

Stabilité et acceptabilité du sel alimentaire enrichi en fer + iode, en zone d'endémie goitreuse (Brikcha, Maroc)

Larbi ALAOUÏ¹, Diego MORETTI² & Michael ZIMMERMANN²

(Reçu le 16/01/2002 ; Accepté le 18/02/2002)

قبول واستقرار الملح المزود بالحديد واليود في منطقة يكثر بها انتشار مرض الغدة الذرقية (بريكشة، المغرب)

الهدف من هذا البحث، اختبار استقرار وقبول الملح المزود بمادتي الحديد واليود، في منطقة يكثر بها انتشار نقص استهلاك هذه العناصر الدقيقة. وقد تم تزويد الملح بهذه العناصر من ثلاثة أنواع من الخليط، قورنت هذه الأنواع بعد إضافتها للملح المحلي، من ناحية القبول من طرف المستهلك وكذلك استقرار اللون بعد التخزين في عين المكان. تغيرات اللون والذوق أخذت بعين الإعتبار. وقد استنتجنا أن الملح المزود بالخليط السويسري (ETH) هو الأفضل من حيث القبول و الإستقرار. ويمكن استعماله في برامج محاربة نقص هذه العناصر الدقيقة.

الكلمات المفتاحية : الملح- التزويد المزدوج- الحديد- اليود- استقرار- قبول

Stabilité et acceptabilité du sel alimentaire enrichi en fer + iode, en zone d'endémie goitreuse (Brikcha, Maroc)

La présente étude a été entreprise pour tester l'enrichissement en fer et iode du sel alimentaire dans une région (Brikcha, Maroc) où les carences en fer et en iode coexistent, en particulier chez les enfants d'âge scolaire. La stabilité et l'acceptabilité du sel enrichi selon trois types de formulations (canadienne, indienne et suisse) ont été étudiées. Les tests organoleptiques et de changement de couleur ont été effectués durant le stockage. L'étude de ces sels enrichis a montré que la stabilité et l'acceptabilité sont en faveur de la formulation suisse (ETH). Cette dernière pourrait donc être envisagée dans les programmes de lutte contre les carences en fer et en iode (anémie et goitre).

Mots clés : Sel - Enrichissement double - Fer - Iode - Stabilité - Acceptabilité

Stability and acceptability of dual- fortified salt (iron + iodine) in endemic goiter zone (Brikcha, Morocco)

The present study was undertaken to test the dual-fortification of salt (iron + iodine) in an area (Brikcha, Morocco) where the iodine and iron deficiencies coexist particularly in children. The stability and acceptability of the salts enriched with one of three formulas (Canadian, Indian and Swiss) containing different forms of both iron and iodine were studied. Organoleptic tests and changes in color were the major tests conducted on the three salts. The tests of salts enriched by one or the other of these three formulas showed a better stability and acceptability of the Swiss formula (ETH). The latter could be considered in national programs to overcome both iodine and iron deficiencies.

Key words : Salt - Dual-fortification - Iron - Iodine - Stability - Acceptability

¹ Département des Sciences Alimentaires et Nutritionnelles, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202-Instituts 10101, Rabat, Maroc

² Laboratoire de Nutrition, École Polytechnique Fédérale de Zurich, Suisse

[□] Auteur correspondant ; e-mail : l.alaoui@iav.ac.ma

INTRODUCTION

L'iode est un élément chimique rare dans les aliments et l'eau. L'Homme a besoin d'iode pour synthétiser les hormones thyroïdiennes, indispensables à la croissance physique et au développement du cerveau (Dunn & Haar, 1990).

Les carences en micronutriments constituent un problème préoccupant au niveau national. En effet, un programme national de lutte contre ces carences a été entrepris par le Ministère de la Santé. Il comprend la supplémentation en fer particulièrement des femmes enceintes et l'enrichissement de certains aliments de base (huile, sel, farine). D'autres aliments comme les margarines sont enrichies en vitamines A et D. L'enrichissement du sel en iode à lui seul semble être insuffisant, alors que l'enrichissement de la farine en fer et de l'huile en vitamine A pose certains problèmes, notamment de stabilité et de biodisponibilité.

Parmi les troubles dus à la carence iodée, il y a le goitre dû à l'hypertrophie de la glande thyroïde suite à l'augmentation de son activité métabolique. Généralement, plus la carence iodée est sévère, plus la fréquence du goitre est élevée. On parle alors de goitre endémique (Tissot, 1988). Cette situation rencontrée classiquement dans les régions montagneuses s'explique vraisemblablement par la double action de la pauvreté des sols en iode et la consommation d'aliments pauvres en cet élément.

Au Maroc, la carence en iode constitue un problème de santé publique. Une enquête nationale réalisée en 1993 a montré une fréquence moyenne du goitre de 22% chez les enfants âgés de 6 à 12 ans dont 63% ont une iodurie inférieure à la normale (<10µg/dl) (Ministère de la Santé, 2001).

Face à cette situation, un programme national d'iodation du sel a été entrepris par Décret (Bulletin Officiel, 1995). Ce programme consiste à enrichir le sel alimentaire en iode. Toutefois, l'iode est un produit instable qui sublime. En plus, des études récentes ont montré que la réponse thérapeutique à de l'huile iodée administrée par voie orale est améliorée chez les enfants goitreux et anémiques après leur supplémentation en fer (Zimmermann *et al.*, 2000). Une étude récente à ce sujet a montré une haute fréquence de la carence en fer chez les enfants goitreux d'âge scolaire vivant en zone rurale (Alaoui *et al.*, 2001), ce qui

affecte l'efficacité d'utilisation du sel iodé. Le programme d'iodation du sel ne semble pas être efficace à lui seul, surtout si la carence en fer coexiste.

Ainsi, cette étude a pour objectifs d'évaluer la stabilité chimique de trois formulations différentes de sel doublement enrichi en fer et en iode, d'une part, et, d'autre part, d'estimer l'acceptabilité, des différents sels enrichis, par la population de la Commune rurale de Brikcha, Province de Chefchaouen, une des zones de montagne considérées à haute fréquence (Chaouki & Saad, 1995 ; Zimmermann *et al.*, 2000).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Préparation du sel doublement enrichi

Le double enrichissement en fer et iode du sel alimentaire peut être une approche appropriée pour prévenir les carences en fer et en iode. La problématique réside dans l'assurance de la stabilité du mélange et la biodisponibilité de ces micronutriments. À cet effet, trois formulations contenant du fer et de l'iode ont été testées. Leurs compositions figurent dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition des formulations en fer et iode utilisées pour l'enrichissement du sel

Formulation Teneurs		Mode de stabilisation du mélange
	Iode (µg/g)	Fer (mg/g)	
Canadienne (MI)	40	1 et 2	Iode encapsulé dans l'isomaltose (fer fumarate)
Indienne (NIN)	40	1 et 2	+ Hexaphosphate de Na comme stabilisant (1%)
Suisse (ETH)	40	1 et 2	Fer encapsulé dans l'huile de soja hydrogénée

Le sel natif, non iodé, produit par une coopérative locale dans la commune de Brikcha (région de Chefchaouen) est utilisé. Trois formes de sel doublement fortifié et une forme iodée sont préparées (Tableau 1) :

- Sel 1 [formulation MI] : du KI encapsulé de dextrine, fournie par l'Initiative pour les Micronutriments au Canada, et du fumarate ferreux sont mélangés à sec au sel à des teneurs en KI de 52 ppm et en fumarate ferreux soit de 3000 ppm, soit de 6000 ppm. Cette formulation fournit soit 40 µg d'Iode et 1 mg de Fer par g de sel, soit 40 µg d'Iode et 2 mg de Fer par g de sel.

- Sel 2 [formulation NIN] : du sulfate ferreux, du KI et de l'hexamétaphosphate de sodium sont mélangés à sec au sel à des teneurs en KI de 52 ppm, en FeSO₄ heptahydrate soit de 5000, soit de 10000 ppm et 1% hexamétaphosphate de sodium. Cette formulation fournit soit 40 µg d'Iode et 1 mg de Fer par gramme de sel, soit 40 µg d'Iode et 2 mg de Fer par gramme de sel.
- Sel 3 [Formulation ETH] : du sulfate ferreux encapsulé est mélangé à sec au sel à des teneurs en KI de 52 ppm, en FeSO₄ heptahydrate soit de 5000 ppm, soit de 10000 ppm, soit de 20000 ppm. Cette formulation fournit soit 40 µg d'Iode et 1 mg de Fer par gramme de sel, soit 40 µg d'Iode et 2 mg de Fer par gramme de sel, soit 40 µg d'Iode et 4 mg de Fer par gramme de sel.
- Sel 4 [Témoin] : le sel est iodé à une teneur en KI de 52 ppm (40 µg Iode par gramme de sel). Les niveaux d'enrichissement en fer dans les 4 sels ci-dessus sont basés sur les estimations de consommation quotidienne de sel et de la biodisponibilité du fer tirées d'une enquête de consommation alimentaire, conduite au préalable.

2. Étude de stabilité

Les trois formulations de sel doublement enrichi et le sel iodé localement sont stockés aux conditions ambiantes du Maroc du Nord au niveau de la commune de Brikcha, durant la période été-automne (25-35°C, faible humidité) et la période hiver-printemps (15-25°C, humidité élevée). La stabilité des différents sels est testée aux semaines 1, 4, 8 et 12 de stockage. Les tests sont effectués sur du sel stocké en portions de 1 et 10 kg dans des sacs en plastique fournis par la coopérative et en portions de 100 g en sachets en plastique, en vente sur le marché local. Après 1, 4, 8 et 12 semaines de stockage, les 3 formulations de sel doublement fortifié et le sel iodé sont comparées comme suit :

- Entretien avec les ménagères concernant l'acceptabilité de la couleur et son changement éventuel.
- Le changement de la coloration est déterminé par colorimétrie et par inspection à l'œil nu.
- En plus, des tests sensoriels ont été effectués sur des repas typiques à la région (pain, couscous, bissara (purée de fève) et harira).

3. Tests organoleptiques

Les trois formes de sel doublement enrichi et le sel iodé sont ajoutés à des repas marocains typiques afin d'évaluer les changements potentiels de

couleur et/ou de goût. Chaque type de sel est ajouté en quantités identiques, et en parallèle, à des portions séparées d'aliments typiques locaux, y compris du pain de blé, de la bissara (purée de fève avec de l'huile d'olive) et du couscous aux légumes (légumes, bouillon, couscous). La saveur et la couleur des aliments sont systématiquement évaluées et comparées par un panel de 12 personnes locales, en utilisant un test en triangulaire. Durant ces tests, chaque paneliste reçoit les échantillons de sauce codés dans un ordre aléatoire. On lui demande ainsi de déterminer lequel des échantillons diffère des deux autres, d'indiquer en quoi la saveur de cet échantillon particulier diffère de la saveur des autres et si la saveur est acceptable. Des portions d'aliments préparées avec du sel enrichi sont goûtées par les participants. Ce test triangulaire consiste à présenter au testeur trois échantillons apparemment identiques mais dont l'un d'eux est préparé à l'aide d'un sel enrichi et de voir si le participant peut identifier l'échantillon différent (à tester).

En plus, 200 ménagères adultes ont été interviewées concernant leurs choix basés sur la couleur du sel enrichi.

4. Consommation du sel alimentaire

La méthode adoptée pour évaluer la consommation de sel par jour et par personne, consistait à donner à 10 familles un sac de 500 g de sel (traditionnel), à noter le nombre des membres de la famille présents pendant la période étudiée et à peser le sel restant.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Stabilité chimique

Le double enrichissement en fer et en iode du sel alimentaire a été suggéré comme une stratégie potentiellement efficace pour prévenir les carences en ces micronutriments essentiels pour l'homme (Madhavan *et al.*, 1998; Micronutrient Initiative, 1996). En milieu rural marocain, le sel alimentaire est un véhicule efficace pour l'enrichissement vu sa disponibilité pour tous, à coût modéré et sa consommation régulière. Toutefois il reste la problématique d'assurer la stabilité de l'iode et la biodisponibilité du fer lorsqu'ils sont combinés. Ceci entraîne des interactions entre ces micronutriments et des changements de couleur appréciables (Rao, 1994). En effet, en présence

d'ions ferreux et d'oxygène, l'iodure du sel enrichie est instable en raison de l'oxydation catalytique de l'iodure en iode élémentaire qui s'évapore. De même, le fer facilement oxydable en forme ferrique présente généralement une biodisponibilité plus basse et peut être combiné aux impuretés du sel pour donner une couleur jaune à brune (Madhavan *et al.*, 1998). Ceci se traduit par une perte de fer.

Dans la présente étude, la formulation la plus stable après 12 semaines de stockage de point de vue couleur est la formulation suisse (ETHZ).

Les changements après une semaine de stockage n'étaient pas détectables malgré cette incompatibilité chimique entre le fer et l'iode, il pourrait être possible de stabiliser l'iode en présence du sulfate ferreux en utilisant un chélatant (polyphosphate). Rao, à l'Institut National de Nutrition en Inde a proposé un mélange de FeSO_4 (3200 ppm), de KI (40 ppm) et d'hexamétophosphate de sodium (SMHP) (1%) (NIN). La stabilité de l'iode dans cette formulation peut être acceptable jusqu'à six mois, mais dépend de la qualité du sel utilisé pour l'enrichissement. L'absorption moyenne du fer de cette formulation consommée sous forme d'un repas à base de riz était de 6,1%, et l'addition de SMHP augmente la biodisponibilité du fer d'un facteur de 1,5 (Rao, 1994).

Des essais sur le terrain de la formulation NIN ont produit des résultats mitigés ; l'iode est apparu comme biodisponible, mais la réponse au fer n'était pas uniforme (Madhavan *et al.*, 1998). La création d'une barrière physique entre l'iode et le fer pourrait prévenir leur interaction. Sur la base de cette idée, une forme de sel doublement enrichi a été développée par l'Initiative pour les Micronutriments au Canada (MI). Dans cette formulation, l'iodure de potassium (KI) est enrobé avec de la maltodextrine ; le fer est ajouté sous forme de fumarate ferreux (Micronutrient Initiative, 1996). Ce mélange contient du fumarate ferreux (3200 ppm) et du KI (65 ppm). Le fumarate ferreux est insoluble dans l'eau, mais soluble dans le suc gastrique et possède une biodisponibilité relativement élevée. L'absorption du fer de cette formulation, dans des repas contenant des inhibiteurs et des promoteurs, a été rapportée comme étant de 4% pour les premiers et de 13,5% pour les derniers. Des tests effectués au Canada ont montré que l'iode de cette formulation est resté stable durant le stockage du sel et le composé de fer n'a causé aucun problème organoleptique (Sattarzach & Zlothlin, 1999).

L'autre forme potentielle de sel doublement enrichi, avec une barrière physique entre l'iode et le fer, est une formulation contenant du sulfate de fer capsulé et du KI (ETHZ). Lorsqu'il est encapsulé dans de l'huile de soja hydrogénée, la biodisponibilité du sulfate de fer est relativement élevée, par rapport au sulfate de fer non encapsulé. De ce fait, il est moins susceptible de causer des problèmes organoleptiques et/ou des changements de couleur lorsqu'il est ajouté aux aliments (Hurrell *et al.*, 1996). Bien qu'un sel doublement fortifié puisse être un moyen efficace pour combattre les carences en fer et en iode dans des pays comme le Maroc, son choix doit être justifié par sa stabilité et son efficacité dans les conditions marocaines.

2. Acceptabilité du sel enrichi

Pour tous les aliments testés (couscous, harira, bissara, pain), tous les dégustateurs (n=12) n'ont pas réussi à différencier les repas cuits avec du sel traditionnel et ceux qui sont cuits avec des sels enrichis.

La formulation préférée par les femmes interrogées (n=200) est la traditionnelle. Le sel préféré par les ménagères est celui de la formulation suisse (ETH), suivi de près par la formulation indienne (NIN). La formulation canadienne (MI) est la moins appréciée à cause des changements de couleur dus à l'instabilité du mélange.

3. Consommation du sel alimentaire

La consommation de sel est estimée à 10 g par jour et par personne adulte. Ces résultats semblent être plus élevés que ceux qui sont rapportés par une étude en Côte d'Ivoire où l'on montre que la quantité de sel consommé varie entre 5,7 g/j et 6,8 g par jour (Hess *et al.*, 1999). Cependant, il a été rapporté qu'au Maroc, la quantité de sel destinée pour usage alimentaire correspond à une consommation moyenne par individu et par an de l'ordre de 6,3 kilogrammes (El Hakkaoui, 1995), soit environ 17 g par jour.

Ainsi, le sel peut constituer un véhicule intéressant pour enrichir l'alimentation des populations (surtout pauvres) en certains micronutriments, comme l'iode et le fer. Ce dernier est indispensable à l'incorporation de l'iode au niveau de la glande thyroïde pour la synthèse des hormones thyroïdiennes (Beard *et al.*, 1998). De

plus, les carences en fer et en iode constituent des problèmes de santé publique dans les pays en développement (ACC/SCN, 1992).

De ce fait, l'enrichissement double du sel alimentaire peut être envisagé comme une stratégie de lutte à long terme contre ces problèmes. Ces niveaux de consommation du sel sont très proches de ceux calculés (10 g/personne . j) dans des études menées aux États-Unis par Dahl & Love en 1957 (NRC, 1989). L'apport de sodium correspondant est de 4 g/personne . j.

Par ailleurs, l'apport quotidien recommandé en chlorure de sodium ne doit pas dépasser 6 g/j pour l'adulte (NRC, 1989).

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude comparative montrent que la formulation ETH s'avère être la plus stable (couleur) et la plus satisfaisante au niveau des tests organoleptiques. Cette formulation, acceptée par la population locale, est ainsi la plus susceptible de réduire la fréquence de l'anémie et du goitre. Elle doit être considérée comme alternative dans les programmes de lutte contre les carences en fer et en iode dans des pays comme le Maroc.

En effet, l'enrichissement d'autres aliments de base comme la farine (Programme d'enrichissement par le fer en cours) risque de poser des problèmes de stabilité du mélange et surtout de biodisponibilité du fer, dans des régimes alimentaires riches en phytates, inhibiteurs potentiels de l'absorption du fer.

De plus, le programme d'iodation du sel (déjà mis en place depuis quelques années, pour lutter contre le goitre et les autres problèmes de la carence iodée) n'est efficace que si la carence en fer est absente, particulièrement chez les enfants. Une stratégie globale de lutte contre les carences en ces micronutriments s'impose et doit prendre en considération leurs interactions éventuelles.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Dr Chaouki N. (Direction de l'épidémiologie, Rabat), Dr Bagho & Dr Bousfiha (Délégation Provinciale de Chefchaouen) pour leur soutien.

RÉFÉRENCES CITÉES

- ACC/SCN (1992) Second report on the world nutrition situation. Vol. I. Global and regional results. Geneva
- Alaoui L., Zimmermann M., Hess S. & Hammouda A. (2001) Prevalence of iron deficiency among school-age children living in a rural area in Morocco. Accepted for presentation at the *Vth Conference of the International Society for Trace Element Research in Humans (ISTERH)*, September, Québec, Canada
- Beard J.L., Borel M.J. & Derr J. (1990) Impaired thermoregulation and thyroid function in iron deficiency anemia. *Am. J. Clin. Nutr.* 52 :813-819
- Bulletin Officiel (1995) Décret N°2-95-709 relatif à l'iodation du sel destiné à l'alimentation humaine, page 4. 12 décembre
- Chaouki N. (1995) Résultats de l'enquête nationale sur la carence iodée. *Communication orale présentée à la Conférence nationale sur les troubles dus à la carence iodée. Mars 1995, Rabat*
- Dunn J.T & Van der Harr F. (1990) A practical guide to the correction of iodine deficiency. International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders (ICCIDD), UNICEF, WHO. Technical manual N°3
- El Hakkaoui M. (1995) Situation du secteur du sel au Maroc. *Communication orale présentée à la Conférence nationale sur les troubles dus à la carence iodée. Mars 1995, Rabat*
- Hess S.Y., Zimmermann M.B., Staubli-Asobayire F, Tebi A. & Hurrell R.F. (1999) An evaluation of salt intake and iodine nutrition in a rural and urban area of the Côte d'Ivoire. *Europ. J. Clin. Nutr.* 53 : 680-686
- Madhavan N.K., Brahman G.N.V. & Ranganathan S. (1998) Impact evaluation of iron and iodine salt. *Ind. J. Med. Res.* 108 : 203-211
- Ministère de la Santé (2001) Les carences en micronutriments : ampleur du problème et stratégies de lutte, 27 p.
- National Research Council (NRC) (1989) Recommended dietary allowances, 10th Edition, National Academy Press, Washington, DC. 252
- National Research Council (NRC) (1989) Diet and Health : Implications for Reducing Chronic Disease Risk. Report of the Committee on Diet and Health, Food and Nutrition Board. National Academy Press, Washington DC, 750
- Rao B.S.N (1994) Fortification of salt with iron and iodine to control anemia and goiter : Development of new formula with good stability and bioavailability of iron and iodine. *Food Nutr. Bull.* 15, The UN University

Sattarzach M. & Zlotkin S.H. (1999) Iron is well absorbed by healthy adults after ingestion of double-fortified table salt and urinary excretion is unaffected. *J. Nutr.* 129 : 117- 121

The Micronutrient Initiative (1996) Micronutrient fortification of foods. International development research center (IDRC)/MI/IDRC, Ottawa, pp. 81-82

Tissot F. (1988) Le goitre endémique. Document préparé dans le cadre du projet Haut-Atlas Central, volet santé. Coopération Franco-Marocaine

Zimmermann M., Adou P., Torresani T., Zeder C. & Hurrell R. (2000) Iron supplementtion in goitrous, iron-deficient children improves their response to oral iodized oil. *Europ. J. Endoc.* 142 : 217-223

Zimmermann M.B., Saad A., Hess S.Y., Torresani T. & Chaouki N. (2001) Thyroid ultrasound compared to WHO 1960 and 1994 palpation criteria for determination of goiter prevalence in regions of mild and severe iodine deficiency. *Eur. J. End* 143 : 727-731