HAL
open science

La supplémentation des aliments par des minéraux : intérêt nutritionnel

Fabienne Reymond

To cite this version:

Fabienne Reymond. La supplémentation des aliments par des minéraux : intérêt nutritionnel. Sciences pharmaceutiques. 1993. dumas-02453143

HAL Id: dumas-02453143

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02453143

Submitted on 4 Feb 2020

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

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

UFR de Pharmacie
UNIVERSITÉ Grenoble Alpes

BIBLIOTHÈQUES UNIVERSITAIRES Grenoble Alpes

UNIVERSITÉ Grenoble Alpes
Grenoble INP

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SID de Grenoble :
bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/juridique/droit-auteur

1e exemplaire

UNIVERSITE Joseph FOURIER GRENOBLE I Sciences Technologie Médecine

U. F. R DE PHARMACIE
Domaine de la Merci - La Tronche

ANNEE : 1993 N° D'ORDRE : 7049

LA SUPPLEMENTATION DES ALIMENTS PAR DES MINERAUX INTERET NUTRITIONNEL

THESE

Présentée à l' Université Joseph FOURIER GRENOBLE I
pour obtenir le grade de : DOCTEUR EN PHARMACIE

Par

115 012823 0

Mlle REYMOND Fabienne
[Données à caractère personnel]

BIBLIOTHÈQUE INTERUNIVERSITAIRE GRENOBLE MÉDECINE-PHARMACIE

Cette thèse sera soutenue publiquement le 26 Novembre 1993

Devant **Madame le Professeur J. ALARY, Président du jury**
et
Monsieur le Professeur A. FAVIER
Madame J. ARNAUD, Praticien Hospitalier

UNIVERSITE Joseph FOURIER GRENOBLE I Sciences Technologie Médecine

U. F. R DE PHARMACIE
Domaine de la Merci - La Tronche

ANNEE : 1993 N° D'ORDRE :

LA SUPPLEMENTATION DES ALIMENTS PAR DES MINERAUX INTERET NUTRITIONNEL

THESE

Présentée à l' Université Joseph FOURIER GRENOBLE I
pour obtenir le grade de : DOCTEUR EN PHARMACIE

Par

Mlle REYMOND Fabienne
[Données à caractère personnel]

BIBLIOTHÈQUE INTERUNIVERSITAIRE GRENOBLE MÉDECINE-PHARMACIE

Cette thèse sera soutenue publiquement le 26 Novembre 1993

Devant **Madame le Professeur J. ALARY, Président du jury**
et
Monsieur le Professeur A. FAVIER
Madame J. ARNAUD, Praticien Hospitalier

A Gilles, Véronique, Jean Baptiste, Richard, et à tous ceux qui m'ont suivi, aidé, soutenu.

A Thierry,
" e d'i to ghjorni à l'eternu ... ",

A mes parents, frères et soeurs,

A Fanny et Manon,

Tous nos remerciements à Mademoiselle ALARY pour avoir guidé ce travail et nous avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance de cette thèse. Son enseignement nous a permis de découvrir la bromatologie et a conduit nos études.

Nous tenons également à assurer Monsieur FAVIER de toute notre reconnaissance pour son aide, ses conseils, et pour avoir accepter de juger cette thèse.

Nous remercions Madame ARNAUD de nous avoir acueilli au sein du laboratoire de biochimie pour parfaire nos connaissances en matière d'analyse des oligo-éléments. Nous la remercions aussi d'avoir consenti à participer à notre jury.

PLAN

INTRODUCTION p 9

-I-MINERAUX ET ALIMENTATION

-1- Minéraux: définition p 13

-2- Les minéraux chez l'homme p 13

-3- Les apports nutritionnels conseillés p 16

-3-1-Le calcium p 17
-3-2-Le phosphore p 18
-3-3-Le magnésium p 18
-3-4-Le fer p 19
-3-5-Le zinc p 21
-3-6-L'iode p 22
-3-7-Le sélénium p 22
-3-8-Le cuivre p 23
-3-9-Le manganèse p 24
-3-10-Le chrome p 25
-3-11-Le molybdène p 26
-3-12-Le fluor p 27

-4- Conclusion p 28

-II- LEGISLATION

-1- Définitions p 31

-1-1-La restauration p 31
-1-2-L'enrichissement p 32
-1-3-Standardisation-normalisation p 32

-2- Les aliments destinés à une alimentation particulière **p 33**

-2-1- Définition p 33
-2-2- Les minéraux autorisés p 34
-2-3- Conditions d'addition des minéraux p 37
-La restauration
-L'enrichissement
-2-4- Cas particuliers p 39
-Aliments de l'enfance
-Produits de régime destinés aux régimes hypocaloriques
-Produits diététiques de l'effort
-Alimentation liquide spéciale

-3- Aliments dits courants **p 42**

-3-1- Les aliments de consommation courante
-3-2- Les aliments pour lesquels il existe des mesures dites d'hygiène publique

-4- Les méthodes officielles d'analyse **p 44**

-5- Conclusion **p 45**

-III-LA SUPPLEMENTATION DES ALIMENTS EN MINERAUX: ASPECTS TECHNOLOGIQUES

-1-Les interactions entre minéraux et aliments: problèmes organoleptiques et de conservation **p 47**

-2-Biodisponibilité des minéraux dans les aliments **p 50**

-2-1- Variations en fonction des sels minéraux employés p 51
-2-1-1- Le Fer
-2-1-2- Le Calcium
-2-1-3- Le Fluor
-2-1-4- Autres minéraux

-2-2- Les facteurs externes p 58
-2-2-1- Le Fer
-2-2-2- Le Zinc
-2-2-3- Le Fluor
-2-2-4- Autres minéraux
-2-2-5- L'action des phytates

-3- Conclusion **p 64**

-IV- L'INTERET D'UN ENRICHISSEMENT DES ALIMENTS EN MINERAUX

-1- Une supplémentation en minéraux par les aliments est-elle efficace ? p 66

-1-1-Le fer p 66
-1-2- Le zinc p 67
-1-3- Le calcium p 68
-1-4- Le sélénium p 68
-1-5- L'iode p 69
-1-6- Le fluor p 69
-1-7- Le cuivre p 69
-1-8- Le molybdène p 70

-2- Innocuité des aliments supplémentés p 70

-3- Comment mener une supplémentation par les aliments p 72

-4- Règles générales de l'enrichissement p 74

-5- Conclusion p 76

-V- METHODES DE DOSAGE DES MINERAUX DANS LES ALIMENTS

-1- Préparation de l'échantillon p 79

-1-1- L'échantillonnage p 79
-1-2- La minéralisation p 79

-2- Les méthodes de dosage p 82

-2-1- L'absorption atomique p 82
-2-1-1- Le moyen de production d'un faisceau de radiations de résonnance
-2-1-2- La méthode d'atomisation
-2-1-3- Sensibilié de l'absorption atomique
-2-1-4- Limites de détection de l'absorption atomique
-2-2- Spectrométrie d'émission atomique p 87
-2-3- Fluorimétrie atomique et moléculaire p 88
-2-4- La polarographie p 90
-2-5- Comparaison de ces méthodes p 91
-2-6- Autres méthodes p 92

-3- Les méthodes officielles d'analyse **p 93**

-4- Conclusion **p 93**

-VI- LES PRODUITS ENRICHIS EN MINERAUX

-1- Une journée de supplémentation minérale **p 96**

-2- Les produits de régime **p 98**

-3- Pour bébé **p 98**

-4- La nutrition entérale par sonde **p 99**

-5- Conclusion **p 104**

-VII- CONCLUSION **p 106**

BIBLIOGRAPHIE **p 109**

TABLEAUX **p 114**

FIGURES **p 116**

ANNEXES

Annexe 1 p 119
Annexe 2 p 123
Annexe 3 p 125

SYMBOLES ET ABREVIATIONS

A. Q. R. : Apports quotidiens recommandés

Ca : Calcium

C.E.D.A.P. : Commission interprofessionnelle et interministérielle d'Etudes des Denrées destinées à une Alimentation Particulière

C.E.E : Communauté Economique Européenne

C.S.H.P.F. : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

Cr : Chrome

Cu : Cuivre

F : Fluor

F.A.O : Food and Agriculture Organisation

Fe : Fer

I : Iode

KCal : KiloCalories

KJ : KiloJoules

Mg : Magnésium

Mn : Manganèse

Mo : Molybdène

O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé

Se : Sélénium

Zn : Zinc

B.U.
MED.
GRENOBLE

INTRODUCTION

LES MINERAUX

Ce terme évoque tout d'abord les couleurs irisées des pierres précieuses ou la masse brutale du granit, mais c'est à l'état de traces dans les aliments que nous allons nous intéresser aux minéraux.

Pour certains, ils sont aussi indispensables à la vie que les vitamines.

La mise en évidence du rôle essentiel des minéraux dans l'alimentation est assez récente puisque les premiers travaux remontent seulement à un siècle, mais leur utilisation empirique dans le maintien ou le rétablissement de la santé est, elle, fort ancienne.
Citons tout d'abord le père de la médecine, Hyppocrate: "Ce que les remèdes ne guérissent pas, le fer le guérit, ce que le fer ne guérit pas il faut le regarder comme incurable" (Hyppocrate LXXXVII Section 7). On relate également que Mélampus, 4000 ans avant JC, administrait à Jason et aux Argonautes du vin sucré additionné de limaille de fer, pour renforcer la résistance des navigateurs aux flèches et lances et augmenter leurs capacités sexuelles *(Frazer 1935)*.
Les médications martiales ont été de tout temps utilisées, des civilisations grecques au Moyen Age.

L'iode a été aussi très utilisé: les goitres étaient maladie fréquente jusqu'au siècle dernier et la médecine traditionnelle chinoise recommandait l'utilisation d'algues, alors que les médecins suisses préféraient les éponges grillées.

Depuis, par les travaux de pionniers comme Gabriel Bertand ou Raulin et par les découvertes des lois de la chimie électronique, les minéraux sont reconnnus aujourd'hui pour leur rôle essentiel chez les êtres vivants.
Cette découverte a abouti tout d'abord à leur utilisation en thérapeutique et, dans la dernière décennie, la recherche du bien être et la médiatisation du rôle des minéraux ont conduit à la commercialisation de nouveaux aliments enrichis en minéraux.

Nous tenterons d'évaluer si ces aliments correspondent à un besoin réel de la population dans les pays industrialisés et notamment en France. Nous verrons également les précautions à prendre lors de l'élaboration de tels produits.

MINERAUX et ALIMENTATION

-I- MINERAUX ET ALIMENTATION

-1-Minéraux: définition

Le terme de "minéral" est opposé en chimie au terme "organique" qui, lui, résume tout ce qui a trait au carbone.

Le monde des minéraux est donc très vaste.

Voici les minéraux qui ont fait l'objet d'études en relation avec l'alimentation humaine.(en gras dans la classification de Mendeleîev) :

H																	He
Li	Be											**B**	C	N	O	**F**	Ne
Na	**Mg**											**Al**	**Si**	**P**	**S**	**Cl**	**Ar**
K	**Ca**	Sc	Ti	**V**	**Cr**	**Mn**	**Fe**	**Co**	**Ni**	**Cu**	**Zn**	**Ga**	Ge	**As**	**Se**	**Br**	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	**Mo**	Tc	Ru	Rh	Pd	**Ag**	**Cd**	In	**Sn**	Sb	Te	**I**	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	**Au**	**Hg**	Tl	**Pb**	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U												

Mais nous allons voir que tous ces minéraux n'ont pas la même importance dans l'alimentation.

-2-Les minéraux chez l'homme

Les minéraux sont tous présents dans le corps humain même si ce n'est parfois que dans de très faibles proportions.

Eléments organiques:

O2	63,3	%
C	20,0	%
H2	10,3	%
N2	3,0	%

Minéraux :

Ca	1,65%	Fe	0,0051 %	Ni	0,0000015%
P	0,95 %	Zn	0,0049 %	Co	
Na	0,22 %	Si	0,00046 %	I	
Mg	0,04 %	Cu	0,00015 %	F	
S	0,15 %	Mn	0,00004 %	Cr	
K	0,22 %			Mo	
Cl	0,16 %			Se	
				V	
				Al	

On s'aperçoit que les variations sont grandes en ce qui concerne leur importance quantitative dans le corps humain.
On distinguera donc :

-**Les macro-éléments** : éléments qui se trouvent en quantité supérieure à 0,01 % dans le corps humain.

-**Les oligo-éléments** : éléments chimiques présents dans le corps humain à des quantités inférieures à 1 mg/kg *(Bertrand 1910).*

Tous les éléments de ces deux groupes jouent un rôle chez l'homme, mais il existe également des différences sur le plan de l'importance de ce rôle.
Une deuxième classification peut donc s'opérer en fonction du caractère essentiel de chacun des éléments ou plutôt en fonction de la balance "utilité/apport quantitatif potentiel de l'élément à l'organisme".

En effet le caractère essentiel des minéraux est lié autant à l'importance de leur rôle qu'au risque de carence qu'ils présentent.

Les oligo-éléments sont ainsi classés en

-Oligo-éléments essentiels
Iode; Fer; Cuivre; Zinc; Sélénium; Chrome; Molybdène;

-Oligo-éléments essentiels à faible risque de carence
(carence non prouvée chez l'homme)
Manganèse; Silicium; Vanadium; Nickel; Etain; Cobalt.

-Oligoéléments ultratraces expérimentalement essentiels
(risque de carence sans doute nul chez l'homme)
Bore; Brome; Arsenic; Plomb; Cadmium; Lithium.

-Oligo-éléments ultratraces pour lesquels existent potentiellement quelques preuves embryonnaires d'essentialité

Le cuivre, le fer, le zinc et le silicium forment un groupe particulier : leur concentration est de l'ordre du mg/l chez l'homme. Ils représentent plus de 99 % du total des oligo-éléments.

Les oligo-éléments n'ont pas tous, à ce jour, été l'objet d'études suffisamment exhaustives et de nombreuses données font encore défaut. Ceci nous conduira à restreindre la suite de l'étude au groupe des oligo-éléments essentiels . Il sera également fait allusion au fluor, par son statut particulier, et au manganèse.

En ce qui concerne les macro-éléments, leur risque de carence est un sujet assez controversé.

Le sodium présente plutôt un apport pléthorique dans l'alimentation des pays développés. Cet apport étant sous forme essentiellement de chlorure de sodium, le chlore est aussi en grande quantité dans l'alimentation.

L'interêt d'un apport complémentaire en macro-éléments concernera donc seulement le calcium, le phosphore, le magnésium.

-3-Les apports nutritionnels conseillés

"Les apports nutritionnels recommandés sont des estimations des quantités journalières de minéraux qui couvrent les besoins physiologiques des divers groupes constituant une population en bonne santé. La consommation de telles quantités par chaque individu de cette population couvre les besoins de 97,5 % des individus de celle ci. "(24)

Il est relativement difficile d'établir les besoins nutritionnels en minéraux. En effet de nombreux facteurs sont à prendre en compte comme l'âge et l'état physiologique du sujet.

Il y a une augmentation globale de l'utilisation des minéraux, comme de tous les nutriments, pendant les périodes de croissance.
Les minéraux ont un rôle structural ou un rôle dans les biosynthèses. On évoquera immédiatement le calcium nécessaire à la formation du squelette, mais il faudra également prendre en compte le rôle majeur du zinc ou du fer pendant ces périodes de croissance.

L'état physiologique est aussi une composante importante .
Les besoins en fer chez la femme en période d'activité génitale seront plus importants car les pertes sanguines menstruelles entrainent des pertes en fer non négligeables.
Les besoins en minéraux sont également modifiés au cours de la grossesse, chez la femme qui allaite, chez les personnes ayant une activité physique importante.

Ces variations inter-individuelles se doublent de variations entre les populations.
Les recommandations d'apports nutritionnels conseillés établies par la F A O tiennent compte des niveaux économiques différents dans les diverses régions de la planète. On pourrait donc qualifier ces recommandations "d'apports nutritionnels minimums".

Les recommandations établies en France ou aux Etats unis prennent elles en considération les habitudes alimentaires dans ces pays. Ceci explique les différences observées entre ces différentes recommandations.

-3-1-Le Calcium

Le calcium joue un rôle majeur dans la constitution du squelette. Le capital osseux est determiné essentiellement par l'apport calcique dès les premiers mois de la vie jusqu'à l'age de 30 ans.
Un bon capital osseux établi lors de cette période diminuera les risques d'ostéoporose chez le sujet agé même si celui-ci a également besoin de maintenir une proportion suffisante en calcium dans sa ration alimentaire.
L'apport en calcium doit donc être particulièrement surveillé chez les enfants, les adolescents et les personnes agées.
Chez la femme enceinte, un régime riche en calcium est nécessaire pour assurer une bonne croissance du foetus, mais aussi parce que cela semble être un facteur de prévention de l'hypertension artérielle.

L'enquête "Val de Marne"(1) a conclu a un apport suffisant de calcium dans toutes les catégories de la population. Mais les données de nombreuses autres enquêtes françaises montrent qu'il existe des risques de déficience en calcium dans la population féminine, notamment chez les adolescentes et les jeunes femmes. *(29)*

Tableau 1: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le calcium

Ca	Apports quotidiens recommandés Dupin (en mg)	Risque de carence
Nourrissons	400	-
Enfants	900	-
Adolescents	1200	F: ++ G: +
Adultes	900	F:++ H:-
Femmes enceintes	1200	+
Personnes agées	1200	++

Le risque de carence est établi selon une échelle de valeur de (-): risque de carence estimé nul à (+++): risque de carence très élevé.

(1) Au cours de ce chapitre, il sera fait référence plusieurs fois à"l'enquête du Val de Marne". Il s'agit de la dernière grande enquête nutritionnelle réalisée en France. Elle a été effectuée à une échelle départementale, en 1988, et impliqué plusieurs spécialistes de la nutrition.

-3-2-Le Phosphore

Une grande proportion du phosphore est présent au niveau du squelette, mais il joue également un rôle essentiel dans les phénomènes enérgétiques cellulaires puisque ceux ci sont dépendants de réactions de phosphorylation-déphosphorylation.
Le phosphore intervient aussi dans de nombreux systèmes enzymatiques.

Il se trouve en quantité notable dans la plupart des aliments : les produits laitiers, les légumes, les fruits et légumes secs, le chocolat, les viandes.
L'apport total de phosphore dépasse donc souvent les apports quotidiens recommandés et les seules carences véritables observées ont une origine pathologique ou iatrogène.

Tableau 2: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le phosphore

P	Apports quotidiens recommandés Dupin (en mg)	Risque de carence
Nourrissons		-
Enfants	600	-
Adolescents	1000	-
Adultes	800	-
Femmes enceintes	1000	-
Personnes agées	1000	-

-3-3-Le Magnésium

Le corps d'un adulte contient environ 25 g de magnésium.
C'est un cation intracellulaire. Il a un rôle fondamental en participant aux échanges ioniques, aux réactions d'oxydo-réduction comme catalyseur. Il intervient dans toutes les chaînes métaboliques.

Les déficits en magnésium sont souvent évoqués dans les syndrômes comme la spasmophilie, l'hypersensibilité neuromusculaire, les troubles immunologiques. Le magnésium est en conséquence un des minéraux le plus utilisé en thérapeutique humaine.
Lorsqu'il y a un déficit d'apport en magnésium les systèmes de régulation et de compensation ne permettent pas une adaptation suffisante. Un déficit chronique en magnésium est donc en général mal toléré.

Une proportion non négligeable (de 10 à 20 %) de la population présente un déficit magnésique.

De plus les aliments riches en magnésium sont également des aliments à haut niveau energétique. Les personnes soumises à un régime hypocalorique seront donc plus exposées à ce type de carence.

Tableau 3: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le magnésium

Mg	Apports quotidiens recommandés Dupin (en mg)	Risque de carence
Nourrissons	40 à 60	-
Enfants	180	-
Adolescents	240	F:++ G:-
Adultes	H=420 F=330	F:++ H:-
Femmes enceintes	480	+
Personnes agées	420	+

-3-4-Le Fer

Le fer entre dans la composition de l'hémoglobine, de la myoglobine et de nombreux systèmes enzymatiques.

La carence d'apport en fer est très répandue chez les femmes enceintes. Il est pratiquement toujours proposé une supplémentation de 20 à 50 mg de fer pendant toute la grossesse.

Chez l'enfant en bas âge, on distingue différentes périodes qui correspondent à des besoins différents en fer. Immédiatement après la naissance le taux d'hémoglobine et l'erythropoièse diminuent, la quantité de fer disponible est suffisante pour le nouveau né.
A partir de 4 mois, les stocks en fer de l'enfant sont dépendants de son alimentation C'est donc à partir seulement de cet âge que le risque de carence en fer apparait. De plus la synthèse des globules rouges est alors beaucoup plus dépendante des apports en fer exogènes que chez l'adulte (30 % contre 5 %) *(32)*.

Il existe un troisième groupe de population pour lequel il existe un risque de carence en fer : les femmes en période d'activité génitale.

Tableau 4: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le fer

Fe	Apports quotidiens recommandés Dupin (en mg)	Risque de carence
Nourrissons	8 à 10	++ à partir de 4 mois
Enfants	12	+
Adolescents	G=15 F=18	-
Adultes	H=10 F=18	H = - F = ++
Femmes enceintes	*	+++
Personnes agées	10	-

* Les apports recommandés en fer ne sont pas evalués de façon globale par les différents auteurs mais le risque de carence est reconnu.

-3-5-Le Zinc

Le zinc joue un rôle important dans les phénomènes enzymatiques et principalement dans ceux procédant de la synthèse protéique. Il a donc un rôle essentiel dans la croissance, mais également dans la cicatrisation, l'immunité cellulaire et le fonctionnement hormonal: insuline, somatomedine, superoxyde dismutase.

Les plus touchés par un déficit en zinc sont les personnes âgées, mais l'enquête "Val de Marne 1988" a montré que chez les adultes le taux de zinc était un taux "limite".
Chez le nourrisson nourri au sein il ne semble pas y avoir de risque de carence mais il a été constaté que la teneur en zinc du lait maternel diminue au long des mois de lactation.
Une carence sévère en zinc provoque une acrodermie enteropathique, ou, lorsqu'elle est moins sévère, une baisse de l'immunité, une perte du goût, des troubles de la vision nocturne , un retard de cicatrisation. Chez l'enfant se sont surtout des problèmes cutanés et un retard de croissance qui sont observés.

L'apport en zinc n'est pas suffisant pour couvrir les besoins de la femme enceinte. Une aggravation de cet état déficitaire peut perturber le déroulement de la grossesse en jouant sur le risque de toxémie, sur la durée de la gestation et la difficulté de l'accouchement. Une supplémentation de la femme enceinte contenant 20 à 40 mg de zinc par jour semble devoir être prescrite *(26)*.

Tableau 5: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le zinc

Zn	Apports quotidiens recommandés Dupin (en mg)	Risque de carence
Nourrissons	5	+
Enfants	12	+
Adolescents	G=15 F=12	-
Adultes	H=15 F=12	+
Femmes enceintes	15	++
Personnes agées	12	+

-3-6-L'Iode

L'iode est utilisé pour la synthèse des hormones thyroidiennes. Un déficit en iode se traduit par une hypertrophie de la glande thyroidienne : le goitre. Chez l'enfant ce goitre se complique d'un retard de croissance et d'un retard mental.

L'apport alimentaire en iode est assez restrictif : les poissons et les crustacés sont la principale source d'iode. Le lait et les oeufs y contribuent plus faiblement alors que les légumes sont de faibles sources d'iode.
Les goitres étaient observés de façon endémique dans certaines régions montagneuses.
Une supplémentation générale par l'eau ou le sel de cuisine a permis de rétablir l'apport en iode dans la grande majorité de la population.

Tableau 6: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour l'iode

I	Apports quotidiens recommandés Dupin (en μg)	Risque de carence (avec l'utilisation de sel iodé)
Nourrissons	40 à 50	-
Enfants	140	-
Adolescents	150	-
Adultes	150	-
Femmes enceintes	175	-
Personnes agées	150	-

-3-7-Le Sélénium

Le sélénium est le cofacteur d'enzymes de peroxydation, telle la gluthation peroxydase et a ainsi, un rôle essentiel dans l'élimination des peroxydes. Ceci lui confère un rôle de protection contre les radicaux libres.

Un état de carence en sélénium s'observe de façon endémique dans certaines zones géographiques. Les sols très pauvres en sélénium ne pourront pas fournir à la chaine alimentaire le sélénium nécessaire à l'alimentation. La région du Keshan en Chine a connu de très sévères carences en sélénium qui entrainaient de graves malformations cardiaques chez les enfants.

Un taux faible en sélénium augmente les risques de cancer, de maladie cardiovasculaire.

Dans les régions où le taux de sélénium du sol peut être considéré comme normal, le taux physiologique de sélénium n'est que peu dépendant de l'âge des sujets comme l'a montré en France l'enquête "Val de Marne 1988". La population française, dans son ensemble, présente un apport nutritionnel en sélénium inférieur aux apports recommandés.

Tableau 7: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le sélénium

Se	Apports quotidiens recommandés Dupin (en μg)	Risque de carence
Nourrissons	10 à 15	-
Enfants	40	+
Adolescents	60	+
Adultes	H=70 F=55	+
Femmes enceintes	75	+
Personnes agées	70	+

-3-8-Le Cuivre

Le cuivre est un cofacteur d'enzymes d'oxydation, avec un rôle particulièrement important dans le métabolisme oxydatif du glucose. Il intervient également dans le fonctionnement du système nerveux.

Chez l'animal une carence en cuivre est associée à un fort risque de maladie cardiovasculaire.

Le foie, les légumes secs, les fruits et légumes mais aussi les boissons comme le vin ou la bière apportent des quantités non négligeables de cuivre. L'apport recommandé en cuivre n'est pas quantifié avec précision par les différents auteurs. Des carences véritables en cuivre ne sont que très rares chez l'homme. On estime que l'apport moyen dans la population française se situe à la limite inférieure des apports recommandés. *(Val de Marne 1988)*

Tableau 8: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le cuivre

Cu	Apports quotidiens recommandés Dupin (en mg)	Risque de carence
Nourrissons	0,4 à 0,7 *	-
Enfants	1,5 *	-
Adolescents	2 *	-
Adultes	2,5 *	-
Femmes enceintes	3 *	-
Personnes agées	2,5 *	-

* Ordre de grandeur

-3-9-Le Manganèse

Le manganèse active de nombreux systèmes enzymatiques dont les transférases impliquées dans la synthèse du collagène et de la matrice protéique de l'os. Un déficit en manganèse induit une perturbation de la synthèse du cholestérol.

Les risques de carence en manganèse sont très réduits. Il semble qu'il y ait également une géodépendance du taux de manganèse dans l'alimentation : les

régions où le sol est pauvre en manganèse abritent une population avec un statut faible en cet oligo-élément.

Tableau 9: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le manganèse

Mn	Apports quotidiens recommandés Dupin (en mg)	Risque de carence
Nourrissons	1 *	-
Enfants	3 *	-
Adolescents	4 *	-
Adultes	4 *	-
Femmes enceintes	4 *	-
Personnes agées	4 *	-

* Ordre de grandeur

-3-10-Le Chrome

Un déficit en chrome favorise l'apparition de maladies métaboliques : diabète, hypercholestérolémie, athérome.
Les apports de chrome sont corrélés aux apports protéiques et énergétiques : il se trouve dans de nombreux aliments d'origine animale (foie) ou végétale.

Dans l'état actuel des connaissances on ne peut pas réellement apprécier le statut en chrome de la population.

Tableau 10: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le chrome

Cr	Apports quotidiens recommandés Dupin en μg	Risque de carence
Nourrissons	75 *	?
Enfants	125 *	?
Adolescents	125 *	?
Adultes	125 *	?
Femmes enceintes	125 *	?
Personnes agées	125 *	?

* Ordre de grandeur

-3-11-Le Molybdène

Dans l'organisme, il se forme un complexe : molybdobioptérine qui est un cofacteur important du catabolisme des acides aminés soufrés. Un déficit en molybdène serait donc suceptible de provoquer des désordres métaboliques comme une intolérance à certains acides aminés.

Mais ici aussi, les études trop peu nombreuses ne permettent que de situer un apport recommandé et on ne connait pas vraiment les risques de déficit chez l'homme.
Certains auteurs les estiment comme très réduits.

Tableau 11: Apports nutritionnels conseillés et risque de carence pour le molybdène

Mo	Apports quotidiens recommandés Dupin (en μg)	Risque de carence
Nourrissons	40 *	?
Enfants	50 *	?
Adolescents	150 *	?
Adultes	150 *	?
Femmes enceintes	150 *	?
Personnes agées	150 *	?

* Ordre de grandeur

-3-12-Le Fluor

Le fluor est un élément particulier. Il n'a pas été observé de troubles physiologiques liés à une carence en fluor. Sa présence n'a pas été démontrée comme indispensable.
Mais lorsque l'apport en fluor est faible, on constate une augmentation de l'incidence des caries dentaires essentiellement si ce déficit a lieu chez les enfants avant 8 ans.

Le fluor a également été impliqué dans le traitement de l'ostéoporose mais son rôle n'est pas prouvé dans la prévention de cette maladie.

L'apport quotidien en fluor nécessaire à la prévention de la carie dentaire est de l'ordre de 1 mg.

-4- Conclusion

L'évaluation des risques de carences en minéraux dans une population est un travail de longue haleine. Les enquêtes nutritionnelles en France sont poursuivies.pour mieux évaluer le statut des différentes catégories de personnes.

Les autres minéraux évoqués précédemment ne seront pas abordés ici en détail. Ils représentent les éléments dont le rôle n'a pas été encore totalement élucidé. Certains sont considérés plutôt comme des contaminants : l'aluminium, l'arsenic, le plomb et l'on cherche à minimiser au maximum leur apport dans les denrées alimentaires. Ils ont une action toxique à taux assez faible.

LEGISLATION

-II- LEGISLATION DES ALIMENTS SUPPLEMENTES

Avant d'aborder les termes législatifs en vigueur, il faut distinguer plusieurs niveaux dans la législation concernant les aliments supplémentés en minéraux.

Une distinction se fait en fonction de l'instance législative. En effet on trouve différentes sources de textes législatifs:

-La législation française

Les lois, décrets ou arrêtés fixent les normes qui servent de référence à la Direction Générale de la Concurrence et de la Répression des Fraudes. Cet organisme contrôle la production alimentaire française mais aussi les produits d'importation.

-La législation européenne

Elle fixe dans des directives cadres les normes et dispositions qui devront être appliquées dans chaque état faisant partie de la CEE. Chacun de ces états devra donc transcrire ces dispositions dans sa législation.

-Le Codex Alimentarius

Organisme mixte de l'OMS et de la FAO, il vise à donner des directives au niveau mondial. Il est à noter que ces dispositions serviront de référence (accord du GATT) en cas de litiges, lorsqu'il sera reproché à un état de poser des entraves aux échanges en matière de denrées alimentaires.

D'autre part, en France, des groupes de travail interprofessionnels ont été constitués pour répondre aux questions sur des points particuliers.
Ces groupes de travail sont la CEDAP ou le Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France. Ils émettent des avis qui serviront à orienter les législateurs.

Le second niveau de distinction se fait en fonction du type d'aliments concernés (définition CEE):

-Aliments de consommation courante dénommés aliments non destinés à une alimentation particulière.

Il convient à l'intérieur de ce groupe de signaler des cas particuliers. Certains aliments font l'objet de mesures particulières qui pourraient être qualifiées de mesures d'hygiène publique : le sel iodé et fluoré en france, les céréales enrichies en fer en Grande Bretagne ...

-Aliments destinés à une alimentation particulière

Ils étaient auparavant désignés par le terme de "produits diététiques".

-1-Définitions

-1-1-La restauration

Définition du Codex alimentarius

"On entend par restauration l'addition à un aliment du ou des éléments nutritifs qui ont été inévitablement perdus lors de l'application de bonnes pratiques de fabrication ou lors de l'entreposage et des procédures normales de manutention, en quantités telles qu'il(s) sera(seront) présent(s) dans l'aliment à une (des) concentration(s) au moins égale(s) à celle(s) qui se trouverait (trouveraient) dans une portion de l'aliment avant la transformation" *(56)*

La législation française ne fait état de la restauration qu'à propos des vitamines ou des acides aminés essentiels et ne définit donc pas la restauration en minéraux.

Quant à la législation CEE, elle n'a pas de texte concernant l'addition de nutriments aux aliments.

-1-2-L'enrichissement

Définition du Codex Alimentarius :

"On entend par enrichissement l'addition 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 les groupes spécifiques de population." *(56)*

Il faut noter que dans cette définition la notion d'enrichissement implique qu'il y ait une carence démontrée dans la population cible consommant l'aliment enrichi. Cette population peut être globale ou restreinte. Dans ce dernier cas l'aliment enrichi devrait comporter clairement, pour être en accord avec cette définition, le groupe de la population spécifique auquel il est destiné.

Dans la législation française, l'enrichissement est considéré seulement à travers l'aspect vitaminique.
Les législations allemande et suisse ne font, elles aussi, état que des enrichissements en vitamines.

Par contre la législation belge définit, de manière très précise, l'enrichissement et ses limites. Il est donc intéressant de considérer ce texte dans le cadre de l'évolution de la législation européenne dont il pourrait constituer un avant goût.

(Annexe 1: la situation réglementaire en Europe)

-1-3-Standardisation-Normalisation

Le codex alimentarius a ajouté récemment ce concept dans ses textes:

"On entend par normalisation l'addition d'éléments nutritifs à l'effet de compenser les écarts naturels de la teneur en éléments nutritifs." *(56)*

Ce concept, proche de celui de la restauration, est ici envisagé pour répondre aux "variantes" de la nature plutôt qu'aux modifications de l'homme. Mais il sera alors difficile d'obtenir un consensus sur le taux "normal" d'un aliment en éléments nutritifs et notamment en minéraux.

Après ces mises au point, la suite de l'exposé sur la législation de l'ajout de minéraux dans les aliments sera abordé en fonction des catégories d'aliments classés selon la législation française.

-2-Les aliments destinés à une alimentation particulière

-2-1-Définition

Sont considérées comme denrées alimentaires destinées à une alimentation particulière les denrées alimentaires qui, du fait de leur composition particulière ou du procédé particulier de leur fabrication, se distinguent nettement des denrées alimentaires de consommation courante, conviennent à l'objectif nutritionnel indiqué et sont commercialisées de manière à indiquer qu'elles répondent à cet objectif.

-Une alimentation particulière doit répondre aux besoins nutritionnels particuliers

-soit de certaines catégories de personnes dont le processus d'assimilation ou le métabolisme est perturbé.

-soit de certaines catégories de personnes qui se trouvent dans des conditions physiologiques particulières et qui, de ce fait, peuvent tirer des bénéfices particuliers d'une ingestion controlée de certaines substances dans ces aliments.

-soit de nourrissons ou enfants en bas âge, en bonne santé".

(Directive CEE n° 89 398 du 3 mai 1989; Décret n° 91 827 du 29 Août 1991)

Le décret portant sur ces aliments précise en outre que seuls ces produits peuvent être mis en vente avec les qualificatifs "diététique" ou "de régime" à l'exception des aliments pour nourrissons ou enfants en bas âge en bonne santé dénommés "aliments de l'enfance".

Ils ne doivent, en aucun cas, faire état de propriétés de prévention, de traitement, de guérison de maladies humaines ni évoquer de telles propriétés.

Cette définition est en soi relativement large puisque lorsque l'on entend "conditions physiologiques particulières" il peut s'agir de femmes enceintes, de sportifs, de diabétiques, de personnes présentant un terrain allergique ..etc..mais nous retrouvons ici la notion de population cible.

-2-2-Les minéraux autorisés

La législation française fonctionne dans ce domaine selon le principe des listes positives, en vertu duquel tout ce qui n'est pas autorisé expréssement par publication au journal officiel est interdit.

L'arrété du 4 Août 1986 règle les dispositions générales d'addition de nutriments dans cette catégorie d'aliments.

Selon l'arreté du 4 Aout 1986 :

Aliments pour nourrissons et enfants en bas âge :

Nom usuel	
Calcium	Carbonate de calcium Glycérophosphate de calcium Lactate de calcium Phosphate neutre de calcium Citrate de calcium Gluconate de calcium Hydroxyde de calcium Phosphate monoacide de calcium Phosphate diacide de calcium
Potassium	Chlorure de potassium Carbonate de potassium Hydroxyde de potassium Carbonate acide de potassium Citrate de potassium
Sodium	Carbonate acide de sodium Hydroxyde de sodium Sulfate de sodium Citrate de sodium Phosphate disodique Chlorure de sodium
Magnésium	Chlorure de sodium Oxyde de magnésium Sulfate de magnésium Phosphate de magnésium Lactate de magnésium
Manganèse	Gluconate de manganèse Carbonate de manganèse
Cuivre	Sulfate de cuivre Complexe lysine-cuivre
Iode	Iodure de potassium Iodure de sodium
Zinc	Lactate de zinc Sulfate de zinc Citrate de zinc
Fer	Ascorbate ferreux Gluconate ferreux Sulfate ferreux Fer élément Citrate ferreux Lactate ferreux

Tableau 12: Minéraux autorisés dans les aliments pour nourrissons et enfants en bas âge

Aliments destinés à une alimentation particulière autres que ceux destinés aux nourrissons et enfants en bas âge:

Nom usuel	
Calcium	*
Potassium	Acétate de potassium Gluconate de potassium Lactate de potassium Phosphate de potassium monobasique Phosphate de potassium dibasique Phosphate de potassium tribasique Glycérophosphate de potassium
Sodium	Gluconate de sodium Carbonate de sodium Lactate de sodium Phosphate de sodium monobasique Phosphate de sodium dibasique* Phosphate de sodium tribasique Glycérophosphate de sodium
Phosphore	Phosphate de calcium monobasique Phosphate de calcium dibasique Phosphate de calcium tribasique Phosphate de magnésium dibasique Phosphate de magnésium tribasique Phosphate de potassium monobasique Phosphate de potassium dibasique* Phosphate de sodium dibasique Phosphate ferreux
Magnésium	Carbonate de magnésium Phosphate de magnésium dibasique Phosphate de magnésium tribasique Gluconate de magnésium Citrate de magnésium Glycériophosphate de magnésium Acétate de magnésium Dicitrate de magnésium
Manganèse	Chlorure de manganèse Citrate de manganèse Glycérophosphate de manganèse
Cuivre	Citrate cuivrique Gluconate cuivrique Carbonate de cuivre
Iode	Iodure de potassium

Nom usuel	
Zinc	Acétate de zinc Chlorure de zinc Oxyde de zinc Gluconate de zinc
Fer	Phosphate ferreux Citrate d'ammonium ferrique

Tableau 13: Minéraux autorisés dans les aliments destinés à une alimentation particulière autre que ceux destinés aux nourrissons et enfants en bas âge.

* Le chlorure de calcium autorisé à l'emploi, initialement, a été supprimé par l'arrêté du 14 décembre 1988.

Les doses maximales d'emploi de ces substances d'apport minéral ne sont pas définies.
Toutefois le législateur a précisé: "Si les doses d'emploi ne sont pas précisées, les teneurs maximales ne doivent pas dépasser les quantités strictement indispensables pour obtenir l'effet recherché."

Il faut noter que l'adjonction de

Chrome
Fluor
Molybdène
Sélénium
Phosphore

n'est pas autorisé dans les aliments pour nourissons et enfants en bas âge.
Ces derniers sont autorisés dans les mêmes conditions en Belgique.
(Annexe 2: les minéraux autorisés dans les aliments en France et en Belgique)

Le phosphore n'est pas autorisé a être ajouté en tant que tel, bien que le calcium, le sodium et le magnésium puissent être utilisés sous forme de sels de phosphate.

-2-3-Conditions d'addition des minéraux

Nous avons vu qu'il existait des notions différentes dans l'adjonction des minéraux aux aliments: l'enrichissement, la restauration ou la normalisation.

La législation française ne fait pas état de ces notions en matière d'adjonction de minéraux (sauf dans le cas particulier des produits céréaliers à teneur garantie en Mg). Mais des avis de la CEDAP ou du CSHPF ont été publiés dans ce domaine.

La législation européenne ne possédant pas non plus de textes nous pouvons essayer de rechercher les tendances générales au travers de ces avis, des textes du codex alimentarius, ou des législations de certains pays membres de la CEE.

-2-3-1-La restauration

La restauration présuppose une présence initiale en minéraux de l'aliment. Mais existe-t-il un taux minimum "naturel" permettant une restauration ?.

Il est d'avis général, au niveau CEE comme au niveau français, que, pour éviter les dérives, la restauration en un minéral ne devrait être autorisée que pour les aliments qui en sont naturellement une source importante.

Un avis du CSHPF fixe une teneur limite de 5 % de l'AQR/100 KCal en un minéral pour que l'on puisse prétendre à une restauration.
Il est aussi indiqué que la restauration devrait assurer une teneur de 100 +/- 20 %.
Le terme "minéraux" ne désigne que le fer, le zinc, le cuivre et l'iode.

-2-3-2-L'enrichissement

Tout d'abord le seul texte législatif français sur ce sujet:

Arreté du 20 Juillet 1977:
Chap II: Produits diététiques à teneur garantie en Magnésium.
Il s'agit des "produits céréaliers dont la préparation comporte une garantie chiffrée se rapportant à la teneur en magnésium."
Ces produits doivent renfermer une quantité de magnésium qui, rapportée à 100 g d'extrait sec, doit être comprise entre 150 mg et 300 mg. Ils peuvent comporter la dénomination "à teneur garantie en magnésium" qui peut être remplacée par la mention "enrichi en magnésium" quand le produit a fait l'objet d'une adjonction de chlorure de magnésium.

Sachant que la teneur en magnésium des produits céréaliers est comprise entre 90 et 180 mg/100 g de matière séche, il s'agit, en fait, plutôt d'un enrichissement.

En ce qui concerne l'enrichissement en minéraux d'une manière plus générale il est possible de se baser sur les avis de la CEDAP et du CSHPF.

Mais, ici, il semble que les restrictions et les cas particuliers se multiplient puisque la CEDAP ne traite que de l'adjonction du calcium, du magnésium et du fer:
"L'aliment renferme naturellement plus de 5 % des AQR et au moins un minéral de la liste de l'arrêté du 4 Août 1986. Il doit avoir une teneur en mono et disaccharides inférieure à 60 % de la valeur énergétique de l'aliment, une teneur en lipides inférieure à 35 % de la valeur énergétique de l'aliment."

La teneur finale que l'on est susceptible de trouver dans les aliments enrichis est, de l'avis de la CEDAP, de 10 à 20 % des AQR pour 100 KCal de produit fini pour le calcium, le magnésium et/ou le fer.

Quant au CSHPF, il indique simplement que la supplémentation en fer ne doit pas être réalisée et fait des autres minéraux des cas particuliers qu'il se propose d'étudier ultérieurement.

L'existant législatif sur les produits enrichis en minéraux est donc encore pauvre. De plus, il apparait des contradictions entre les avis de la CEDAP et du CSHPF notamment en ce qui concerne l'enrichissement en fer.
Les mesures évoquées sont beaucoup trop ponctuelles et il se révèle nécessaire qu'un consensus général soit établi sur cette notion d'enrichissement en minéraux de produits destinés à une alimentation particulière.

-2-4-Cas particuliers

Il faut encore signaler quelques points particuliers de la législation française, qui seront simplement énumérés ci-après :

Aliments de l'enfance

Textes fixant les normes sur la composition des aliments de l'enfance. Parmi ceux ci deux textes sont à retenir puisqu'ils précisent les teneurs en éléments minéraux admises dans ces produits:

-Arrêté du 1er Juillet 1976 relatif aux aliments diététiques et de régime de l'enfance

-Arrêté du 30 Mars 1978 relatif aux aliments lactés diététiques (et la circulaire du 30 Mars 1978 précisant les valeurs retenues pour l'application de l'arrêté du 1er Juillet 1976.)

Les dispositions sont résumées dans le tableau suivant:

Tableau 14: Teneurs en éléments minéraux autorisées dans les laits infantiles et farines diététiques de l'enfance

	Lait premier âge	lait maternisé	Lait deuxième age**	Farines diététiques *
Na	> 5,5 mg/100KJ	< 40 mg/100 KCal > 5,5 mg/100 KJ	> 5,5 mg/100 KJ < 80 mg/100 KJ	< 35 mg/100 g
Ca	> 9,5 mg/100 KJ	> 9,5 mg/100 KJ	> 29 mg/100 KJ	< 100 mg/100 g
K	> 15 mg/100 KJ	> 15 mg/100 KJ	> 15 mg/100 KJ	
Mg	> 1,4 mg/100 KJ	> 1,4 mg/100 KJ	> 3 mg/100 KJ	
Cu	> 7mg/100 KJ	>7mg/100 KJ	> 1,5 µg/100 KJ	
Zn	> 0,07 mg/100 KJ	> 0,07 mg/100 KJ	> 71 µg/100 KJ	
Mn	> 1,1 µg/100 KJ	> 1,1 µg/100 KJ	> 0,7 µg/100 KJ	
I	> 1,7 µg/100 KJ	> 1,7 µg/100 KJ	> 1,5 µg/100 KJ	
Cl	> 12 mg/100 KJ	> 12 mg/100 KJ	> 12 mg/100 Kj	
P	> 5 mg/100 KJ	> 5 mg/100 KJ	> 22 mg/100 KJ	
Fe	> 0,75 mg/100KCal	>0,75 mg/100KCal	>0,18 mg/100 Kj	

* Certaines farines diététiques font l'objet de normes particulières. Il s'agit des farines enrichies en légumes, en protéines, en fruits. Ces dispositions particulières sont fixées par l'arrêté du 1er Juillet 1976. *(Annexe 3)*

** Ces normes sont aussi applicables aux aliments lactés diététiques destinés aux enfants, aux femmes enceintes et aux personnes âgées.

Produits de régime destinés aux régimes hypocaloriques: aliments équilibrés à 1000 KCal:

Ils renferment les substances énumérées ci-dessous selon des teneurs qui, rapportées à une valeur calorique de l'aliment égale à 1000 KCal, sont fixées comme suit:

....

Calcium	500 à 1000 mg
Fer	10 à 20 mg
Magnésium	250 à 500 mg
Potassium	1 à 2 g

"La présentation donnée aux aliments peut faire état des garanties chiffrées se rapportant à leurs teneurs en magnésium sans qu'une telle présentation implique obligatoirement l'application des dispositions réglementaires particulières aux produits diététiques(...) à teneur garantie en magnésium."

Produits diététiques de l'effort

Le produit renferme les substances de protection qui en font un aliment équilibré ou qui sont nécessaires à son métabolisme. Il contient notamment les substances énumérées ci dessous selon des quantités qui, rapportées à une valeur calorique de l'aliment égale à 3000 KCal, sont fixées comme suit:

....

Calcium	1000 à 1500 mg
Magnésium	500 à 750 mg

"La quantité de phosphore renfermée dans le produit est telle que celui-ci présente un rapport calcium/phosphore compris entre 0,5 et 1,5. La présentation donnée aux aliments peut faire état des garanties chiffrées se rapportant à leurs teneurs en magnésium sans qu'une telle présentation implique obligatoirement l'application des dispositions réglementaires particulières aux produits diététiques(...) à teneur garantie en magnésium."

Alimentation liquide spéciale

Avis du 17 Mai 1989 sur les mélanges nutritifs pour alimentation liquide spéciale: mélanges nutritifs équilibrés.

La teneur en minéraux est fixée comme suit:

	Pour 1000 KJ	Pour 1000 KCal
Calcium	1,2 à 3,6 mmol	5 à 15 mmol (200 à 600 mg)
Sodium	2,1 à 8,4 mmol	8,7 à 34,8 mmol (200 à 800 mg)
Potassium	1,2 à 9,6 mmol	5,1 à 4,1 mmol (200 à 1600 mg)
Magnésium	1,0 à 3,0 mmol	4,1 à 12,3 mmol (100 à 300 mg)
Fer	0,03 à 0,06 mmol	0,125 à 0,25 mmol (7 à 14 mg)
Zinc	au min 0,015 mmol	au min 0,07 mmol (4,1 mg)

-3-Les aliments dits courants

Nous verrons les aliments offerts d'une façon générale au consommateur, mais également dans un second temps les aliments qui peuvent faire l'objet de mesures particulières que l'on pourrait qualifier "d'hygiène publique".

-3-1-Les aliments de consommation courante

Les textes français ne définissent pas l'ajout de minéraux dans ces aliments. L'adjonction de minéraux est reservée aux aliments destinés à une alimentation particulière.

Le codex alimentarius ne restreint pas, de façon précise, l'enrichissement à une catégorie d'aliments mais indique qu'il doit viser à corriger une carence démontrée dans une population ou une partie de la population.
Est ce que l'on rejoint la définition des aliments destinés à une alimentation particulière?

La CEE, quant à elle, n'a pas, non plus, émis d'avis sur la question officiellemnent mais tend à penser que le concept de la restauration des aliments courants en minéraux pourrait se généraliser puisque, dans son principe, il ne pose pas de problème de santé publique. Pourtant, certains états membres comme les Pays Bas ou l'Italie ont une position restrictive vis à vis de cette tendance.

En France, nous nous orienterons donc vers les avis de la CEDAP et du CSHPF.
En fait ces avis sont les mêmes que ceux décrits au chapitre précédent. Il n'y a pas de distinction entre les aliments courants et les aliments destinés à une alimentation particulière.

-3-2-Les aliments pour lesquels il existe des mesures dites d'hygiène publique

Le sel:
La supplémentation du sel en iode et en fluor est régie par un texte européen: Les sels alimentaires peuvent être supplémentés en fluor sous forme d'ajout de fluorures de potassium ou de sodium.

Les fluorures doivent être incorporés à raison de 200 mg/kg au minimum et 300 mg/Kg au maximum exprimés en fluor, et les emballages devront comporter la

mention "fluoré" ainsi que la quantité de fluor incorporée. La fabrication de sels fluorés sera, par ailleurs, soumise à une autorisation.

-4-Les méthodes officielles d'analyse des minéraux

L'annexe de l'arrêté du 8 Septembre 1977 relatif aux méthodes officielles d'analyse des produits diététiques et de régime, impose les méthodes à utiliser par les laboratoires chargés de concourir à l'application de la réglementation relative à la répression des fraudes.Cette obligation ne concerne que les aliments destinés à une alimentation particulière.

Sont ainsi décrites les méthodes pour le dosage du phosphore, du calcium, du magnésium (et du sodium et potassium). Le phosphore est dosé par une méthode colorimétrique, alors que les autres éléments sont dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Il n'existe, pour l'instant, aucune méthode officielle pour le dosage des oligo-éléments dans les aliments.

-5-Conclusion

Les législations française et européenne restent donc assez vague dans leurs définitions pour l'enrichissement ou la restauration en minéraux des aliments destinés à une alimentation particulière.
Si l'arrêté du 4 Août 1986 a permis de définir clairement quelles étaient les substances autorisées, les taux d'emploi et les mentions qui peuvent s'y

rapporter, enrichissement, supplémentation, restauration, restent encore à expliciter.

En ce qui concerne les aliments de consommation courante, doit on s'orienter vers une interdiction globale de tout enrichissement ou vers une étude au cas par cas, pour chaque catégorie d'aliments ?

Une directive européenne est actuellement élaborée; en France une révision de l'arrêté du 4 Août 1986 est en cours pour élargir, entre autres, le nombre de sels minéraux autorisés dans les aliments destinés à une alimentation particulière.

Ces nouveaux textes pourront peut être clarifier une situation qui pour l'instant est assez confuse.

ASPECTS TECHNOLOGIQUES de la SUPPLEMENTATION

-III- LA SUPPLEMENTATION DES ALIMENTS EN MINERAUX: ASPECTS TECHNOLOGIQUES

Différents points sont à considérer avant d' envisager d'introduire un minéral dans un aliment et bien souvent ce seront autant de problèmes à résoudre.

En effet, chacun des minéraux que nous avons envisagé, existe sous forme de différents sels, peut posséder divers degrés d'oxydations qui induiront autant de comportement différents lors de son addition dans un milieu complexe comme les aliments ou les boissons.
La valeur nutritive des aliments supplémentés dépendra également de ces variations.

Il est donc nécessaire de toujours regarder dans deux directions :

-La biodisponibilité du minéral à l'intérieur de l'aliment
Que signifierait par exemple un aliment portant la mention "enrichi en fer" si le fer qu'il contient ne peut pas être utilisé biologiquement par le consommateur?

-Le respect des caractéristiques organoleptiques de l'aliment.
Un aliment enrichi mais ayant un aspect peu attirant n'aura même pas la chance de traverser le tube digestif du consommateur puisqu'il n'atteindra jamais sa bouche!

Un aliment enrichi ne doit pas non plus perdre ses qualités nutritionnelles naturelles.

-1-Les interactions entre minéraux et aliments: problèmes organoleptiques et de conservation

L'ajout d'un minéral dans les aliments peut induire des couleurs ou des odeurs indésirables, l'apparition de précipités.

Beaucoup de ces effets résultent de l'interaction entre les composants naturels des aliments comme les anthocyanes, les flavonoïdes, les tanins, avec les ions métalliques.
Il peut également se produire une accélération de la dégradation des aliments par une activité pro-oxydante des minéraux.

Dans les pommes de terre deshydratées tous les composants du fer amènent des couleurs désagéables alors que c'est un précipité qui se produit dans la bière par l'interaction du fer, du cuivre ou du calcium avec les tanins.*(59)*
Certains minéraux donnent à l'aliment dans lequel ils sont indroduits un goût métallique. Le fer est souvent à l'origine de ce problème.

Les poudres instantanées de chocolat constituent un véhicule idéal pour une supplémentation en fer puisqu'elles sont largement consommées par les enfants, mais les sels ferreux peuvent provoquer l'apparition d'une couleur noire dans les produits à base de cacao *(59)*.
Lorsque l'on utilise du sulfate ou du gluconate de fer les qualités organoleptiques du produit ne sont plus acceptables. Les produits alimentaires à base de cacao enrichis en fer commercialisés actuellement contiennent donc pour la plupart du pyrophosphate de fer.
La recherche d'autres sels utilisables a conduit à essayer l'emploi de fumarate ferreux.
Les tests de dégustation sont alors satisfaisants si l'on effectue une préparation à froid ou à une température inférieure à 80°C. Par contre si la préparation se fait avec un liquide à ébullition, lait ou eau, le chocolat perd sa couleur brun-rouge caractéristique pour une couleur grise.*(33)*
Ces résultats, complétés par des études sur la biodisponibilité, font du fumarate de fer une source intéressante pour la supplémentation, mais qui nécessitera des mises en garde quant au mode de préparation de ces chocolats en poudre.

Les céréales infantiles, elles, sont déjà très souvent enrichies en fer. Des études sur la stabilité de ces céréales ont montré le rôle déterminant du fer.
Les sels solubles tels le sulfate de fer, très utilisé puisqu' il est souvent considéré comme la référence en ce qui concerne la biodisponibilité, provoquent une oxydation des céréales lors du stockage.

Dans une étude portant sur ce phénomène, le degré d'oxydation était déterminé par:

*la mesure du pentane et de l'oxygène résiduel dans les boites étanches de céréales.

*la qualité organoleptique (odeur), jugée par un groupe de dégustateurs; la notation se faisait sur 9 points, un produit frais ayant la note maximum c'est à dire 9.

Différentes sources de fer ont ainsi été testées.

Les résultats obtenus après un stockage de 3 mois à 37°C sont résumés ci après:

Tableau 15: Effets oxydatifs de l'addition des sels de fer sur des céréales infantiles

Source de fer	Flocons de blé		Farine lactée		Flocons de riz		Flocons de céréales mixtes	
	Oxyd	Odeur	Oxyd	Odeur	Oxyd	Odeur	Oxyd	Odeur
Sulfate ferreux séché*	-	6,7	+	6,0				
Sulfate ferreux non séché*	++	3,0	++++	1,0				
Sulfate ferreux enrobé*	-	5,7	-	5,0				
Pyrophosphate de fer*	++	3,7	++	2,5				
Fer éléctrolytique*	-	5,7	-	5,5				
Fumarate de fer**					-	7,0	-	5,8
Succinate de fer**					-	7,7	-	5,3
Saccharate de fer**					-	7,7	-	5,7
Sulfate ferreux encapsulé**					-	7,7	-	7,7

* enrichissement à raison de 50 mg de Fer/100 g

** enrichissement à raison de 18,5 mg de Fer/100 g

D'après (9)

Il peut exister un biais dans cette étude puisque les différentes sources de fer n'ont pas été testées sur le même type de céréales et avec des taux d'adjonction différents.
Mais les résultats de cette étude ont été confirmés par d'autres auteurs:

*L'utilisation de sulfate de fer encapsulé soit par de l'huile hydrogéné de soja, soit par des mono et diglycérides ou encore par de l'ethyl-cellulose évite les problèmes d'oxydation des matières grasses. Il n'y a pas non plus de développement de couleur et d' odeur anormales. Par contre, lors de l'ajout d'un liquide, la bouillie prend une coloration verte.

Le saccharate, le succinate ou le fumarate de fer eux n'induisent aucun de ces problèmes et apparaissent donc comme les meilleures sources de fer utilisables, sur le plan de la conservation des produits enrichis.(32)*

Outre les matières grasses il ne faudra pas oublier de surveiller le taux de tous les nutriments sensibles à l'oxydation lorsque l'on introduit des minéraux dans un aliment.
Les vitamines et particulièrement la vitamine C, la vitamine A et la thiamine sont sensibles à l'oxydation.

Le choix des sels minéraux utilisés pour la supplémentation des aliments implique donc des études de stabilité. Il peut se produire une altération de la valeur nutritive, mais on peut minimiser cette altération en sélectionnant judicieusement la source minérale utilisée.

-2-Biodisponibilité des minéraux dans les aliments.

La biodisponibilité d'un élément résulte en fait de plusieurs mécanismes. Avant qu'un minéral puisse remplir le rôle qui lui est dévolu dans l'organisme, il devra tout d'abord être libéré de l'aliment qui le contient au cours de la digestion, ensuite être absorbé par la muqueuse intestinale et être transporté jusqu' à son site d'action.

La troisième étape est indépendante du process d'ajout d'un minéral. Il est par contre intéressant de considérer les deux premières étapes.

Il existe deux facteurs principaux influant sur l'utilisation des minéraux dans les aliments supplémentés: la forme sous laquelle se trouvent les minéraux et la nature de l'aliment.

-2-1-Variations en fonction des sels minéraux employés

-2-1-1-Le Fer

Ici encore, le fer a été l'objet de la plupart des études.
Le but est de sélectionner les sources de fer présentant la meilleure biodisponibilité.

Le fer ferreux (Fe^{2+})est plus facilement absorbé que le fer ferrique. Il est donc plus logique d'incorporer du fer sous forme de sels ferreux dans les aliments.
Mais tous les sels ferreux ne sont pas équivalents.

Les variations de biodisponibilité des sels de fer dans les aliments ont été étudié par évaluation de la restauration du taux d'hémoglobine chez des animaux carencés ou par mesure de l'incorporation de fer radioactif à la ferritine.

Tableau 16: : Biodisponibilité de différents sels de fer

	Biodisponibilité dans les aliments *(59)*	Restauration en Hb du rat carencé par des céréales infantiles supplémentées *(13)*	Mesure de l'incorporation du Fer^{55} à la ferritine à partir de céréales infantiles *(13)*	Mesure de l'incorporation du fer* aux érythrocytes à partir d'un chocolat en poudre *(33)*
Sulfate de fer	100	100	100	100
Fumarate de fer	95	101	100	117
Succinate de fer		119	84	
Saccharate de fer		97	74	
Pyrophosphate de fer		58	39	75
Gluconate ferreux	97			
Citrate d'ammonium ferrique	107			
Fer electrolytique	50	44		

Le sulfate de fer est utilisé comme référence avec une biodisponibilité de 100.

Le sulfate de fer et le gluconate ferreux sont reconnus pour leur bonne biodisponibilité mais ils provoquent de nombreux désagréments organoleptiques.
Il semble que le fumarate, le succinate ou le saccharate de fer pourraient présenter une alternative intéressante à l'utilisation du sulfate de fer. Leur biodisponibilité est très proche de celle du sulfate de fer alors que celle du pyrophosphate de fer est toujours inférieure.

La biodisponibilité de ces sels alternatifs est d'autant plus élevée que leur solubilité dans le suc gastrique est importante.

Fumarate de fer : Solubilité à 25°C dans l'eau= 0,14 g/100 ml. Solubilité dans HCl 0,1 N= supérieure à 0,45 g/100 ml.

Succinate de fer : Solubilité dans l'eau = moyenne. Solubilité augmentée dans les acides minéraux.

Saccharate de fer : Solubilité dans l'eau = partielle; Solubilité dans les acides minéraux dilués = totale

Tous ces sels sont assez solubles dans l'eau et voient leur solubilité augmentée en milieu acide, ce qui correspond au pH stomacal.

Toutefois cette substitution ne peut être appliquée de façon aveugle.
Le moment où la supplémentation est effectuée lors du process de préparation de l'aliment enrichi influe également sur la biodisponibilité finale du fer.
Dans l'étude portant sur la biodisponibilité relative du fumarate et du pyrophosphate de fer dans le chocolat en poudre, l'incorporation du fer aux erythrocytes chez des sujets adultes a montré l'influence du process de fabrication employé et, plus particulièrement, du procédé de chauffage.

Deux essais de biodisponibilité ont été réalisés dans des conditions semblables mais les sels de fer étaient ajoutés juste avant l'ingestion du repas test dans le cas n°1 ou pendant le process de fabrication (avant séchage sous vide) dans le cas n°2.

Absorption du fer en % par rapport à la dose ingérée :
Le chiffre indiqué représente la moyenne géométrique et les variations à 1 Ecart type sont indiquées entre parenthèses.

Tableau 17: Biodisponibilité de différents sels de fer en fonction du procédé de fabrication dans des céréales infantiles

	Ajout immédiatement avant consommation	Ajout au début du process de fabrication
Sulfate de fer	2.82 (1,96 -4,05)	2,62 (1,62-4,24)
Fumarate de fer	3,31 (2,26-4,83)	5,27 (3,41-8,15)
Pyrophosphate de fer	2,11 (1,76-2,53)	0,55 (0,37-0,83)

On constate que la biodisponibilité du pyrophosphate de fer et du fumarate ferreux, qui ne sont pas significativement différentes dans le cas n°1, présentent un écart important (biodisponibilité du fumarate 10 fois supérieure à celle du pyrophosphate) dans le cas n°2

De même la biodisponibilité relative du fumarate par rapport au sulfate est différente dans le cas n°2 : de 117 elle passe à 201, soit le double.

Mais ces résultats ne sont pas généralisables à tous les aliments.
D'autres études *(65; 68)* ont montré par des tests sur les laits infantiles, le lait de soja ou des liquides synthétiques une augmentation de la biodisponibilité du pyrophosphate de fer après l'application d'un procédé de chauffage sur ces aliments.

Il faut donc retenir que le process de fabrication d'un aliment peut modifier la biodisponibilité des sels de fer qui sont ajoutés.
Il peut se créer des interactions entre les sels de fer et les divers composants de l'aliment, ce qui aura pour effet, entre autres, de modifier la solubilité de ces sels dans le tractus gastro-intestinal. La formation de complexes entre le fer et des phytates végétaux, par exemple, peut diminuer la solubilité des sels de fer et donc expliquer une modification de l'absorption du fer.

Il faut enfin signaler une autre méthode de supplémentation qui a donné des résultats de bonne qualité : la supplémentation à l'aide d' hémoglobine bovine concentrée.
Un essai d'utilisation de cette technique sur des céréales infantiles à base de riz a montré que l'absorption du fer était de 14,2 % (mesure de l'incorporation de fer radioactif à l'hémoglobine chez 10 enfants agés de 8 à 10 mois). La mesure était effectuée comparativement avec un témoin d'ascorbate ferreux (administré seul) dont l'absorption est de 38,5 %.*(14)*
Une autre étude sur le même type de produit a montré que le taux d'anémie martiale chez les enfants nourris par les céréales supplémentées en hémoglobine bovine (n=92 enfants) était inférieur à celui constaté chez des enfants recevant une nourriture solide non enrichie (n=96), prouvant ainsi la bonne utilisation du fer.*(31)*

Enfin, une étude menée sur une plus grande échelle puisque la supplémentation concernait 215 enfants scolarisés au Chili, a confirmé ces résultats.
La supplémentation était administrée par l'intermédiaire de biscuits enrichis par un concentré d'hémoglobine bovine. La mesure de l'incorporation du fer, toujours par estimation du fer radioactif dans les erythrocytes, montrait une absorption de 19,7 % du fer administré. De plus le taux de ferritine a été significativement augmenté dans le groupe supplémenté.*(50)*

L'utilisation d'un concentré d'hémoglobine bovine serait donc la meilleure supplémentation possible. La biodisponibilité du fer héminique reste supérieure à celle de tous les sels de fer. Mais l'approvisionnement en hémoglobine bovine se heurte aux problèmes rencontrés avec tous les produits d'origine biologique: innocuité et conservation. De plus, peu de données sont disponibles sur la bonne acceptabilité sur le plan organoleptique des concentrés d'hémoglobine.

-2-1-2-Le Calcium

Il existe également une différence dans la biodisponibilité des sels de calcium. Ces différences sont liées à une différence de solubilité mais dépendent aussi de la régulation entre l'absorption et l'élimination calcique.

Le sulfate de calcium, contenu en quantité non négligeable dans certaines eaux minérales n'aurait pas tout l'effet bénéfique attendu. Il provoque une négativation du bilan phosphocalcique par augmentation de l'élimination urinaire du calcium.
Les tests effectués chez le rat montrent que le carbonate de calcium, le gluconate de calcium ou le lactate de calcium possèdent une bonne biodisponibilité.
Ces résultats sont liés à la solubilité de ces sels :

Solubilité en milieu aqueux :

Gluconate de Calcium: soluble à 100 % à pH=5; soluble à 100 % à pH neutre.

Carbonate de Calcium: soluble à 86 % à pH=5; soluble à 1 % à pH neutre.

Lactate de Calcium: soluble à 100 % à pH=5; soluble à 100% à pH neutre

Seule la fraction ionisée soluble du calcium traverse la paroi intestinale. A pH acide les trois sels décrits seraient bien absorbés. Par contre si le pH se neutralise, la biodisponibilité du carbonate de calcium devient pratiquement nulle.

Il semble donc préférable d'utiliser du gluconate de calcium ou du lactate de calcium. Chez les patients agés qui pourraient bénéficier d'une supplémentation orale de calcium, le pH gastrique a tendance à évoluer vers la neutralité.

Pour le gluconate, l'absorption fractionnelle pour une dose orale varie de 27% à 41%, alors que pour le lactate, cette absorption a été estimée à 32%. *(62)*

Quant au sel mixte de citrate-malate de calcium son administration à raison de 1g/jour provoque une augmentation de la densité osseuse chez des enfants. Son utilité a été montrée sans que l'on connaisse réellement la fraction qui est absorbée par le corps humain.*(35)*

Mais il ne s'agit que d'études menées sur l'administration de sels isolés. Nous verrons les interactions que peut subir l'absorption de calcium.

2-1-3-Autres minéraux

Le magnésium, le zinc, l'iode sont absorbés de manière similaire quelque soit leur forme chimique.

L'absorption du zinc serait de 15 à 35 %, mais cette proportion diminue chez le sujet âgé. L'absorption intestinale est une étape clé car elle assure en grande partie la régulation de la concentration de ce métal dans le corps humain. Le jéjunum est le lieu privilégié de l'absorption.

L'absorption du magnésium est de 30 à 40 % du magnésium ingéré. Ce rendement assez faible est, de plus, susceptible d'être modifié par la présence de calcium. Il existerait une compétition entre le calcium et le magnésium au niveau des systèmes de transport actif de la muqueuse de l'iléon.

Chez l'animal, l'absorption du magnésium, sous forme d'un sel organique complexe, à partir d'une préparation diététique est équivalente à celle du MgCO3 administré seul.*(6)*.
Le choix d'un sel de magnésium a donc moins d'importance que le choix d'un sel de fer ou de calcium.

La forme sous laquelle l'iode se trouve dans l'alimentation a peu d'influence et l' absorption en elle même n'est pas un facteur limitant.
L'iode alimentaire est transformé dans le tube digestif assez facilement en iodures, lesquels sont absorbés rapidement. La régulation de la quantité d'iode dans l'organisme ne se fait pas au niveau de l'absorption comme pour le fer par exemple. La presque totalité de l'iode alimentaire est absorbé.et l'iode ingéré en excès est éliminé par voie urinaire.

L'absorption du fluor varie avec la solubilité du sel employé. Les sels fluorés sont très nombreux, nous ne reprendrons donc pas les caractéristiques de solubilité de chacun de ces sels.
Pour les sels solubles comme le fluorure de sodium la résorption est très rapide et une grande proportion du fluor est absorbée.

Pour les autres oligo-éléments les différences observées dans leur biodisponibilité ne dépendent pas seulement du sel employé. Il s'agit d'une différence reposant essentiellement sur l'existence de sels simples ou de composés organiques complexes.

La biodisponibilité du sélénium est dépendante de la forme chimique sous lequel il se trouve. Le sélénium existe sous divers degrés d'oxydation: sélénium élémentaire (Se), séléniure (Se-2), sélénites (Se+4) et sélénates (Se+6)
Le sélénium élémentaire est à peu près inerte sur le plan nutritionnel. Ce serait les formes sélénites les plus efficaces.
Les formes sélénites réagissent dans la lumière intestinale avec la cystéine pour donner des acides aminés séléniés qui traversent la barrière intestinale par le même mécanisme que l'acide aminé naturel.
D'ailleurs le sélénium alimentaire se trouve en majeure partie sous forme d'acides aminés (sélénocyteine, sélénométhionine) et ces formes sont très bien résorbées au niveau du duodénum.*(15)*

Le cuivre est plutôt bien résorbé au niveau du jéjunum, puisque l'on estime globalement à 50 % la fraction absorbée après une prise orale. Cette résorption se fait principalement sous forme complexée avec des acides aminés.

L'ordre de grandeur de la biodisponibilité du chrome est de 0,5 à 2 %.
Les composés inorganiques du chrome trivalent tel le chlorure de chrome, sont assez peu résorbés. Les composés organiques seraient mieux résorbés, mais cette théorie est controversée.
Toutefois le chrome se trouve dans les aliments, comme dans la levure de bière, sous forme de complexes et c'est cette forme qui sera biologiquement active.

L'absorption du manganèse se déroule au niveau de l'intestin grêle. Seulement 3 à 4 % du manganèse alimentaire est absorbé. Le manganèse peut se trouver sous forme ionisée ou sous forme de chélates. *(15)*

Le molybdène quant à lui est absorbé sous forme anionique avec un rendement élevé proche de 80 %. Son absorption a lieu au niveau stomacal et intestinal.*(25)*

-2-2-Les facteurs externes

On pourrait résumer ce chapitre par " Pas n'importe quel minéraux dans n'importe quel aliment".
En effet les minéraux peuvent perdre une grande part de leur efficacité par inhibition de leur absorption par les composants naturels de l'aliment.

-2-2-1-Le Fer

Le premier exemple est encore celui du fer. Son absorption est diminuée par les phytates, qui se trouvent dans les céréales, principalement, et surtout dans les céréales complètes.

Les fibres, les polyphénols présents également dans les céréales sont encore des inhibiteurs de l'absorption du fer.

Les protéines peuvent également être impliquées dans la faible biodisponibilité du fer dans les aliments. Les protéines du soja sont souvent mises en cause.
Les protéines d'origine animale auraient plutot un effet inverse et favoriseront l'absorption du fer.
Le lait constitue un milieu particulier; la caséine par ses groupes sérine-phosphate est particulièrement un fort ligand du fer, donc l'absorption de celui-ci est diminuée. Par contre dans les laits infantiles supplémentés, le fer non lié à son ligand physiologique, la lactoferrine, n'entraine pas les effets escomptés. L'absorption du fer n'est que de 10 % alors qu'elle est de 70 % pour le lait de femme.

Un test de l'absorption du fer par mesure de l'incorporation du fer radioactif aux erythrocytes à partir de différents aliments infantiles, a tenté de montrer ces effets d'interactions. Les aliments utilisés correspondaient à

* des céréales de riz avec des fruits
* des céréales de riz enrichies en protéines et vitamines
* un mélange de légumes et viande de boeuf
* du jus de raisin.

L'absorption la plus faible était observée avec les céréales de riz enrichies en protéines et avec les légumes mélangés à de la viande. *(27)* Les protéines auraient donc, ici, un effet d'inhibition de l'absorption du fer.
Mais ces résultats sont à considérer avec prudence puisque ce sont les formules commerciales de divers laboratoires qui ont été utilisées et la supplémentation n'était donc pas toujours réalisée au même taux, ni avec les mêmes sels de fer.

De plus une seconde étude, portant sur la supplémentation de fromages, a montré que la diminution de biodisponibilité du fer dans ce substrat était assez modérée. En moyenne la biodisponibilté du chlorure de fer chez le rat est de 85 % alors qu'elle est de 75 % dans le fromage supplémenté.*(71)*.

En fait si l' l'inhibition exercée par les phytates et les polyphénols semble être reconnue, l'effet des protéines et des fibres est donc très controversé.

On ne peut pas omettre de parler de l'effet exercé par l'acide ascorbique sur l'absorption du fer. L'augmentation de la résorption du fer en présence de vitamine C est largement reconnue.(33;*45;51)*

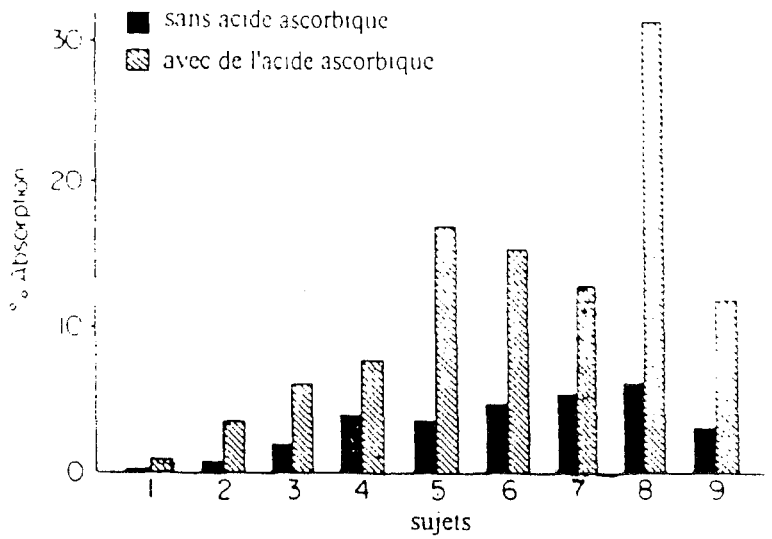
L'effet de l'acide ascorbique dépend du taux auquel il est ajouté, de la quantité de fer présente et du taux et de la nature des inhibiteurs. L'augmentation de l'absorption du fer sera plus faible que celle attendue si l'aliment contient une forte proportion de phytates ou polyphénols.

Par contre cette augmentation est constatée quelque soit le sel de fer utilisé.

Schema 1:

Effet de l'addition d'acide ascorbique sur l'absorption du fer à partir de céréales à base de riz. *(d'après 45)*

Pour chaque sujet le repas a été administré une première fois sans acide ascorbique et ,une seconde fois (jour différent) avec un ajout d'acide ascorbique.



Il est donc préconisé, à travers de nombreux travaux, d'ajouter de l'acide ascorbique en même temps que le fer dans les aliments.

Une séparation physique de l'acide ascorbique devra être assurée, séparation qui sera détruite au moment de l'ingestion de l'aliment. En effet, il faut rappeler que l'activité pro-oxydante du fer va augmenter sa vitesse de dégradation au cours du stockage de l'aliment et entrainer ainsi un phénomène d'initiation des réactions en chaîne de l'oxydation.

Il sera donc préférable de protéger l'acide ascorbique par un enrobage.

Enfin il faut signaler que le zinc influe sur l'absorption du fer. Cette interaction est plutôt une compétition car si le zinc diminue l'absorption du fer, la réciproque est également vraie. Il semble que se soit le cation présent en plus grande quantité qui sera absorbé préférentiellement.*(69)*
La supplémentation en zinc ou en fer ne devrait donc pas se faire de façon indépendante mais toujours être menée en même temps sous peine de voir le statut de l'un diminué par la supplémentation par l'autre. Il conviendra alors de tenir compte de cette interaction dans le choix des dosages de l'un ou l'autre de ces minéraux.

-2-2-2-Le Zinc

Outre une interaction avec le fer, nous avons vu que l'absorption du zinc était diminuée par la présence de phytates. Ce sont sans doute les plus puissants antagonistes de l'absorption du zinc et leur effet est potentialisé par des teneurs élevées en calcium dans les aliments.

Un autre métal exerce un effet compétitif sur l'absorption du zinc: le cuivre, car il relève du même mécanisme d'absorption au niveau de la muqueuse intestinale que le zinc.

Inversement une teneur élevée en protéines ou en acides gras insaturés favorise l'absorption du zinc.*(26)*

2-2-3-Le Fluor

Les véhicules utilisés le plus généralement pour la supplémentation en fluor sont l'eau de boisson ou le sel mais les essais réalisés avec le lait ou la farine ont donné également de bons résultats. Dans le lait, l'effet du calcium, susceptible selon certains de modifier la biodisponibilité du fluor, ne se retrouve pas de façon significative et la diminution de la prévalence du nombre de caries reste sensiblement la même que lorsque l'on utilise l'eau comme substrat de supplémentation.*(11;64)*

-2-2-4-Autres minéraux

Les études menées sur l'absorption du cuivre ont montré que sa biodisponibilité pouvait être nettement abaissée par l'interaction entre les sulfures endogènes ou exogènes dans le tractus gastro-intestinal.
De très faibles concentrations en cadmium, de l'ordre de 3 µg/g, ou encore la présence de calcium gènent aussi l'utilisation du cuivre.
Par contre cette absorption est favorisée en présence d'acides aminés qui pourront former avec le cuivre, dans le bol alimentaire, des complexes possédant une bonne biodisponibilité.*(15,63)*
L'effet du calcium sur l'absorption du cuivre doit pourtant être replacé dans son contexte.
Le calcium et l'acide ascorbique, seuls, diminuent sensiblement l'absorption du cuivre mais leur association permet de réduire cet impact. Le calcium aurait alors une action neutralisante de l'acide ascorbique et la biodisponibilité du cuivre se verrait augmentée.*(41)*

Le zinc diminue, lui aussi, l'absorption du cuivre. La compétition entre le cuivre et le zinc au niveau des mécanismes de transport de la barrière intestinale a amené certains auteurs a proposer un rapport optimal Zn/Cu dans les aliments qui pourrait être compris entre 5/1 et 10/1.
Le potassium augmente la rétention du cuivre dans l'organisme, le sélenium, le magnésium la diminue alors que le manganèse et le nickel n'exercent aucun effet.*(41; 52; 69)*

La biodisponibilité du chrome est beaucoup plus élevée dans les céréales que dans la viande, le lait ou les légumes verts.
Le zinc, le fer et le vanadium diminuent l'absorption intestinale du chrome. Par contre elle est significativement augmentée par l'oxalate, l'acide ascorbique ou l'acide nicotinique. L'effet de l'oxalate n'est pas uniquement dû à son pouvoir chélateur du chrome puisque le citrate et l'EDTA n'ont montré aucun effet et que les phytates, il faut le rappeler ont un effet inverse.

L'acide ascorbique est un facteur important dans le métabolisme du sélénium mais cela dépend étroitement des quantités en présence. A haute dose l'acide ascorbique diminue la résorption du sélénium alors qu'à doses plus faibles (celle d'un jus

d'orange) elle est augmentée. La vitamine E joue elle un rôle synergique de l'activité du sélénium mais n'influence pas son absorption intestinale.

En ce qui concerne le manganèse, nous retrouvons les mêmes types d'interactions que celles citées pour les autres métaux : le calcium, le phosphore, le fer, les phytates inhibent l'absorption du manganèse. Chez l'animal un régime riche en manganèse diminue l'absorption du fer et le phénomène inverse a été constaté avec les laits infantiles enrichis en fer: l'absorption du manganèse est diminuée.
Cet antagonisme est probablement dû au fait que les sites de fixation et d'absorption du fer seraient les mêmes que ceux du manganèse.

-2-2-5-L'action des phytates

Nous avons déjà cité à plusieurs reprise l'effet inhibiteur de la présence de phytates sur l'absorption des minéraux. En fait il semble que cet effet se retrouve pour beaucoup de minéraux : le Fe, le Zn, le Cu, le Mg, le Ca, le Cr, le Mn. (Ils n'ont que peu d'influence sur l'absorption du Mo)
Cet effet des phytates reste, malgré tout, plus marqué pour le fer, le zinc ou le calcium.

L'acide phytique ou hexa phosphate d'inositol fixe les minéraux en formant des complexes insolubles. Les groupements phosphates de l'acide phytique, par leur charge négative, vont avoir tendance à se lier aux minéraux qui se trouvent sous forme de cation.
Les phytates sont particulièrement présents dans l'enveloppe des céréales. Ainsi, si les céréales complètes sont de meilleures sources en valeur absolue de minéraux, la quantité des minéraux absorbés réellement n'est peut-être pas plus élevé que dans les céréales raffinées.

Dans le cadre d'une supplémentation il conviendra de s'assurer que le niveau de supplémentation dépasse les capacités de fixation de l'acide phytique (saturation des groupements phosphates) pour qu'une fraction des minéraux ajoutés reste disponible.

-3-Conclusion

Le choix de la forme sous laquelle un minéral sera introduit dans un aliment devra tenir compte de nombreux paramètres:

* la biodisponibilité de l'élément dont le facteur principal à retenir est semble-t-il sa solubilité dans le milieu gastrique.

* la nature de l'aliment dans lequel il est introduit pour évaluer les interactions possibles sur la biodisponibilité, sur la conservation et sur les caractères organoleptiques du produit final.

* les éventuelles interactions entre les différents suppléments dans le cas où l'ajout concerne plusieurs minéraux, des vitamines ou autres nutriments.

L INTERET D UN ENRICHISSEMENT DES ALIMENTS EN MINERAUX

-IV- L'INTERET D'UN ENRICHISSEMENT DES ALIMENTS EN MINERAUX

-1- Une supplémentation en minéraux par les aliments est-elle efficace ?

Cette question implique la mise en oeuvre de moyens d'évaluation du statut biologique en minéraux directement, par mesure du taux plasmatique ou erythrocytaire du minéral concerné, ou indirectement, par la mesure de marqueurs biologiques comme le taux de protéines de transport spécifique.
Pour le fer on peut également évaluer le niveau des stocks en fer par mesure du taux de ferritine.

-1-1- le fer

Il est admis que chez les nourrissons nourris par des laits artificiels, il est préférable d'utiliser à partir de six mois un lait enrichi en fer. Chez les prématurés dont les réserves en fer à la naissance sont moins bien constituées, une nourriture artificielle devra être supplémentée en fer à partir de deux mois.
L'alimentation des enfants par des céréales enrichies en fer est aussi une précaution qui devrait se généraliser.
Dans ces conditions la prévalence des anémies chez les enfants est diminuée. De même le taux d'hémoglobine et le taux de ferritine sont augmentés. *(18; 51; 55)*
De plus, cette supplémentation ne présente aucun inconvénient majeur. Les aliments enrichis en fer sont bien tolérés. On n'observe pas davantage de problèmes digestifs (régurgitation, coliques, constipation,vomissements) chez les enfants consommant ce type d' aliments *(4;51;55)*.

Les études menées dans les populations défavorisées (pays de bas niveau socio-économique) ont aussi montré l'efficacité des programmes de supplémentation en fer. Les femmes, présentant souvent des grossesses rapprochées, ont un statut en fer généralement bas qui peut, de ce fait, être amélioré. *(9;45)*
Cette amélioration a été objectivée par la mesure du taux d'hémoglobine, de ferritine et des réserves en fer.

-1-2- Le zinc

Il existe peu d'études évaluant le bien fondé de l'administration de zinc par l'intermédiaire d'aliments enrichis.
Par contre, le risque de carence largement reconnu chez la femme enceinte a conduit certains auteurs à évaluer l'effet d'une supplémentation médicamenteuse en zinc dans cette population. Les résultats sont assez contradictoires puisque le statut en zinc plasmatique ou en zinc erythrocytaire n'a pas toujours été augmenté.*(26,40)*
Les conditions physiologiques particulières de la femme enceinte seraient responsable de cet état de fait; les systèmes de régulation seraient modifiés. Malgré cela la supplémentation en zinc, en dessous de 50 mg par jour, ne présentant aucun inconvénient elle est recommandée en association avec celle, plus habituelle, de fer; *(26)* Continuée lors de l'allaitement, elle permettra d'augmenter le taux de zinc dans le lait maternel.*(23)*
Mais si la grossesse entraîne des modifications des régulations physiologiques, il n'en est pas de même chez les autres catégories de la population présentant un risque de déficit en zinc (Personnes agées, sportifs en entraînement intensif, végétariens)
Chez les personnes âgées ou les végétariens ce risque est consécutif est à une diminution de l'apport donc une supplémentation alimentaire devrait s'avérer efficace.
Chez les sportifs il s'agirait plutôt d'une augmentation de l'utilisation mais de la même manière un enrichissement des aliments en zinc devrait être intérressant.
Cet apport de zinc ne devrait toutefois pas dépasser 50 mg par jour. Des doses supérieures peuvent entrainer une baisse de la cuprémie et du HDL cholestérol.

-1-3- Le calcium

La supplémentation en calcium a elle aussi fait preuve de son efficacité chez les adolescents et chez les personnes âgées.
Chez les adolescents, il a été prouvé que la densité osseuse a augmenté sous l'effet d'un apport en calcium, administré de façon thérapeutique.
Chez les personnes âgées, en prévention ou après la déclaration d'un phénomène d'ostéoporose, l'administration de calcium par l'intermédiaire des aliments présente un intérêt encore plus grand:elle a un effet préventif reconnu et diminue les risques d'une deuxième fracture.
Les personnes âgées sont très souvent polymédicalisés. Il est donc difficile d'alourdir encore le nombre de médicaments qui leur est administré. La consommation d'aliments enrichis en calcium pourrait donc être recommandée pour les femmes immédiatement après la ménopause et ensuite pour l'ensemble de la population de plus de 65 ans.

-1-4- Le sélénium

Il a déjà été évoqué les effets très néfastes d'une carence en sélénium. Heureusement ces carences véritables sont rares. Dans la région du Keshan, en Chine, où l'apport de sélénium était pratiquement nul, un enrichissement de la farine en sélénium s'est montré efficace.
Une étude menée sur la supplémentation des vieillards par un mélange antioxydant à base de sélénium et de vitamine E a aboutit à une amélioration de leur état général: augmentation du flux sanguin dans différentes régions du cerveau, amélioration des scores psychologiques.
Le recours à une supplémentation en sélénium, du moins chez les personnnes âgées, par des doses de 50 à 100 µg par jour présenterait donc un certain bénéfice. De plus, à ces doses-là il n'a pas été invoqué d'inconvénients notables. La toxicité du sélénium ne se manifeste que pour des doses de plusieurs centaines de µg par jour.

-1-5-L'iode

Dans les pays où la consommation alimentaire est comparable à celle de la France, les besoins en iode ne sont pas couverts. La consommation de poissons et de crustacés, principale source d'iode, n'est pas suffisamment importante. L'ajout d'iode au sel de cuisine a été une des premières mesures prises pour éradiquer les carences en iode. La prévalence de ces carences a sensiblement diminuée et aujourd'hui les phénomènes de goitre par carence iodée ne sont plus que sporadiques.
Cette mesure a donc montré son efficacité et le statut en iode est à l'heure actuelle acceptable.

-1-6-Le fluor

Le sel est également utilisé comme véhicule pour l'administration de fluor.
Toutes les études s'accordent pour montrer le bien fondé d'un enrichissement alimentaire par le fluor. Le taux de caries est nettement diminué dans les régions où l'on a introduit du fluor par le sel, l'eau, le lait ou la farine. En Suisse depuis l'utilisation du sel fluoré, un bilan effectué sur quinze ans montrait que les taux de réduction de la carie oscillait entre 60 et 80 % sans que ce fût au prix d'une augmentation de la consommation de sel. *(48)*

-1-7-Le cuivre

La supplémentation en cuivre par les aliments semble, elle, inefficace.
Les nouveaux nés sont susceptibles de présenter un déficit en cuivre mais quel que soit l'enrichissement du lait, le cuivre et la céruloplasmine plasmatique du bébé augmentent de façon identique avec le temps. L'état de carence en cuivre du nouveau-né serait donc résistant à la supplémentation par l'alimentation.*(61)* La carence serait secondaire à un défaut de maturation des systèmes de régulation physiologiques.
Les autres populations ne présentant que peu de risques de carence dans les pays développés, l'ajout de cuivre dans les aliments ne présente pas d'intérêt.

-1-8- Le molybdène

La supplémentation en molybdène, peut corriger les carences éventuelles chez le nouveau-né, bien que ces carences ne soient pas encore réellement démontrées de façon certaine.
En fait un apport en molybdène serait nécessaire et efficace dans les laits infantiles.
La dose recommandée par Bougle pour les prématurés est de 2 à 3 µg/Kg/jour.
Mais cette dose doit être respectée. Un taux trop élevé de molybdène est suceptible d'induire un déficit en cuivre car il déplace ce métal de ses réserves tissulaires.*(15)*

D'une façon générale nous pourrons conclure que la supplémentation en minéraux par les aliments sera efficace lorsque le risque de déficit est secondaire à un défaut d'apport, une augmentation des besoins. Mais lorsqu' interviennent des perturbations des régulations physiologiques, cette efficacité est remise en cause..

-2-Innocuité des aliments supplémentés

Les quantités de minéraux recommandées pour la supplémentation des aliments est bien entendu nettement inférieure aux doses toxiques. Néanmoins il peut être observé certains phénomènes d'intolérance.

Quelques cas sporadiques d'intoxication par le zinc par voie orale ont été observés lors de traitements antiacnéiques avec des doses quotidiennes d' environ 200 mg de sulfate de zinc. Ils se traduisaient par des pertes d'appétit, des douleurs articulaires, une léthargie, des pertes de mémoire. Ces symptômes regressent à l'arrêt du traitement. *(10)*

Le risque d'une consommation excessive de calcium est limité.
Une hypercalcémie entraîne des phénomènes de lithiase urinaire, sutout chez les personnes ayant des antécédents de lithiases de type calcique, mais on estime qu'il

peut y avoir une consommation jusqu'à 2 g / jour de calcium sans provoquer de phénomènes de ce genre.

Il faut également soulever le problème des intolérances génétiques à certains oligo-éléments.
Dans l'hémachromatose, où l'on observe une surcharge en fer chez les patients pouvant conduire à des troubles neurologiques graves, la régulation de l'absorption est perturbée. Il y a accumulation de fer dans les organes de réserve, et dans le foie particulièrement, sous forme d'hémosidérine, ce qui provoque des risques de cirrhose secondaire. La saturation de la transferrine en fer n'induit plus le blocage de l'absorption intestinale du fer.
Il paraît logique d'éviter une alimentation anormalement riche en fer même si un régime pauvre en fer ne semble avoir qu'une incidence assez faible sur l'évolution de la maladie.

On observe également de rares cas d'intélorance génétique à d'autres oligo-éléments comme le zinc ou le cuivre. La maladie de Pick qui serait secondaire à une accumulation de zinc dans le cerveau, aboutit à des phénomènes de démence. La maladie de Wilson correspond à une accumulation du cuivre par défaut de synthèse de la céruloplasmine. Ce type de troubles est rarement observé. Il s'agit de maladies à pronostic grave mais avec une incidence faible.

Mais plutôt que de remettre en cause l'enrichissement des aliments en minéraux, il faut songer à réglementer cet enrichissement. Une information suffisante doit être exigée sur les emballages des aliments enrichis en minéraux. Cette information pourra prévoir une mise en garde pour les personnes intolérantes à certains minéraux lorsque ceux-ci sont utilisés.
Ce type de mise en garde est d'ailleurs celui employé sur certains produits contenant de la phenylalanine ou certains produits destinés aux diabétiques. La supplémentation minérale doit se faire dans le même esprit pour un consommateur averti.

En dehors de quelques cas particuliers, pathologiques, la supplémentation minérale par les aliments est considérée comme inoffensive, dans le respect des doses recommandées.

-3- Comment mener une supplémentation par les aliments

Une supplémentation par l'intermédiaire des aliments semble préférable sur le plan psychologique à une administration médicamenteuse.

Cette dernière a pour avantage de toucher de façon certaine sa cible. Par contre elle implique un système de santé sensibilisé à ces problèmes.,Actuellement elle est menée, par exemple dans le cas des femmes enceintes, d'une façon satisfaisante, en France, en ce qui concerne le fer.
Cette méthode reste cependant beaucoup trop ponctuelle dans le temps et vis à vis de ses cibles.

La supplémentation en minéraux par l'intermédiaire de la nourriture pourrait présenter l'avantage d'assurer une couverture plus large, pour autant que l'aliment utilisé comme véhicule soit bien choisi.
L'enrichissement en minéraux des aliments peut donc être le moyen le plus efficace, et le moins cher, à long terme, de corriger les carences reconnues.

Cet enrichissement peut alors être mené selon deux démarches:

***soit être intégré dans un programme national ou régional.**

En France un tel programme est conduit pour l'enrichissement du sel en iode et en fluor. Dans les pays Anglo-saxons ou Scandinaves la farine est souvent enrichie en fer.
Dans les régions séléniprives, l'adjonction de selénium dans les aliments de base a permis de corriger les troubles dûs aux carences.

Ces programmes sont assez longs à mettre en place. Ils demandent également une implication des pouvoirs publics.
De plus ils ne peuvent être raisonnablement établis que lorsqu'une carence ou un risque de carence en un élément a été démontré dans une grande proportion de la population.

La prévalence des anémies ferriprives a été jugée suffisament importante dans certains pays pour que les denrées alimentaires de base soit enrichies en fer. En France cette attitude n'a pas été jugée nécessaire. En fait les risques de déficit en

fer sont importants pour des fractions de la population: les enfants, les femmes enceintes, les personnes âgées. Dans les deux premiers groupes les aliments contenants du fer sont suffisaments disponibles sur le marché pour qu'un programme d'éducation sanitaire et d'information soii suffisant et encourage à la consommation de tels types d'aliments.

Dans le cas d'autres minéraux comme le sélénium le risque de carence étant consécutif au taux bas de cet élément dans les sols, il semble plus opportun de s'orienter vers un programme de supplémentation national tel qu'il est réalisé en Finlande.

Il s'agit donc de définir avec les pouvoirs publics quelles sont les orientations à prendre après des enquêtes épidémiologiques sérieuses sur le statut en minéraux de la population.

***soit d'origine industrielle**

Lorsque le risque de carence touche des segments de la population plus restreints : les nourrissons, les femmes enceintes, les personnes agées, la prise en charge de cette supplémentation relèvera plus du fait des firmes agro-alimentaires, surtout dans nos pays industrialisés.

Pour les enfants, cette démarche est maintenant assez répandue. On peut acheter des céréales pour nourrissons supplémentées en fer, des laits enrichis en fer, zinc, magnésium. Les céréales pour petit déjeuner sont souvent enrichies en fer.
L'aspect marketing et publicitaire n'est certainement pas étranger à cette relative abondance.
Le bien-être de l'enfant, dans nos sociétés de consommation, est un argument commercial de poids et les mères de famille sont prêtes à payer plus cher des aliments enrichis.
Si cet aspect économique ne prend pas le dessus, les aliments enrichis en minéraux pour enfants pouvant être accessible même aux populations de bas niveau socio-économique, on ne peut que louer de telles initiatives. La prévalence des déficits en minéraux sera diminuée.

Mais il ne faut pas oublier que les carences en minéraux peuvent toucher d'autres catégories de la population. Les personnes agées particulièrement souffrent d'un apport calorique souvent restreint et présentent fréquement des risques de carence.

Si l'on commence à voir apparaître des aliments enrichis en calcium recommandés aux femmes ménopausées, le marché des aliments enrichis destinés aux personnes du troisième age reste encore timide.

La prévalence du déficit magnésique peut concerner jusqu'à 15 à 20 % de la population. De plus l'apport en magnésium étant corrélé à l'apport calorique, les personnes soumises à un régime hypocalorique seront particulièrement susceptibles de présenter une carence en magnésium. C'est en fait leur statut en minéraux qui risque d'être globalement affecté, et cette catégorie de population, dans notre société qui prone la minceur à tout prix, est relativement importante. L'adjonction de minéraux aux produits de régime hypocaloriques pourraient être une mesure préventive efficace.

Il existe donc des secteurs de la population bien définis où les aliments supplémentés sont du ressort des industriels.

-4-Règles générales de l'enrichissement

La réussite de la supplémentation en minéraux par les aliments implique des choix judicieux.
La démarche à suivre pour réaliser un programme de supplémentation en fer par les aliments a été clairement établi.*(16;34)*
Certains points peuvent être repris et extrapolés à tous les minéraux pour élaborer une supplémentation par une industrie agro-alimentaire.

***Evaluer le statut dans la population étudiée**

Cette première précaution est nécessaire pour pouvoir estimer ultérieurement l'efficacité de la supplémentation. En fait il s'agirait plutôt ici de rechercher la population cible, cette catégorie de la population présentant un risque de carence en minéraux.

***Choisir l'aliment utilisé**

Pour cela il faut considérer d'une part les contraintes techniques : l'aliment utilisé doit :

-avoir un bon pouvoir masquant

-provoquer une ségrégation minimale du minéral au cours du stockage.
-conférer une bonne biodisponibilité au minéral (minimiser les inhibiteurs)
-être d'un coût de production modéré

et d'autre part les contraintes de consommation : l'aliment choisi doit :
-être effectivement consommé par la population cible selectionnée
-cette consommation doit être générale sur la totalité du territoire ou s'effectuera la commercialisation.
-doit présenter un risque minimal de surconsommation.
-ne doit pas être d'un prix de revient trop élevé.

***Choisir une forme minérale appropriée à l'aliment choisi.**

Nous l'avons vu il existe certaines incompatibilités entre le minéral et l'aliment qui peuvent être évitées par un choix éclairé de la forme sous laquelle le minéral sera utilisé.
De plus il conviendra de vérifier que la forme choisie est compatible avec la législation en vigueur lorsqu'elle est définie.

***Etablir l'acceptabilité et la stabilité de l'aliment enrichi**

Le consommateur jugera le produit, par l'intermédiaire par exemple de jury de dégustation. Ces tests devront s'effectuer sur le produit frais mais aussi sur le produit jusqu'à sa date limite de consommation.

***Evaluer la biodisponibilité du minéral à partir de l'aliment.**

Ces tests présentent un aspect médical et seront effectués soit sur des animaux, soit sur l'être humain. On peut alors utiliser des marqueurs radioactifs, évaluer la restauration d'une fonction perturbée par une carence antérieure ou mesurer des constantes biologiques telles le taux de ferritine.

***Effectuer un essai en zone restreinte et définie.**

Cet essai permettra de confirmer la bonne acceptabilité du produit et son opportunité en termes commerciaux sur le marché des produits diététiques.

-5- Conclusion

Les aliments enrichis en minéraux présentent un intérêt certain en terme de santé publique, mais il faut veiller à ce que leur élaboration soit éxecutée dans de bonnes conditions.

METHODES DE DOSAGE
des mineraux dans les aliments

-V-LE DOSAGE DES MINERAUX DANS LES ALIMENTS

Il est actuellement possible de détecter et de doser des quantités très faibles de minéraux dans les aliments. Le choix d'une technique de dosage sera orienté par cette notion de quantité. Certaines techniques d'analyse sont très sensibles et permettront un dosage pour des concentrations de l'ordre du ppm, mais ces techniques ne seront pas à employer pour des minéraux d'un niveau de concentration élevée.
Le second point particulier de ce type de dosage est le milieu dans lequel se trouvent les minéraux. Les aliments constituent une matrice complexe et les interactions peuvent être nombreuses.
Il serait difficile de vouloir aborder en détail toutes les méthodes d'analyse pour les minéraux. Nous chercherons donc plutôt les éléments de choix pour la mise en oeuvre de telle ou telle méthode.

Depuis les premières méthodes d'analyse qui utilisaient la gravimétrie, les principes mis en jeu se sont largement diversifiés. Les techniques les plus utilisées aujourd'hui sont

-L'absorption atomique en flamme ou en four
-La spectrométrie d'émission de flamme
-La fluorimétrie moléculaire ou atomique
-La polarographie
-La spectrométrie de masse.

La spectrophométrie d'absorption atomique est certainement la méthode la plus universelle, le chapitre qui lui sera consacré sera donc plus étayé.

Mais si ces techniques offrent des sensibilités importantes ainsi que des limites de détection très basses, les manipulations doivent être exécutées avec le plus grand soin . En effet les mesures peuvent être affectées par des phénomènes de pertes ou de contaminations lors de la préparation de l'échantillon.

-1-Préparation de l'échantillon

-1-1- L'échantillonnage

Les prélèvements respecteront les règles d'échantillonnage propres à chaque type de produit, définies par les normes nationales ou internationales lorsqu'elles existent. Dans le cas contraire, on se reportera aux règles générales d'échantillonnage.

Certaines précautions seront à respecter pour la préparation de ces échantillons. Qu'il s'agisse de la collecte de l'échantillon pour laboratoire ou de la préparation de l'échantillon pour analyse, tout le matériel devra être choisi pour ne pas provoquer de contaminations. Bien sûr, les contenants métalliques seront à proscrire, on utilisera du polypropylène ou tout autre matériau non contaminant et de nettoyage facile.

Si un broyage ou une homogénéisation sont nécessaires, les instruments utilisés devront apporter une contamination minimum.
Les lames des broyeurs sont souvent mises en cause. On peut utiliser un broyeur recouvert de téflon (cuve et lames) mais le prix de revient en est relativement élevé. Le caoutchouc est souvent une source de contamination en zinc.
Il sera donc nécessaire de vérifier le niveau de cette contamination dans les conditions normales d'utilisation en mesurant la teneur en éléments minéraux d'une solution témoin traitée comme l'échantillon.

Lorque l'on envisage le dosage d'éléments traces en très faible quantité la contamination atmosphérique sera également à évaluer.

-1-2-La minéralisation

Dans le même ordre d'idée que les remarques faites pour le broyage, les réactifs utilisés devront être de très haute pureté.
La minéralisation constitue en général l'étape clé du dosage des minéraux. Excepté dans le cas de l'eau , il s'agit d'une étape obligatoire pour le dosage dans les aliments.
Il existe deux grandes voies pour effectuer une minéralisation:

-La minéralisation par voie sèche

Elle consiste à calciner l'aliment par passage au four à une température de 400°C à 700°C. La calcination peut être facilitée par l'action d'un agent oxydant: acide nitrique, nitrate d'ammonium ou de magnésium.

-La minéralisation par voie humide

La destruction de la matière organique se fait par l'action oxydante de l'acide nitrique, sulfurique ou perchlorique ou du peroxyde d'hydrogène, à une température de 120°C environ. Ces agents de minéralisation peuvent être employés seuls mais ils seront de préférence combinés.

En général:
* Action de l'acide nitrique à ébullition puis, après refroidissement, ajout d'acide perchlorique. Cette méthode est recommandée pour les aliments difficiles à minéraliser si ils ne sont pas trop riches en matières grasses.

*Action de l'acide nitrique et de l'acide sulfurique à chaud jusqu'à coloration noire du milieu puis ajout progressif d'acide nitrique par fraction de 2 ml et chauffage. L'acide perchlorique peut être utilisé en fin de minéralisation si le produit est résistant.

*Action de l'acide nitrique à chaud puis on rajoute du peroxyde d'hydrogène après refroidissement. On porte à ebullition une seconde fois.
Cette dernière méthode est à priviligier si elle est suffisante puisqu'elle évite l'emploi d'acide perchlorique dangereux.

*Minéralisation par digesteur à micro-ondes: il s'agit toujours de faire agir de façon combinée des acides ou du peroxyde d'hydrogène mais en utilisant comme moyen de chauffage l'energie des micro-ondes. Les appareils actuellement disponibles

permettent une automatisation de la minéralisation. Une programmation permet de définir les quantités, la nature des réactifs à ajouter ainsi que la durée de chaque phase de chauffage. La durée de minéralisation peut être réduite à moins d'une heure.

Tableau 18 : Avantages et inconvénients des minéralisation par voie sèche et par voie humide

VOIE SECHE	VOIE HUMIDE
Pertes	
Risque non négligeable de pertes pour les éléments volatils surtout: Zn, I, Se Formation de composés peu solubles par fusion en présence d'alcalins par formation d'oxydes, de polyphosphates et pyrophosphates Absorption par la matière du récipient.	Peu de risques de pertes
Contamination Peu de risques de contamination	Plusieurs réactifs en quantité non négligeable donc les risques de contamination existent
Nature de l'aliment Tout type d'aliments	Difficultés à minéraliser un aliment riche en lipides
Rapidité Long: peut durer plus de 24 heures, mais demande peu de surveillance.	De quelques minutes (micro-ondes) jusqu'à 6 à 8 heures.
Appareillage Four à moufle Peu de verrerie (creusets en quartz ou Pt)	Bain sec de chauffage ou digesteur à micro-ondes Tubes en quartz bouchés téflon
Contraintes pour le dosage Solution finale peu riche en acides	Solutions finales très acides.

-2-Les méthodes de dosage

-2-1- L'absorption atomique

Cette méthode est fondée sur la possibilité pour tout atome d'absorber les radiations qu'il est lui-même capable d'émettre. En pratique, on se limite à l'absorption des radiations de résonnance. Les éléments de choix portent donc sur :

-Le moyen de production d'un faisceau de radiations de résonnance de l'élément à doser

-La méthode d'atomisation de l'échantillon

-2-1-1-Le moyen de production d'un faisceau de radiations de résonnance de l'élément à doser.

Ce faisceau de radiations est produit par

*une lampe à cathode creuse. La cathode est constituée par l'élément à doser lui-même dans une enceinte contenant un gaz rare. Ces lampes produisent la raie de résonnance de l'élément à analyser qui est celle dont la probabilité d'absorption est la plus élevée.

*une lampe à vapeur métallique, utilisable pour le dosage des éléments alcalins et du mercure seulement. Ces lampes produisent des radiations sur une largeur non négligeable.

On utilisera donc le plus souvent une lampe à cathode creuse et compte tenu de leurs performances techniques le choix s'orientera surtout en fonction de leur durée de vie.

Il faut noter que l'on peut utiliser, quelquefois, une autre longueur d'onde que celle de résonnance pour éviter des phénomènes d'interférence à condition bien sûr que

les photons de cette longueur d'onde soient absorbés par les atomes à doser au niveau fondamental d'energie E°.
Des raies non de résonnance peuvent pour certains éléments être plus sensibles: Cr: 357,9 nm; Cu: 324,7 nm.

-2-1-2-La méthode d'atomisation

Pour obtenir une vapeur de l'élément à doser on utilisera soit une flamme soit un four.

***L'atomisation par flamme**
La nature de cette flamme, réductrice ou oxydante, sera choisie en fonction de l'élément à doser.
La flamme peut être obtenue par

-un mélange air-acétylène

Convient pour la plupart des dosages, puisque selon les proportions on peut obtenir une flamme oxydante ou réductrice.

-un mélange protoxyde d'azote- acétylène

Permet d'atomiser des éléments formant dans la flamme des oxydes réfractaires.

-un mélange oxygène-acétylène

Présente l'avantage de limiter l'effet de mémoire lorsque l'on dose différents éléments successivement.

Une indication sur le choix de la flamme en fonction de l'élément à doser est donnée dans le tableau 19.

Pour optimiser une mesure il conviendra également de:

-déterminer l'influence du rapport des débits comburant-combustible

Le débit du comburant est fixé en général pour les conditions optimales de nébulisation. Pour que l'atomisation soit la meilleure possible le rapport comburant/combustible doit être compris dans certaines proportions.

-déterminer la longueur de la flamme traversée par le rayonnement.

Conditions d'analyse pour quelques éléments (selon Pinta)

Tableau 19 : Conditions d'analyse en absorption atomique en flamme

Elément	Raie nm	Flamme
Ca	422.7	air-C2H2-N2OC2H2
Cr	357.9	air-C2H2 réd
Cu	324.7	air-C2H2 oxyd
Fe	248.3	air-C2H2 oxyd
K	766.5	air-C2H2, air-C3H8 oxyd
Mg	285.2	air-C2H2 sto
Mn	279.5	air-C2H2 oxyd
Mo	313.3	air-C2H2, N2O-C2H2 réd
Na	589.0	air-C2H2, air-C3H8 oxyd
Se	196.1	air-C2H2 oxyd

***L'atomisation en four**

Les mesures seront alors d'une plus grande sensibilité que lors de l'utilisation d'une flamme.

L'emploi des fours s'effectue en trois phases

-une étape à basse température pour assurer l'évaporation de la phase liquide. En général la température est de 100°C environ.

-une étape à température plus élevée destinée à détruire les composés organiques et à amener les éléments minéraux sous forme permettant leur atomisation.

-un stade d'atomisation à haute température au cours duquel s'effectue la mesure.

L'élaboration de cette programmation de température se fait en fonction de l'élément à doser.

La température maximale de décomposition et la température optimale d'atomisation sont proportionnelles aux températures d'ébullition et de fusion du composé à doser.

Le choix du gaz vecteur peut permettre dans certains cas d'améliorer la spécificité de l'atomisation.

La nature du four peut aussi être l'objet d'un choix. La paroi peut être en graphite, en graphite pyrrolytique ou en graphite recouvert de tantale. Les fours pyrrolytiques conviendront bien aux éléments de faible volatilité (Mo) mais moins bien aux éléments les plus volatils (Al, Sn, Si).

Conditions générales en atomisation electrothermique :

Tableau 20 : Conditions d'analyse en absorption atomique electrothermique

Elément	Raie	milieu recommandé	T D en °C	T d'atomi. en °C
Ca	422.7	HNO3	1000	2500
Cr	357.9	HCl H2SO4	1200	2700
Cu	324.8	HNO3 HCl	900	2500
Zn	213.9	HNO3	500	2000
Fe	248.3	HNO3 H2SO4	1000	2500
K	766.5	HCl	1000	2200
Mg	285.2	HNO3	1000	2200
Mn	279.5	HCl H2SO4	1100	2600
Mo	313.3	HCl	1900	2700
Na	589.0	HCl	700	2000
Se	196.0	HNO3 Ni H2O2	700	2500

Le choix de l'absorption atomique en flamme ou en four dépendra de la sensibilité et de la limite de détection que l'on désire obtenir.
L'absorption atomique en flamme permet des mesures plus rapides.
Des essais seront également nécessaires pour choisir la méthode la plus adaptée en fonction de la minéralisation qui a été utilisée.

-2-1-3-Sensibilité de l'absorption atomique :

Tableau 21

Elément	Sensibilité µg/ml Absorption atom. en flamme	Sensibilité µg/ml Absortion atom. en four
Ca	0.02	0.0004
Cr	0.04	0.002
Cu	0.03	0.003
Fe	0.05	0.025
K	0.02	0.0005
Mg	0.004	0.00002
Mn	0.03	0.0002
Na	0.005	0.0001
Se	0.11	0.02
Zn	0.007	0.0001

d'après (30. 54)

-2-1-4-Limites de détection en absorption atomique :

Tableau 22

Elément	Limite de détection µg/ml Absorption atom. en flamme	Limite de détection µg/ml Absorption atom. en four
Ca	0.001	0.002
Cr	0.003	0.001
Cu	0.004	0.0002
Fe	0.003	0.0005
K	0.0002	0.0001
Mg	0.003	0.000002
Mn	0.000236	0.00002
Na	0.16	0.00002
Se	0.0026	0.010

d'après (30; 54)

L'absorption atomique en flamme s'applique à l'analyse rapide et de routine pour des concentrations supérieures à quelques dizaines de ppb dans les milieux liquides.

Quelle que soit la méthode d'atomisation, la méthodologie nécessitera toujours l'éxécution d'une gamme d'étalonnage, l'ajout d'un étalon interne ou l'emploi d'ajouts dosés

Une méthode d'absorption atomique en four est plus délicate à mettre au point, mais la sensibilité est très grande et elle permet d'atteindre des concentrations plus faibles.

L'absorption atomique est applicable à de nombreux éléments, elle est spécifique, précise.
Elle présente l'inconvénient d'utiliser des blancs ou un étalonnage préalable et d'imposer pour chaque élément une mise au point approfondie de la technique de dosage afin d'éliminer toutes les causes d'erreur ou de perturbations.
Elle ne permet le dosage que d'un seul élément à la fois.

-2-2-Spectrométrie d'émission atomique

Principe:
Mesure des rayonnements émis caractéristiques des atomes ou groupes d'atomes propres à certains éléments d'une solution nébulisée et atomisée au sein d'une flamme produite par deux gaz.
Les échantillons doivent se trouver sous forme de sels à anions volatils.
Comme pour l'absorption atomique les dosages sont effectués comparativement à une gamme d'étalonnage, ou par une méthode des ajouts dosés ou d'étalon interne.
Actuellement une amélioration sensible est apportée par l'utilisation de torches à plasma en remplacement des flammes classiques.

Avantages
C'est une méthode applicable à de nombreux éléments (30 sont couramments dosés par cette technique,méthode de choix pour les alcalins,alcalino-terreux).

Elle est spécifique, sensible, possède une limite de détection basse, une bonne précision et permet des dosages simultanés de plusieurs éléments.

Inconvénients :
Nécessite une mise au point approfondie.
Exige l'utilisation de blancs.

-2-3-Fluorimétrie atomique et moléculaire

Fluorimétrie moléculaire

Principe:
On utilise les propriétés de fluorescence de certains composés formés par des substances organiques avec les minéraux.

Le spectre d'émission est tracé après excitation par la longueur d'onde maximale d'exitation selectionnée par un monochromateur. L'intensité de l'émission est proportionnelle à la concentration en composé pour des concentrations faibles.

Méthodologie:
Après minéralisation des échantillons, formation d'un complexe entre l'oligo-élément à doser et un composé organique suceptible d'émettre une fluorescence. Le complexe sera extrait par un solvant organique.
La concentration de l'échantillon est estimée par construction d'une courbe d'étalonnage avec mesure de la fluorescence de solutions de l'élément concerné en concentration connue.

Fluorescence atomique

Principe
Le phénomène d'absorption atomique est accompagné par une transition electronique, donc le retour d'un electron au niveau fondamental qui se réalise avec une émission de photons dits de fluorescence.

Méthodologie:

L'appareillage utilisera une source d'atomisation qui comme pour l'absorption atomique pourra être une flamme ou un four, et une source d'excitation ainsi qu'un système de mesure de la fluorescence.

Avantages :

-Très haute spécificité pour la fluorescence atomique

-Bonne sensibilité mais dépend toutefois de la performance du matériel employé (dépend de l'intensité de la source d'excitation, de la largeur de fente)

-Limites de détection basses

Limites de détection en fluorimétrie atomique

Tableau 23

Limite de détection	Métal
< ng/ml	Ag, Cd, Mg, Cu, Zn
< 10 ng/ml	Be, Co, Fe, Hg, Mn
< 100 ng/ml	As, Cr, Pb, Sn

Limites de détection en fluorimétrie moléculaire

Tableau 24

Limites de détection de la fluorimétrie moléculaire	
Limite de détection	Eléments
< ng/ml	AL, Cu, Mg, Se
< 10 ng/ml	Hg, Zn, Si
< 100 ng/ml	Ca, Cl, Mo, Sn, F,
< μg/ml	Li, I
< 10 μg/ml	As, V

Inconvénients

L'intensité de la fluorescence est fonction de la température, du pH, de la force ionique, il est donc nécessaire de définir des conditions opératoires strictes; la préparation des échantillons est longue, il est le plus souvent nécessaire d'avoir recours à des extractions.

Domaine d'application

La fluorimétrie moléculaire a donné lieu surtout à la mise au point de méthodes de dosage des minéraux en milieu biologique: détermination du magnésium dans le serum en utilisant la 8-hydroxyquinoléine-5-sulfonate de sodium comme ligand *(53)*, combinaison du Se avec le 2,3 diaminonaphtalène *(22)*. Mais le dosage des minéraux dans les aliments peut utiliser l'extrapolation de ces méthodes si les conditions de pH sont compatibles avec les minéralisations des aliments. Le zinc par exemple peut être dosé par fluorimétrie en formant un complexe avec la salicylaldehyde thiocarbazone. Cette méthode a été mise au point pour le dosage dans le vin. *(2)*

Le sélénium, le fluor pourront également être dosés par fluorimétrie avec une bonne sensibilité.

La fluorimétrie atomique est, en théorie, applicable au dosage de très nombreux éléments: Ag, Cd, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Cr, Pb, Co, Ni,entre autres.

-2-4-La polarographie

Principe

La polarographie est basée d'une part sur l'electrolyse d'une substance en solution, effectuée entre deux électrodes (une électrode de référence maintenue à potentiel constant, une électrode indicatrice soumise à un potentiel variable) et d'autre part sur les phénomènes d'oxydo-réduction se produisant aux électrodes.

On fait varier la tension entre les deux électrodes grâce à un dispositif potentiométrique et on enregistre la variation de l'intensité I du courant en fonction de la tension appliquée. La courbe de l'intensité I en fonction de la tension présente un point d'inflexion par lequel on identifie l'ion mesuré. La concentration peut être déduite de l'interprétation graphique de la courbe (distance entre les deux tangentes à la courbe: Id). La proportionalité de cette mesure à la concentration n'est valable que pour de faibles concentrations.

Méthodologie

On trace une courbe d'étalonnage de Id en fonction de la concentration, puis on effectue la mesure sur l'échantillon à doser après minéralisation, extraction par un solvant organique et deuxième extraction par une solution d'électrolyte.
Le pH de la solution doit être déterminé avec précision.

Avantage

Rapidité de la mesure électrochimique.

Inconvénients

La préparation des échantillons est longue et fait appel à des extractions.
Il est nécessaire d'évaluer toutes les interactions possibles.

-2-5-Comparaison de ces méthodes

QUALITES	Absorption atomique	Emission de flamme	Fluorescence	Polarographie
Spécificité	+++	+++	atomique: ++++ moléculaire: ++	+++
Sensibilité	+++	+++	+++	+++
Limites de détection	+++	+++	+++	+++
Gamme des teneurs	$> 10^{-9}$ g	10^{-1} à 10^{-7} g	$> 10^{-9}$ g	$> 10^{-9}$ g
Précision	flamme: 0.5 à 3% four : < 1%	0.2 à 2 %	+++	+++
Dosages	monoélémentaire	multiélémentaire	atomique: multiélémentaire	multiélémentaire

-2-6- Autres méthodes

Beaucoup moins générales, elles sont néanmoins à considérer lorsque le laboratoire ne s'intéresse qu'au dosage d'un seul minéral, elles ne demandent pas un appareillage spécifique.

Spectrométrie de masse:

La spectrométrie de masse est un bon moyen d'identification des atomes présents dans un échantillon, mais elle est plus difficilement utilisable de façon quantitative. Elle est souvent utilisée en couplage avec une autre méthode.

Electrodes spécifiques:

L'analyse par des électrodes spécifiques peut être employée pour certains minéraux, particulièrement pour le fluor. C'est pour cet élément que les résultats sont les meilleurs. Par contre elle ne conviendra pas au dosage de l'iode.
Elle présente l'avantage d'une mise en oeuvre simple et rapide.

Colorimétrie ou spectrophotométrie U V :

La colorimétrie reste valable pour le dosage d'éléments en quantité importante comme le phosphore. Mais certaines méthodes de mise au point récentes peuvent être employées pour les autres minéraux avec de bons résultats, même si la sensiblité est inférieure au méthodes physiques. Le problème majeur réside dans les possibilités d'interactions nombreuses lors de l'analyse des aliments.

Spectrométrie des rayons X:

C'est une méthode rapide, non destructive et qui permet de doser plusieurs éléments à la fois. Mais c'est une méthode très peu répandue et nécessitant un appareillage spécifique qui ne sera donc pas employée en contrôle de production.

Activation neutronique:

Un échantillon est activé par un bombardement de particules de forte energie. On fait alors l'étude des noyaux radioactifs formés dans l'échantillon et on compare l'activité à l'activité d'un étalon dans les mêmes conditions.
C'est de toutes les méthodes de dosage celle possédant la meilleure spécificité et les limites de détection les plus basses. De plus elle permet l'analyse de plusieurs éléments à la fois, est applicable à la plupart des éléments. Dans certains cas on peut l'utiliser directement sur un échantillon non minéralisé si la matrice ne s'active pas ou si elle a une période courte.
Mais c'est une méthode très particulière exigeant des mesures longues et délicates et la précision est moyenne.

-3-Les méthodes officielles d'analyse

Il ne faut pas oublier que le dosage de certains minéraux dans les produits diététiques est soumis à réglementation.
Ces méthodes officielles d'analyse n'existent que pour les éléments majeurs ou secondaires : le phosphore, le calcium, le magnésium et le potassium.
Toutes préconisent une minéralisation par voie sèche suivie d'une reprise acide et la mesure finale s'effectue par spectrophotométrie d'absorption atomique excepté pour le phosphore.
Le phosphore est dosé par colorimétrie par réaction avec le réactif vanadomolybdique après une minéralisation par voie humide.

-4-Conclusion

L'absorption atomique est la méthode la plus utilisée actuellement pour le dosage des minéraux. C'est la technique la plus universelle et la plus simple à mettre en

oeuvre. Toutefois pour les laboratoires amenés à pratiquer des analyses seulement ponctuellement il sera possible de développer d'autres méthodes, pour éviter l'achat d'un appareillage spécifique.

LES PRODUITS ENRICHIS EN MINERAUX

LES ALIMENTS ENRICHIS EN MINERAUX

-1-Une journée de supplémentation minérale

-7 heures- Le petit déjeuner

Le petit déjeuner est souvent appelé par les nutritionnistes le "repas le plus important de la journée". Nous ne ferons pas mentir cet adage.
Si on veut enrichir sa ration quotidienne en minéraux il faut commencer tôt.
Le lait du petit déjeuner, que ce soit dans le chocolat des enfants ou dans le café des adultes, naturellement abondant en calcium et phosphore, peut aussi être enrichi en fer, (Croissance de Candia; Eveil de Lactel)ou en fer, zinc et magnésium (Grand Vivre de Candia). Un lait spécialement destiné aux femmes enceintes ou allaitantes est enrichi entre autre en fer et magnésium (Gervais).
On trouve également des préparations instantanées à mélanger à du lait, enrichies en Ca, Fe et Mg.(Amandine de Céréal), accompagnées de céréales pour petit déjeuner, enrichies en fer (Kellog's, Nestlé, Quaker) voilà un bon cocktail minéral.

Pour les amateurs de traditionnelles tartines, le pain grillé peut être enrichi en Mg. (Grillet' de Céréal).

-10 heures- Un petit creux ?

Les barres de céréales enrichies en minéraux : Zn, Fe (Barres aux Oligo-éléments, Barres vitalité de Céréal; Barres énérgétiques Inko) permettront de patienter jusqu'au déjeuner.

-13 heures- Le déjeuner

L'apéritif pourrait être une boisson à base de plantes enrichies avec du Fe et du Mg (Kario pha de Kario), mais vous préférerez peut être un jus de pruneaux enrichi en Fe ou un coktail de légumes enrichi en Fe, Ca et Mg (Céréal).

-Une après midi sportive ?

Les boissons commercialisées sous l'appellation "Boisson diététique de l'effort" apportent le plus souvent une quantité appréciable de minéraux : Mg, Ca, K,..(Isostar de Wander; Minéral ligth de Inko).

-17 heures- L'heure du thé

Le thé sera accompagné de biscuits enrichis en Ca et Fe (Céréal, Milical) en Zn ou Fe (Milical, Gayelord Hauser), de cookies enrichis en Mg (Céréal) et même, pour les gourmands d'un morceau de chocolat enrichi en Ca et Mg.(Choco noisette de Céréal). Pour les enfants une gamme de biscuits enrichis en différents minéraux, Ca, Fe, Mg, est disponible (Gerblé, Vivis), que l'on peut servir avec une tasse de chocolat enrichi en Fe et Mg.(Gerblé,Vivis)

-20 heures- Le diner

La ration de pain pourra être remplacée par des longuets enrichis en Ca (Céréal). Le lait de soja, source interréssante de protéines, peut être utilisé pour l'élaboration de certaines recettes. Il existe maintenant sous forme enrichie en Ca (Biostar).

-2-Les produits de régime :

Les produits de substitution d'un repas (liquides ou solides) contiennent tous les minéraux nécessaires (Bouchées minceur nutrifine : Carbonate de Ca, Carbonate de Potassium, Lactate ferreux.).
Certaines gammes de produits de régime hypocaloriques ont élaborés des aliments classiques mais enrichis en minéraux qui sont conseillés aux personnes désirant réduire leur apport calorique pour éviter l'apparition de phénomènes de carence (Milical : biscuits enrichis en minéraux).

-3-Pour Bébé :

Tous les laits infantiles de premier âge (jusqu'à 4 à 5 mois) renferment des sels minéraux mais avec des teneurs variables puisque la teneur en fer des laits maternisés peut aller de 0,8 mg/100 ml (Nativa, Enfanlac, Nidina 1, SMA) à une absence complète de supplémentation (Aptamil).
Il faut rappeler que la législation réglemente la supplémentation en minéraux des aliments lactés diététiques (Confère chap Législation).
La composition moyenne des laits peut être établie comme suit par rapport à la composition moyenne en minéraux du lait de femme.

Minéraux	Lait de femme	laits maternisés	laits modifiés 1er age	laits modifiés 2ème age
Sodium	17,2	17	30,5	36,5
Calcium	34,4	56	73	95
Phosphore	14,1	35	55	70
Potassium	51,2	62	90	143
Fer	0,03	0,7	0,6	0,8

D'après Courpotin, Debert (17)

La composition minérale est donc toujours largement supérieure à celle du lait de femme conformément à la législation. Les laits sont tous l'objet de supplémentation en minéraux, mais qui n'ont pas tous la même biodisponibilité

B.U.M. GRENOBLE

malheureusement que les minéraux présents dans le lait de femme. Malgré cela le nourrisson et l'enfant en bas age nourris artificiellement auront un apport minimum en minéraux assuré.
Lorsque la nourriture de l'enfant va se diversifier il conviendra d'être alors plus vigilant.

De nombreuses céréales infantiles, en flocons instantanés, destinées aux enfants en bas âge et certains biscuits pour bébé sont enrichis en fer. (Blédiscuit, Céréales de Blédina; Céréales infantiles Nestlé).

Lorsque l'enfant grandit, les potages deshydratés qui peuvent être introduits dans son alimentation comportent aussi pour certains du fer (Petite soupe de Blédina).

-4-La nutrition entérale par sonde

Les solutions pour nutrition entérale sont élaborées afin de délivrer une ration alimentaire suffisante aux malades qui ne peuvent pas absorber une alimentation solide normale.

Ces solutions sont de plusieurs types :

-mélanges préparés de façon "artisanale" par les services de diététique à base de lait, sucre, viande, jaune d'oeufs.

-mélanges préparés industriellement :

-mélanges polymériques complets contenant des protéines, des glucides, et des lipides.

-aliments monomériques. Ils contiennent des nutriments sous forme prédigérée c'est à dire des acides aminés, des acides gras et des monosaccharides.

Pour chacun de ces types on peut obtenir des aliments de composition équilibrée ou à prédominance lipidique, protéique ou glucidique.

En pratique les problèmes de carence en minéraux ne se posent pas quand est utilisée une diète équilibrée réalisée à partir de produits naturels. La préparation

des solutions fait appel à des procédés qui conservent comme contaminants, les oligo-éléments en faible quantité.

Si la diète est strictement élémentaire, des carences en minéraux peuvent apparaitre. La préparation des mélanges utilise des nutriments préparés par voie synthétique ou hautement purifiés.

Il faudra tenir compte dans l'évaluation des besoins quotidiens de l'importance du catabolisme, du stress, des lésions associées.

Lors de l'utilisation de ces mélanges nutritifs chez les patients présentant des brûlures étendues, l'apport de sels minéraux est paticulièrement important. Le zinc ayant un rôle essentiel dans la synthèse des protéines devant servir à la cicatrisation des plaies, et la synthèse des immunoglobulines, on recommande une dose élevée de zinc (jusqu'à 440 mg/ jour). Une dose aussi élevée ne peut toutefois être administrée trop longtemps car elle empêche l'absorption intestinale du fer et du cuivre.

En fait, en fonction de chaque type de pathologie, le sujet sous nutrition entérale par sonde sera susceptible de développer des carences en tels ou tels minéraux :

Chez les insuffisants respiratoires on remarqura surtout des carences en magnésium ou sélénium.

Chez les insuffisants hépatiques les carences en tous oligo-éléments sont fréquentes et peuvent être profondes.

Chez les patients présentants des fistules digestives les carences en minéraux sont, également, souvent généralisées du fait des pertes digestives.

Chez les insuffisants rénaux, par contre, il apparait un risque d'excès en magnésium, potassium ou phosphore.

Les choix de la composition de la ration alimentaire pourra donc être orienté par ces observations.

Un équilibre minéral sera aussi à respecter suivant la nature de la ration alimentaire. Le chrome joue un rôle important dans le métabolisme des sucres, il faut donc tenir compte de l'augmentation des besoins en chrome lorsque la ration calorique contient un fort pourcentage de glucides.

Les carences véritables en sélénium ou en cuivre ne peuvent être observées qu'à très long terme, mais il faut tenir compte de l'état de dénutrition des patients qui ont déjà un apport marginal en oligo-éléments avant la mise en place d'un procédé de nutrition entérale par sonde.

C'est en tenant compte de ces différents paramètres que l'on peut évaluer le risque de carence en minéraux.

Le tableau suivant donne un aperçu de la composition de quelques mélanges pour nutrition entérale.

Tableau 25 : Composition de quelques mélanges pour nutrition entérale par sonde

Composition pour 100 ml	PEPTIREAL	REABILAN	NUTRISON	SONDALIS ISO	ENTEROGIL 500	RENUTRYL 500 *
Na en mg	47	70	80	50	80	100
K en mg	94	125	135	110	140	84
Ca en mg	70	50	50	50	21,2	
P en mg	70	50	50	60	42,4	
Mg en mg	18	25	20	20	10,6	9,3
Cl en mg	65		125	>50		76
Fe en mg	1,05	1	1	1	1,1	0,8
Zn en mg	0,95	1	0,75	1	0,95	
Mn en μg	16	200	150	200	300	300
Cu en μg	21	100	100	100	100	
I en μg	41,5	7,5	7,5	7,5	21	

* d'après la composition

La composition des mélanges industriels pour nutrition entérale est équilibrée et garantie, le plus souvent, pour les teneurs en Na, K, Ca, P, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, I, Cl c'est à dire en macro-éléments et en quelques oligo-éléments

essentiels. Mais parmi ce dernier groupe on pourrait s'attendre à trouver dans la composition des liquides pour nutrition entérale des teneurs en Se, ou en Cr.

Si les teneurs en calcium et en phosphore sont identiques pour la plupart des mélanges, il existe pourtant un produit présentant une teneur en phosphore deux fois plus élevée que celle du calcium.
L'assimilation de ces eux éléments serait favorisée lorsque l'on observe un rapport de leur teneurs respectives (Ca/ P) compris entre 1 et 1,5. En fait la plupart des mélanges présentent un rapport Ca/ P de 1. La quantité de calcium se trouve donc à la limite inférieure admise communément.
Il est difficile d'estimer quels sont les produits présentant la meilleure absorption de calcium : certains présentent une quantité relative de calcium faible alors que pour l'Entérogil elle est un peu élevée.

Le Peptiréal présente, lui, une teneur en iode particulièrement élevée, comparativement aux autres mélanges. Un flacon de 500 ml, apportant 500 KCal, fournira donc au patient 207,5 μg d'iode, ce qui parait élevé si l'on se refère au apports nutritionnels conseillés en iode qui sont de environ 150 μg par jour pour un adulte.

Le Rénutryl (Laboratoires Sopharga) est l'un de ces mélanges le plus couramment employé. Sa composition, pour 100 ml, est définie comme suit :

Vitamine A	533 UI
Nitrate de thiamine	0,77 mg
Riboflavine	0,80 mg
Panthoténate de calcium	2,53 mg
Chlorydrate de pyridoxine	0,56 mg
Acide ascorbique	20 mg
Nicotinamide	2,80 mg
Oxyde de magnésium lourd	9,30 mg
Chlorure de potassium	160 mg
Sulfate de manganèse monohydraté	1,05 mg
Sulfate ferreux heptahydraté	4,00 mg
Caséinate de sodium	3,333 g
Lactoprotéines	5,736 g
Levures lactiques plasmolysées et séchées	0,800 g
Lait sec écrémé en poudre	2,730 g
Huile de soja	1,067 g
Huile de beurre	1,266 g
Sirop de glucose deshydraté	12,00 g
Saccharose	5,333 g

Excipient : monostéarate de glycérol, tripolyphosphate de sodium, extrait alcoolique de vanille, vanilline, carraghénates, hydroxyde de potassium, eau purifiée.

La composition mentionne donc les teneurs en magnésium, potassium, manganèse, fer.
L'apport en calcium et en phosphore est assuré par le lait écrémé : 2,730 g de lait apportent environ 3,60 mg de calcium. Le calcium et le phosphore se trouvent alors dans des proportions qui favorisent leur assimilation.
La quantité de calcium présente apparait assez faible même si l'on considère que le lait n'est pas la seule source disponible de calcium.

L'apport de fer , assuré par le sulfate ferreux heptahydraté, correspond à 0,8 mg de fer élément. Le sulfate de manganèse monohydraté apporte, lui, 300 μg de manganèse élément.
Pour une ration de 2000 KCal, le patient absorbera donc 3,2 mg de fer et 1,2 mg de manganèse.La quantité de fer apparait donc nettement inférieure aux apports quotidiens recommandés pour un adulte, mais il peut y avoir un apport supplémentaire par le fer contenu dans les différents ingrédients utilisés.

L'équilibre vitaminique est respecté : un apport de vitamines du groupe B est assuré, ainsi qu'un apport en vitamine A et en vitamine C.
Le calcium est absorbé sous forme ionisée. L'adjonction d'acide ascorbique aux préparations est un moyen d'apporter in situ un donneur d'ions H+ qui va faciliter l'ionisation du calcium. L'association d'un donneur d'ions H+ est également un facteur favorisant l'absorption du fer.

S'il n'y a pas d'apport en sélénium il faut toutefois noter que l'incorporation de levures lactiques peut constituer un apport en cet oligo-élément. Les levures sont une source importante de sélénium puisque 100 mg de levures contiennent environ 50 μg de sélénium (teneur définie pour saccharomyces cerevisiae).

Les teneurs en zinc, cuivre, molybdène, iode, chrome ne sont pas quantifiables au travers de la composition.
Ce mélange est préparé à partir de produits "naturels" : saccharose, huile de beurre, huile de soja, lait écrémé, levures lactiques qui constituent un apport en oligo-éléments. Il est cependant difficile d'estimer quantitativement cet apport, et c'est un mélange pour nutrition entérale qu'il sera préférable de ne pas utiliser à long terme comme unique source nutritionnelle.

-4-Conclusion

Le marché des produits diététiques a connu une forte expansion ces dernières années. Aujourd'hui ce marché se diversifie par l'intermédiaire, entre autre, des produits enrichis en minéraux. Mais ces produits ne sont pas diffusés avec l'information suffisante pour une bonne utilisation par la majorité des consommateurs. Une meilleure définition législative de ces produits permettrait aux industriels de pouvoir s'orienter vis à vis de ce marché, et peut-être de développer de nouveaux produits, mais aussi de donner à ceux qui existent une information adaptée.

CONCLUSION

CONCLUSION

L'homme a-t-il besoin d'aliments enrichis en minéraux, alors que son alimentation ancestrale lui a permis de vivre et d'évoluer depuis des millénaires ? Les habitudes alimentaires ont évolué, nous souhaitons chaque jour acquérir un "mieux être", augmenter notre espérance de vie.
Pour atteindre ce but une nourriture judicieuse et équilibrée, visant à satisfaire au mieux les besoins de l'homme d'aujourd'hui, des sociétés industrialisées, doit se développer. S' il est vrai qu'il existe des carences en minéraux dans la population nous disposons des moyens pour les corriger.
Mais pour l'industriel qui aura la charge de fabriquer ces aliments, il faut que son objectif de commerçant se double d'une mission de santé. Les produits élaborés ne doivent pas simplement avoir un impact commercial, ils doivent avoir une efficacité physiologique.
Quelles sont les limites de cet impact sur la santé ? Les instances législatives ont à charge de définir avec plus de précision ce qui appartiendra au domaine de l'agro-alimentaire ou au domaine des professions de santé.

Les minéraux sont donc indispensables à la vie, l'homme doit gérer son alimentation pour bénéficier de la meilleure façon possible de leurs effets.

En espérant que ce travail vous a permis de découvrir l'aspect indispensable des minéraux dans l'alimentation, pour l'associer au plaisir, futile, qu'ils nous procurent par le regard....

BIBLIOGRAPHIE

(1) Actualités Concurrence, consommation et répression des fraudes.1992; 51 Nov:4.

(2) Afonso Perera A.M. Santana J.J. Garcia Montelongo. Fluorimetric détermination of zinc with Pyrocatechin-1-aldehyde-2-benzothiazolylhydrazone. microchemical Journal. 1984; 29: 113-118.

(3) Aggett PJ. Barclay S. Whithley JE. Iron for the suckling. 1989; 361:96-102.

(4) American Academy of Pediatrics Comittee on Nutrition: Iron-fortified infant formulas. Pediatrics. 1989 Dec; 84(6):1114-5.

(5) Apflebaum. Forret. Nillus. Abrégé de diététique et nutrition. Masson. Paris. 472 p.

(6) Aranda P. Lopez-Frias M. Lopez-Jurado M. Rivero M. Urbano G. J. Nutr. Sci. Vitaminol. Tokyo. 1989 Feb; 35(1):81-90.

(7) Arrêté royal du 25 Avril 1990 concernant la mise dans le commerce de nutriments et de denrées alimentaires contenat des nutriments. (Belgique).

(8) Avis du 27 Juin 1989 : les aliments et les vitamines de la comission Interministériel et Interprofessionnelle d'études des denrées destinées à une alimentation particulière (CEDAP° B. O. de la DGCCRF du 2 février 1990.

(9) Ballot DE. Mac Phail AP. Bothwell TH. Gillooly M. Mayet FG. Fortificayion of curry powder with NaFe(III) EDTA in an iron-deficient population: report of a controlled iron-fortification trial. Am. J. Clin. Nutr. 1989 Jan; 49(1):162-9.

(10) Bhargava R.K.Dangers of oral Zinc thérapy. International journal of dermatology. 1989; 4:205

(11) Bocquet L. Hémachromatoses, données récentes. Science médicale pratique.1966;10:2949-62

(12) Briancon D. Quillet P. Duplan B. Chapuy M.C. Arlot M. Meunier P.J. Comparaison de la biodisponibilité du fluor à la suite de l'administration de fluorure de sodium seul ou en association avec du calcium. Thérapie 1988; 43:107-10.

(13) Burry J. Oxydation de produits céréaliers. Mémoire scientifique. Revue Française des corps gras. 1989; 36(3-4):137-41.

(14) 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 Apr; 43(4):237-43.

(15) Chappuis P. Coord. Les oligo-éléments en médecine et en biologie. Techn. et Doc. Paris; 1991:680 p.

(16) Cook JD. Reusser ME, Iron fortification: an update. Am J. Clin Nutr. 1983; 38:648-59.

(17) Couportin C. Deberdt P. Les laits infantiles. Le concours médical. 1988;110(30):2613-2617.

(18).Dallman P.R. Progress in the prévention of iron deficiency in infants. Acta. Paediatr. Scand. Suppl. 1990;365:28-37.

(19) Deymié B. Multon J.L. Simon D. Tecnhiques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires (Tome 4). ed Tech et Doc. Paris. 1981.409 p.

(20) Dezamy MV. Données actuelles sur les oligo-éléments: étude d'une supplémentation chez les sportifs. th D Pharm. Nantes.1987.

(21) Directive CEE 89/398 du 3 Mai 1989 realtive au rapprochement des législations des états membres concernant les denrées destinées à une alimentation particulière. J. O. CEE n° L186 du 30 Juin 1989.

(22) Dominguez T., Garcia-Moreno C., Marine Font A. Spectrofluorimetric détermination and thin-layer chromatographic identification of selenium in foods. Analyst,. 1983;4(108):505-9.

(23) Dorner K. Dziadzka S. Hohn A. Sievers E. Oldigs HD. Longitudinal manganese and copper balances in young infants and preterm infants fed on breast-milk and adapted cow's milk formulas. Br. J. Nutr. 1989 May; 61(3):559-72.

(24) Drueke T. Gairard A. Gueguen L. Hercberg S. Mareshi JP. Minéraux en alimentation humaine, apports recommandés pour divers groupes d'individus bien portants. Cah Nutr. Diet.1986; 21(5)

(25) Dupin H. Abraham. Jachetti M. Les apports nutritionnels conseillés pour la population française. Tech. et Doc. Paris. 146 p.

(26) Favier A. Favier M. Conséquence des déficits en zinc durant la grossesse pour la mère et le nouveau-né. Revue Française de gynécologie et obstétrique. 1990 Jan; 85(1):13-27.

(27) Fomon SJ. Ziegler EE. Rogers RR. Nelson SE. Edwards BB. Guy DG. Erve JC. Janghorbani M. Iron absorption from infant foods. Pediatr. Res. 1989 Sep; 26(3):250-4.

(28) Frazer J G. The Golden Bough: the magic Art and the evolution of kings. 1935. New York: Macmillan.

(29) Gueguen L. A propos des enquêtes de consommation de calcium en France. Rapport groupe de travail CEDAP "Vitamines et minéraux".

(30) Haswell S.J. Atomic Absorption Spectrometry. ed Elvesier.Amsterdam.1991.529 p.

(31) Hertrampf E. Olivares M. Pizarro F. Walter T. Cayazzo M. Heresi G. Llaguno S. Chadud P. Stekel A. Haemoglobin fortified cereal: a source of available iron to breast-fed infant. Eur. J. Clin. Nutr. 1990 Nov; 44(11):793-8.

(32) Hurell RF. Iron fortification of infant cereals. Bibl. Nutr. Dieta. 1989 44:114-22.

(33) Hurrell RF. Reddy MB. Dassenko SA. Cook JD. Br. J. Nutr. Ferrous fumarate of chocolate drink powder.1991 Mar; 65(2):271-83.

(34) International Anaemia Consultative Group. Guidelines for the eradication of iron deficiency anaemia. New York:Nutrition fondation,1977.

(35) Johnston C. Miller J.. Slemenda C. Reister T. Siu Hui M. Calcium supplementation and increases in bone mineral density in children. New Engl. J. of Med. 1992 Jul; 327(2):82-87.

(36) Downing D. The licensing of nutritional supplements. Journ. of Nutr. Med. 1991; 2:111-119.

(37) Journal officiel de la république française. Hygiène alimentaire; Produits diététiques et de régime. Paris. 1991.

(38) Journées méditérannéennes d'anesthesie-réanimation,Marseille, 22 et 23 Juin 1979. Nutrition artificielle: alimentation entérale, nutrition parentérale. Annales de l'anesthésiologie française; 1980;21(1).

(39) Journée de nutrition entérale, Forcilles. Médecine et chirurgie digestive. 1980; 9(8):661-70.

(40) Kassam N. Etudes recentes concernant le zinc en nutrition humaine. Méd. et Nutr. 1987; 23(4):227-40.

(41) Kies C. Harms JM. Copper absorption as affected by supplemental calcium, magnesium, manganese, selenium and potassium. Adv. Exp. mEd. BIol. 1989; 258:45-58.

(42) Lack of adverse reactions to iron-fortified formula. Nutr. Reviews. 1989; 47(2):41-2.

(43) Lederer J. Manuel de diététique. Septième édition. Ed Maloine Nauwelaerts. Paris 316 p. 1992

(44) Coord. Linden G. Techniques d'analyse et de contrôle dans les Industries Agro-alimentaires. Tome 2. Tech. et Doc. Paris 1984. 436p.

(45) Mac Phail AP. Bothwell TH. Fortification of the diet as a strategy for preventing iron deficiency. Acta Paediatr. Scand. Suppl. 1989; 361:114-24.

(46) Mareschi JP. Mod. Les minéraux et les oligo-éléments en nutrition humaine. Compte rendu des Journée nationales de diététique de Marseille. Revue Fr. Diét. 1988; 126(3):27-46.

(47) Merk index Tenth ed. 1983. Rahway NJ USA

(48) Moinier B Le sel fluoré. Cah nutr diet. 1990;25(4):273-6.

(49) Nutrition et santé publique . Approche épidémiologique et politique de prévention. ed Tec et Doc Lavoisier 1985

(50) Olivares M. Hertrampf E. Pizzaro F. Walter T. Cayazzo M. Llaguno S. Chadud P. Cartagena N. Vega V. Amar M. Hemoglobin-fortified biscuits: bioavailability and its effect on iron nutriture in school children. Arch. Latinoam. Nutr. 1990 Jun; 40(2): 209-20.

(51) Olivares M. Walter T. Hertrampf E. Pizzaro F. Stekel A. Prevention of iron deficiency by milk fortification. The Chilean experience.Acta. Paediatr. Scand. Suppl. 1989; 361:109-13.

(52) Oosting JS. Lemmens AG. Van den Berg. GJ. Beynen AC. Iron, copper, and zinc status in rats fed supplemental nickel. Biol. TRac. Elem. Res. 1991 Oct; 31(1):63-70.

(53) Pesce M.A. Bodourian S.H. Hills L.P. Fluorimetric measurment of serum magnésium with a centrifugal analyser. Clinica chimia acta. 1984; 137-44.

(54) Pinta M. Recherche et dosage des éléments traces. Dunod éd. 1961, 132 p.

(55) Power HM. Heese HD. Beatty DW. Hughes J. Dempster WS. Iron fortification of infant milk formula: the effect on iron status and immune fonction. Ann. Trop. Paediatr. 1991; 11(1):57-66.

(56) Principes généraux régissant l'addition des nutriments aux aliments. Codex alimentarius ALINORM 87/26. Annexe V modifiée par ALINORM 91/26. Annexe V.

(57) Projet d'avis du 27 février 1990 de la CEDAP sur l'adjonction de calcium, magnésium et fer aux aliments.

(58) Renault D. Contribution à l'étude des oligo-éléments en nutrition humaine. Th. D. Pharm. Rouen. 1897.

(59) Richardson DP. Food fortification. Proc. Nutr. Soc. 1990 Feb; 49(1):39-50.

(60) Ringe JD. Kunczik T. Calcium and health. Ed by Seeman p and Kunczik T. Sandoz Ltd. Bale

(61) Salmenpera L. Silmes MA. Nanto V. Perheentupa Copper supplementation: failure to increase plasma copper and ceruloplasmin concentrations in healthy infants. J. Am; J. Clin. Nutr. 1989 Oct; 50(4):843-7.

(62) Sandocal. Dossier d'information technique. Laboratoires Sandoz. Paris.1989.

(63) Sandoval G. Winter A. Taboada H. Becker A. Importance of iron for the recovery of malnourished infants. rev. Chil. Pediatr. 1989 Mar-Apr; 60(2):84-8.

(64) Simon M. et coll. Les hémachromatoses. Ann Med Interne. 1981,132(6): 413-33.

(65) Theuer RC. Kemmener KS. Martin WH. Zoumas BL. Sarett HP. Effect of processing on bioavailability of iron salts in liquid infant formula products: experimental soy formulas. J. of Agricultural and Food Chem. 1971; 19:555-558.

(66) Turnbull A. Cleton F. Finch C. Iron absorption of hemoglobin iron. J. of Clin. Investigation. 1962; 41:1897-1907.

(67) Vidailhet M. Micronutriments: mythes et réalités. Arch. Fr. Pediatr. 1990 Oct; 47(8):559-61.

(68) Wood RJ. Stake PE. Eiseman JH. Skippee RL. Wolski KE. et Koehn U. Effects of heat and pressure processing on the relative biological value of selected dietary supplémental inorganic iron salts and determined by chick hemeoglobin repletion assay. J. of Nutrition 1978; 108:1477-1484.

(69) Yadrick MK. Kenney MA. Winterfeldt EA. Iron, copper and zinc status: response to supplementation with zinc or zinc and iron in adult females. Am. J. Clin. Nutr. 1989 Jan; 49(1):145-50.

(70) Zazzo J.F. Guide Becar de nutrition clinique. Deuxième édition. Ed Arnette. Paris.1988.

(71) Zhang D. Bioavailability of iron-milk-protein complexes and fortified cheddar cheese. J. Dairy. Sci. 1989 Nov;72(11):2845-55.

TABLEAUX

Tableau 1 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Calcium

Tableau 2 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Phosphore

Tableau 3 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Magnésium

Tableau 4 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Fer

Tableau 5 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Zinc

Tableau 6 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Iode

Tableau 7 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Sélénium

Tableau 8 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Cuivre

Tableau 9 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Manganèse

Tableau 10 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Chrome

Tableau 11 : Apports quotidiens recommandés et risques de carence en Molybdène

Tableau 12 : Minéraux autorisés selon l'arreté du 4 Août 1986 dans les aliments pour nourrissons et enfants en bas âge.

Tableau 13 :Minéraux autorisés selon l'arreté du 4 Août 1986 dans les aliments destinés à une alimentation particulière autrees que ceux destinés aux nourrissons et enfants en bas âge.

Tableau 14 : Teneurs en éléments minéraux autorisées dans les laits infantiles et farines diététiques de l'enfance

Tableau 15 : Effets oxydatifs de l'addition des sels de fer sur des céréales infantiles

Tableau 16 : Biodisponibilité de différents sels de fer

Tableau 17 : Biodisponibilité de différents sels de fer en fonction du procédé de fabrication dans les céréales infantiles.

Tableau 18 : Avantages et inconvénients des minéralisations par voie sèche te par voie humide.

Tableau 19 : Conditions d'analyse en absorption atomique en flamme.

Tableau 20 : Conditions d'analyse en absorption atomique électrothermique

Tableau 21 : Sensibilité de l'absorption atomique

Tableau 22 : Limites de détection en absorption atomique

Tableau 23 : Limites de détection en fluorimétrie atomique

Tableau 24 : Limites de détection en fluorimétrie moléculaire

Tableau 25 : Composition de quelques mélanges pour nutrition liquide spéciale

FIGURES

Schéma 1 : Effet de l'addition d'acide ascorbique sur l'absorption du fer à partir de céréales à base de riz.

ANNEXES

Annexe 1

Brussels, April 19th, 1993

Inventory of national laws

	B	DK	GER	GR	SP	F	IRL	I	LUX	PORT	NL	UK
1. Definition - restoration	YES	NO	NO	NO	NO	YES	NO (see EEC)	NO			NO	YES
- fortification	YES	NO (standardisation)	NO	YES	NO	NO	NO (see EEC)	NO			NO	YES
- enrichment	YES	NO	NO	YES	YES	YES	NO (see EEC)	NO			NO	YES
2. Permitted Addition of - vitamins	YES		YES	YES	YES	YES		NO *2			NO	
- minerals	YES		YES*		YES	YES		NO *2			YES	
- proteins					YES			NO *2			---	
- aminoacids				YES	YES	YES		NO *2			NO	YES *3
- dietary fibers			YES		---			NO *2			---	
3.												

* iron - not allowed.
*2 addition only permitted for foods for particular nutritional uses.
*3 in baby foods.

Inventory of national laws

	B	DK	GER	GR	SP	F	IRL	I	LUX	PORT	NL	UK
4. Restoration permitted for	All foods	addition permitted in margarine minarine infant	all foods with exclusion	special dietary uses	fruit juices	YES					minerals in all foods	Flour (except wholemeal)
5. Fortification permitted for		formulae flours rolled oats breakfast cereals	all foods with exclusion	all foods	----	-----					minerals in all foods, vitamins obligatory	Vitamins A & D in margarine
6. Enrichment permitted for	All foods	juice baby foods	all foods with exclusion	all foods	dairy products, milk, juices, nectars, pasta, flour	YES						Skimmed milk breakfast cereals yoghurt (code of practice)

Inventory of national laws

	B	DK	GER	GR	SP	F	IRL	I	LUX	PORT	NL	UK
7. Labelling provisory for	YES											
- restoration		YES	optio-nal	NO	NO	Nut Lab					NO	YES
- fortification	YES	YES	optio-nal	YES	NO	---					NO	YES
- enrichment	YES	YES	optio-nal	YES	YES	Nut Lab + group of popu-lation					YES	YES

Annexe 2

Minéraux	France	Belgique
CALCIUM	OUI	OUI
POTASSIUM	OUI	OUI
SODIUM	OUI	OUI
MAGNESIUM	OUI	OUI
MANGANESE	OUI	OUI
CUIVRE	OUI	OUI
IODE	OUI	OUI
ZINC	OUI	OUI
FER	OUI	OUI
CHROME	NON en juin 1991	OUI
FLUOR	NON en juin 1991	OUI
MOLYBDENE	NON en juin 1991	OUI
PHOSPHORE	sels de phosphore listé dans d'autres nutriments	OUI
SELENIUM	NON en juin 1991	OUI

ATTENTION Les sels d'apport en minéraux autorisés peuvent être différents dans certains cas (problème des substances à but nutritionnel autorisées).

Annexe 3

Article 19

Dans le cas d'un aliment soumis aux dispositions du présent chapitre, les indications visées à l'article 11 doivent être complétées par un dossier contenant l'exposé des travaux scientifiques qui sont à l'origine de la composition particulière donnée au produit et relatant les résultats des expérimentations cliniques effectuées sur celui-ci.

L'ensemble constitué par ces indications et ce dossier est transmis par l'administration à la commission d'étude des produits diététiques et de régime.

CHAPITRE III

Farines diététiques et produits diététiques assimilés

Article 20

Les aliments diététiques de l'enfance auxquels s'appliquent les dispositions du présent chapitre comprennent :

1° Les farines céréalières et assimilées, simples ou composées et les biscuits préparés avec ces farines ;

2° Les farines céréalières et assimilées, simples ou composées qui sont enrichies par un apport nutritionnel approprié leur permettant de se classer dans une ou plusieurs des sous-catégories ci-après :

— les produits à forte teneur en protides ;

— les produits enrichis par des légumes ;

— les produits enrichis par des fruits.

Article 21

Qu'ils appartiennent à l'une ou à l'autre des deux catégories mentionnées à l'article 20, les aliments visés au présent chapitre doivent avoir une constitution répondant aux spécifications qui suivent :

1° Lorsque le mode d'emploi mentionné dans l'étiquetage indique que le produit ne doit subir qu'une cuisson modérée (à 80 °C par exemple), celui-ci a reçu un apport enzymatique approprié permettant une transformation partielle de l'amidon en dextrines ;

2° Lorsque le mode d'emploi indiqué dans l'étiquetage précise que le produit est de préparation instantanée, celui-ci a subi un traitement thermique suffisant pour transformer ses grains d'amidon crus non digestibles en grains d'amidon gonflés et éclatés dont on ne retrouve plus la structure lors d'un examen microscopique ;

3° Lorsque des sucres sont ajoutés à l'aliment, la quantité de ceux-ci présente dans 100 g de produit mis en vente est au plus égale aux poids suivants :

— 40 g pour les farines à cuire avec ébullition ;

— 30 g pour tous les autres produits ;

4° Dans le cas où du cacao est ajouté à l'aliment celui-ci en renferme une quantité n'excédant pas 5 g pour 100 g de produit mis en vente ;

5° La teneur en vitamine B 1 de l'aliment est dans tous les cas au moins égale à 0,2 mg pour 100 g de produit sec.

Article 22

Il est licite d'utiliser dans la préparation des aliments visés au présent chapitre la substance mentionnée à l'alinéa 1.1.4 de l'annexe I sous la réserve que cet emploi ait lieu dans les conditions définies aux alinéas 1.2.1 et 1.2.3 de cette même annexe et que la teneur totale en vitamine B 1 qui résulte dudit emploi ne dépasse pas 0,7 mg pour 100 g de produit sec.

Article 23

Indépendamment des prescriptions formulées à l'article 21 et sans préjudice de l'application des articles 5 et 22, les produits de la première des catégories définies à l'article 20 doivent répondre aux spécifications particulières qui suivent :

— à l'exception des sucres, du miel et du cacao éventuellement ajoutés au produit, celui-ci ne renferme pas d'autres ingrédients que ses constituants céréaliers ou assimilés ;
— la teneur en sodium est au plus égale à 35 mg pour 100 g de produit sec ;
— la teneur en calcium est au plus égale à 100 mg pour 100 g de produit sec.

Article 24

Indépendamment des prescriptions formulées à l'article 21, les produits appartenant à la deuxième des catégories visées à l'article 20 doivent répondre aux spécifications particulières ci-après :

1° En ce qui concerne les produits à forte teneur en protides :

— cette teneur est supérieure ou égale à 15 g pour 100 g de produit mis en vente ;
— lorsque l'enrichissement en protides provient d'une adjonction de lait, la teneur en protides lactés est au moins égale à 13 g pour 100 g de produit mis en vente ;
— lorsque cet enrichissement provient de l'adjonction d'ingrédients autres que le lait, la fraction protéique du mélange a un indice chimique *i* au moins égal à 70, ledit indice chimique se calculant comme indiqué à l'annexe III du présent arrêté ;
— la teneur en sodium n'excède pas 300 mg pour 100 g de produit sec ;
— la teneur en calcium est comprise entre 400 mg et 600 mg pour 100 g de produit sec.

2° En ce qui concerne les produits enrichis par des légumes :

— la teneur en sodium est au plus égale à 500 mg pour 100 g de produit sec ;
— la teneur en calcium n'excède pas 250 mg pour 100 g de produit sec.

3° En ce qui concerne les produits enrichis par des fruits :

— lorsque les fruits utilisés dans la préparation de l'aliment ont une teneur naturelle en vitamine C supérieure à 20 mg pour 100 g, la présentation donnée audit aliment comporte une garantie chiffrée quant à sa teneur en cette vitamine, une telle présentation impliquant l'application des dispositions réglementaires relatives aux aliments diététiques à teneur garantie en certaines vitamines ;
— la teneur en sodium est au plus égale à 20 mg pour 100 g de produit sec ;
— la teneur en calcium n'excède pas 250 mg pour 100 g de produit sec.

Par dérogation aux dispositions qui précèdent, les aliments se classant à la fois dans la sous-catégorie des produits à forte teneur en protides et dans la sous-catégorie des produits enrichis par des légumes peuvent présenter des teneurs en sodium et en calcium supérieures aux limites mentionnées ci-dessus sans toutefois que l'une ou l'autre de ces teneurs excède 750 mg pour 100 g de produit sec.

Article 25

L'étiquetage des aliments visés au présent chapitre doit comporter les indications suivantes :

— une dénomination de vente contenant les termes « diététique » et « enfant » ou « enfance » ;
— la nature et les principales caractéristiques du produit ;
— une mention inscrite en caractères lisibles précisant clairement quel est le mode de préparation du produit par l'utilisateur, cette indication comportant obligatoirement la formule « à préparer sans lait » ou « à ne préparer qu'avec de l'eau » dans le cas des produits à forte teneur en protides ;
— la mention « ce produit est déjà sucré ; ne pas ajouter de sucre » dans le cas des aliments sucrés ;
— la mention « ne pas ajouter de sel » dans le cas des produits enrichis par des légumes ;
— la mention « sans gluten » quand le produit ne renferme pas de protéines provenant du froment, du seigle, de l'orge et de l'avoine.

En outre, les renseignements ci-après doivent être portés à la connaissance de l'acheteur ou de son conseiller soit dans l'étiquetage, soit dans un document joint :

— l'origine et le pourcentage de chacune des protéines constitutives ;
— la mention « ne contient pas de lait ni de protéine du lait » quand le produit ne renferme aucun de ces constituants ;
— les teneurs de l'aliment en sodium et en calcium, exprimées en milligrammes pour 100 g de produit mis en vente ;
— pour les aliments enrichis avec des fruits et à teneur garantie en vitamine C, une indication faisant connaître approximativement à quel pourcentage de l'apport journalier recommandé en vitamine C correspond le poids de cette vitamine présent dans une quantité précisée par le fabricant et indiquée comme constituant une ration normale, ledit apport journalier recommandé s'élevant pour les enfants à 30 mg.

AUTORISATION D'IMPRESSION ET DE SOUTENANCE

De la Thèse dont l'intitulé est :

La supplémentation des aliments par des minéraux

Intérêt nutritionnel

CANDIDAT : Mademoiselle Fabienne REYMOND

VU

GRENOBLE, le 13 Octobre 1993

Le Président du Jury, Professeur J. ALARY

VU le

GRENOBLE, le 26 octobre 1993

P/ Le Président de l'Université
Joseph FOURIER GRENOBLE I
Sciences. Technologie. Médecine

Le Directeur de l'UFR de Pharmacie

J. ROCHAT