and iron deficiency: Unresolved issues. *Nutr Rev* 1997;55(4):91-101.
8. Lozoff B, Brittenham GM, Viteri F, Wolf AW, Urrutia JJ. Developmental deficits in iron-deficient infants: effects of age and severity of iron lack. *J Pediatr* 1982;101(6):948-51.
9. Fairweather-Tait SJ. Iron deficiency in infancy: easy to prevent - or is it? *Eur J Clin Nutr* 1992;46 (4):9S-14S.
10. Chwang L, Soemantri AG, Pollitt E. Iron supplementation and physical growth of rural Indonesian children. *Am J Clin Nutr* 1988;47:496-501.

11. Berger J, Dyck JL, Galan P, et al. Effect of daily iron supplementation on iron status, cell-mediated immunity, and incidence of infections in 6-36 month old Togolese children. *Eur J Clin Nutr* 2000;54:29-35.
12. Ross A. The relationship between immunocompetence and vitamin A status. In: Sommer A, West KP, eds. *Vitamin A deficiency: health, survival and vision*. New York: Oxford University Press, 1996:251-73.
13. Bloem MW, Wedel M, Van Agtmaal EJ, Speek AJ, Saowakontha S, Schreurs WHP. Vitamin A intervention: short-term effects of a single, oral, massive dose on iron metabolism. *Am J Clin Nutr* 1990;51:76-9.
14. de Benoist B, Delange B. La carence iodée: bilan et perspective pour le futur. *Cahiers Santé* 2002;12(1):9-17.
15. Brown KH, Peerson JM, Rivera J, Allen LH. Effect of supplemental zinc on the growth and serum zinc concentrations of prepubertal children: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 2002;75(6):1062-71.
16. Hunt JM. Reversing productivity losses from iron deficiency: The economic case. *J Nutr* 2002;132(4):794S-801S.
17. de Pee SWC. Dietary carotenoids and their role in combating vitamin A deficiency: a review of the literature. *Eur J Clin Nutr* 1996;50:38S-53S.
18. de Pee S, Bloem MW, Gorsten J, et al. Reappraisal of the role of vegetables in the vitamin A status of mothers in Central Java, Indonesia. *Am J Clin Nutr* 1998;68:1068-74.
19. Berger J, Dillon J. Stratégies de contrôle de la carence en fer dans les pays en développement. *Cah Santé* 2002;12(1):22-30.
20. FAO/WHO. *Codex Alimentarius*. 2nd edition. 1994;4.
21. Hurrell R. Preventing iron deficiency through food fortification. *Nutr Rev* 1997;55(6):210-22.
22. Clarke R. *Technology and quality control*. Rome: FAO, 1995.
23. Ramakrishnan U, Yip R. Experiences and Challenges in Industrialized Countries: Control of Iron Deficiency in Industrialized Countries. *J Nutr* 2002;132(4):820S-24S.
24. World Bank. *Enriching lives: overcoming vitamin and mineral malnutrition in developing countries: development in practice*. Washington, DC: World Bank, 1994.
25. Hertrampf E. Iron Fortification in the Americas. *Nutr Rev* 2002;60(7(1)):22S-5S.
26. García-Casal MN, Layrisse M. Iron Fortification of Flours in Venezuela. *Nutr Rev* 2002;60(7(1)):26S-9S.
27. Mannar V, Gallego EB. Iron Fortification: Country Level Experiences and Lessons Learned. *J Nutr* 2002;132(4):856S-8S.
28. Thuy P, Berger J, Davidsson L, et al. Regular consumption of NaFeEDTA fortified fish sauce improved iron status and reduced anemia prevalence in anemic Vietnamese women. *Am J Clin Nutr* 2003;78:284-90.

29. Berger J, Trèche S, Salvignol B, Khan N, Goudeau C. Fortified complementary food - The Vietnam experience. Proceedings from the national seminar and workshop "Optimizing early child nutrition; integrating strategies for fortified complementary feeding." Jakarta, Indonesia, 26-27, September; 2001:37-43.
30. Berger J, Aguayo V, San Miguel JL, Tellez W, Lujan C. Estrategias de control de la anemia ferropénica en niños bolivianos residentes a gran altitud. In: Berger J SMJ, Arce RM, Fernandez E, Aguayo, eds. Anemias por deficiencia de hierro en la región andina: Definición y estrategias de intervención. ORSTOM; 1996:227-48.
31. Laillou A, Monvois C, Berger J, Bisavit-A. An innovative solution to combat micronutrient deficiency in Vietnam. Sight and life Newsletter, 2003:3-7.
32. Lofti M, Venkatesh Mannar M, Merx R, Naber-van den Heuvel P. Micronutrient fortification of foods. Current practices, research and opportunities: The Micronutrient Initiative (MI). International Development Research Center (IDRC)/International Agriculture Centre (IAC), 1996.
33. WHO/UNICEF/ICCIDD. Recommended iodine levels in salt and guidelines for monitoring their adequacy and effectiveness. Geneva: WHO, 1996.
34. Wirakartakusumah M, Hariyadi P. Technical aspects of food fortification. Food Nutr Bull 1998;132:101-8.
35. Hurrell RF, Furniss DE, Burri J, Whittaker P, Lynch SR, Cook JD. Iron fortification of infant cereals: a proposal for the use of ferrous fumarate or ferrous succinate. Am J Clin Nutr 1989;49:1274-82.
36. Fidler MC, Davidsson L, Zeder C, Hurrell RF. Erythorbic acid is a potent enhancer of nonheme-iron absorption. Am J Clin Nutr 2004;99(1):99-102.
37. Turner L. Monterrey workshop summary: evaluating the usefulness of elemental iron powders. Nutr Rev 2002;60(7):16S-17S.
38. McPhail P, Bothwell TH. The prevalence and causes of nutritional iron deficiency anemia. In: Fomon S, Zlotkin S, eds. Nutritional Anemias. Nestlé Nutrition Workshop Series. New York: Nestec Ltd., Vevey/Raven Press Ltd.; 1992:1-12.
39. Hallberg L, Brune M, Rossander L. Effect of ascorbic acid on iron absorption from different types of meals. Studies with ascorbic acid given in different amounts with different meals. Ann Nutr Appl Nutr 1986;40A:97-113.
40. Siegenberg D, Baynes RD, Bothwell TH, et al. Ascorbic acid prevents the dose-dependent inhibitory effects of polyphenols and phytates on nonheme-iron absorption. Am J Clin Nutr 1991;53:537-41.
41. Hurrell RF. Fortification: Overcoming Technical and Practical Barriers. J Nutr 2002;132(4):806S-12S.
42. 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. Am J Clin Nutr 1994;60:231-7.
43. International Nutritional Anemia Consultative Group (INACG). Iron EDTA for food fortification. Washington, DC: The Nutrition Foundation/ILSI, 1993.
44. Garby L, Areekul S. Iron supplementation in Thai fish-sauce. Ann Trop Med Parasitol 1974;68:467-76.

45. Ballot D, McPhail A, Bothwell T, Gilloomy M, Mayer FG. Fortification of curry powder with NaFe(II)EDTA in an iron-deficient population: report of a controlled iron-fortification trial. *Am J Clin Nutr* 1989;49:162-9.
46. Viteri F, Alvarez E, Bulux J, et al. Iron fortification in developing countries. *Nutrition in Health and Disease* 1994:345-54.
47. Pineda O, Ashmead H, Perez J, Lemus C. Effectiveness of iron amino acid chelate on the treatment of iron deficiency anemia in adolescents. *J Appl Nutr* 1994;46:2-13.
48. Cook JD. Adaptation in iron metabolism. *Am J Clin Nutr* 1990;51:301-8.
49. Olivares M, Pizzaro F, Pineda O, Name JJ, Hertrampf E, Walter T. Milk inhibits and ascorbic acid favors ferrous bis-glycine chelate bioavailability in humans. *J Nutr* 1997;127:1407-11.
50. Fox TE, Eagles J, Fairweather-Tait SJ. Bioavailability of iron glycine as a fortificant in infant foods. *Am J Clin Nutr* 1998;67:664-8.
51. Allen L, Ahluwalia N. Improving iron status through diet. The application of knowledge concerning dietary iron bioavailability in human populations. USAID/OMNI, 1997.
52. Calvo E, Hertrampf E, de Pablo S, Amar M, Stekel A. Haemoglobin-Fortified-Cereal: an alternative weaning food with high iron bioavailability. *Eur J Clin Nutr* 1989;43:237-43.
53. Olivares MHE, Pizarro F, Walter T, et al. Hemoglobin-fortified biscuits: bioavailability and its effect on iron nutriture in school children. *Arch Lat Am Nutr* 1990;2:209-19.
54. Obizoba I, Atii J. Effect of soaking, sprouting, fermentation and cooking on nutrient composition and some anti-nutritional factors of sorghum. (Guinesia) seeds. *Plant Foods Hum Nutr* 1991;41:203-12.
55. Berger J, Aguayo VM, Tellez W, Lujan C, Traissac P, San Miguel JL. Weekly iron supplementation is as effective as 5 day per week iron supplementation in Bolivian school children living at high altitude. *Eur J Clin Nutr* 1997;51:381-6.
56. Liu XN, Kang J, Zhao L, Viteri FE. Intermittent iron supplementation in Chinese preschool children is efficient and safe. *Food Nutr Bull* 1995;16(2):139-46.
57. Beaton G, McCabe G. Efficacy of intermittent iron supplementation in the control of iron deficiency anemia in developing countries: an analysis of experience. Toronto, Canada: Micronutrient Initiative, Canadian International Development Agency (CIDA), 1999.
58. FAO/ILSI. Preventing micronutrient malnutrition: a guide to food-based approaches. A manual for policy makers and programme planners. Rome: FAO/ILSI, 1997.
59. Berger J, Laillou A, Khan N, Monvois C, Salvignol N, Trèche S. Fasevie: une solution originale au problème de la malnutrition infantile au Vietnam. *Les cahiers de la Coopération française au Vietnam*, 2004:30.
60. Nantel G, Tontisirin K. Policy and sustainability issues. *J Nutr* 2002;132(4):839S-44S.
61. Orriss G. Food fortification: safety and legislation. *Food Nutr Bull* 1998;19(2):109-16.

