



HAL
open science

Les métaux, agents de pollution du lait. Leur dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique

J. Morre

► **To cite this version:**

J. Morre. Les métaux, agents de pollution du lait. Leur dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique. *Le Lait*, 1974, 54 (533_534), pp.139-152. hal-00928647

HAL Id: hal-00928647

<https://hal.science/hal-00928647>

Submitted on 11 May 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.

Les métaux, agents de pollution du lait. Leur dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique

par

J. MORRE

*Directeur adjoint de recherches
au Laboratoire central d'hygiène alimentaire
des Services vétérinaires (1)*

INTRODUCTION

A côté des composés normaux du lait, on trouve depuis plusieurs années des corps qui viennent « contaminer » le lait, qui n'existent qu'à l'état de traces, mais dont le rôle est très important. Nous voulons parler des métaux, des plastiques, des résidus de pesticides, et les éléments radioactifs.

Nous ne traiterons pas dans cet article que des « métaux ». Ce terme est pris dans un sens plus général qu'en chimie, car il comprend des éléments métalliques mais aussi des métalloïdes. Certains de ces corps existent normalement dans le lait où ils jouent un rôle important pour l'alimentation du jeune enfant, mais du fait d'un régime anormal de la femelle, ou d'une erreur de manipulation des produits laitiers, leur teneur peut s'élever dangereusement et compromettre la conservation du lait et la fabrication du beurre, des fromages, ou même porter atteinte à la santé des consommateurs.

Dans cette étude nous n'emploierons pas le terme de ppm (partie par million) que la Société Internationale d'Experts Scientifiques (A.I.D.E.S.) a condamné comme peu précis et prêtant à confusion, mais celui équivalent de mg par litre.

Les deux grands métaux du lait : le *sodium* et le *potassium* ne seront pas inclus dans cette étude, car ils existent normalement dans le lait et en quantités très importantes.

(1) Section Radiobiologie, 43, rue de Dantzig - 75015 Paris.

Pour chaque corps, nous diviserons notre recherche en deux :

— *Contamination avant sécrétion*, c'est-à-dire au cours du métabolisme du lait dans l'organisme,

— *et contamination après sécrétion*, lors des divers traitements industriels aboutissant au lait pasteurisé, stérilisé, au fromage, au beurre, etc.

En règle générale, la présence de ces corps ne présente pas de danger pour la santé humaine, bien au contraire, ils sont souvent la source, pour le jeune, des oligo-éléments qui interviennent dans les réactions enzymatiques, c'est pourquoi au cours de cette étude nous mentionnerons chaque fois que cela sera possible les enzymes qui se trouvent activés par ces métaux et les désordres qui surviennent quand ils sont absents.

Cette notion oppose formellement les métaux aux résidus des pesticides ou des plastiques et aux radio-contaminants, dont le rôle même à l'état de trace est toujours néfaste.

Le danger des « métaux » réside dans les réactions chimiques : oxydations en général, qu'ils catalysent. Le lait et les produits dérivés acquièrent des goûts désagréables, des couleurs ou des odeurs anormales. Leur aspect (fromages) ou leur conservation (beurres) s'en trouvent altérés. D'autres métaux, s'ils atteignent une concentration élevée, peuvent être dangereux pour la santé humaine.

COMPOSES NORMAUX DU LAIT

Les oligo-éléments que l'on rencontre dans le lait de vache sont très nombreux. Nous les avons classés par ordre d'importance. Tous ces chiffres sont en *mg par litre* : ils varient beaucoup avec les auteurs et ce sont les moyennes que nous avons reproduites dans cet article :

Zinc	: 3,5	Bore	: 0,35	Molybdène	: 0,05
Silicium	: 1,5	Fluor	: 0,35	Arsenic	: 0,05
Aluminium	: 0,5	Cuivre	: 0,07 à 0,3	Manganèse	: 0,03
Strontium	: 0,35	Plomb	: 0,05	Sélénium	: 0,02
Fer	: 0,35	Iode	: 0,05	Cobalt	: 0,0005

Les uns sont fixés sur les fractions protidiques du lait, ou à la surface des globules gras et leurs teneurs sont assez stables, d'autres sont à l'état libre dans la phase aqueuse, et leurs taux varient avec la quantité ingérée.

Cette étude des métaux dans le lait a pris un grand développement depuis que l'on est en mesure de les doser rapidement et avec précision, grâce à une nouvelle méthode d'analyse : *la spectrophotométrie par absorption atomique*. Avant, les techniques étaient

très pénibles et particulièrement longues, ce qui explique les résultats très dispersés que rapportent les divers auteurs. Maintenant, sauf pour quelques corps comme l'iode, tous les oligo-éléments sont dosables grâce à cette nouvelle méthode. Nous allons en exposer le principe.

SPECTROPHOTOMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE

Le chimiste dispose depuis déjà de nombreuses années de méthodes physico-chimiques qui ont étendu les possibilités de l'analyse à de nombreux corps et surtout qui ont abaissé le seuil de mesure.

a) Principe

Parmi ces méthodes la spectrophotométrie est utilisée depuis de nombreuses années, soit en émission, soit en absorption.

— *Spectrophotométrie d'émission* : quand un atome est soumis à une excitation, c'est-à-dire reçoit une certaine énergie grâce à une flamme, à un arc, ou à une étincelle, certains électrons passent d'une orbite à une autre plus excentrique. Le retour à l'état stable se fait avec une émission d'une radiation lumineuse caractéristique du corps excité. Comme il s'agit d'électrons périphériques, les énergies en jeu sont faibles, de l'ordre de 1 à 20 eV, et les rayonnements émis sont dans la gamme de l'ultra-violet et du visible.

— *En spectrophotométrie d'absorption atomique*, le phénomène est inverse, le composé se trouve dissocié à l'état atomique, et c'est chaque atome de l'élément à doser qui absorbera, par un phénomène de résonance, une radiation à une fréquence identique

à celle qu'il aurait émis s'il avait été excité. On a $\Delta W = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$

avec ΔW variation de l'énergie, h constante de Plank - ν fréquence - c vitesse de la lumière - λ longueur d'onde.

La spectrophotométrie d'absorption atomique est beaucoup plus sensible que celle d'émission où seulement 1 p. 100 des atomes sont excités, donc entrent en réaction, alors qu'en absorption atomique, c'est 99 p. 100 des atomes qui sont susceptibles d'absorber une radiation ; on bénéficie d'un facteur 100 au départ.

La spectrophotométrie d'absorption atomique est capable comme la spectrophotométrie d'émission d'arc ou d'étincelle, de doser les corps chimiques élémentaires : Fe - Cu - Zn, etc., avec une précision équivalente, mais au moyen d'appareils beaucoup moins encombrants, moins coûteux, et bien plus facile à manier, d'où son intérêt.

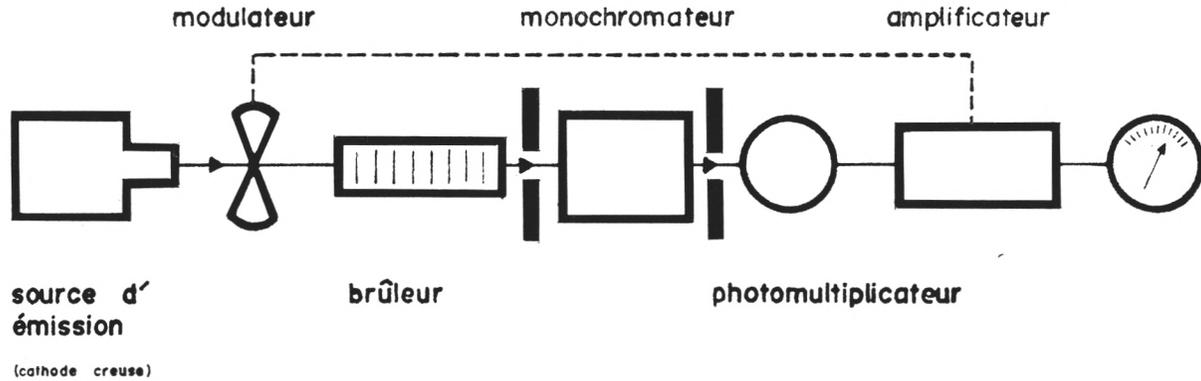


fig. 1

Schéma d'un spectrophotomètre d'absorption atomique

d'après J. LINDEN, *Ind. Ali. Agri.*, 6, 1971, 793

b) Réalisation pratique

(voir schéma fig. 1)

L'appareil se compose :

- d'une lampe,
- d'un modulateur,
- d'un pulvérisateur dans une flamme,
- d'un monochromateur,
- d'une fente,
- d'un photomultiplicateur suivi d'un amplificateur,
- et d'un enregistreur.

La lampe fonctionne en courant continu sous 100 à 200 volts. Elle est composée d'une cathode creuse du métal à étudier, avec atmosphère d'argon ou d'hélium. Elle émet les *radiations caractéristiques du métal*.

Le pulvérisateur dans la flamme a pour rôle d'ioniser le composé qui arrive à l'état liquide. On utilise soit des brûleurs à flamme turbulente utiles pour les solutions visqueuses, ou à flammes laminaires longues de 20 cm et peu épaisses qui donnent une bonne sensibilité, puisque le trajet lumineux est important.

Le monochromateur sert à disperser les diverses longueurs d'onde émises, il est à réseau plutôt qu'à prisme.

La fente permet de choisir la raie la plus spécifique du corps analysé plutôt que la plus intense.

Le photomultiplicateur a remplacé la cellule photo-électrique, car beaucoup plus sensible, il transforme une intensité lumineuse en un courant électrique.

Enfin, l'amplificateur permet d'attaquer un enregistreur qui sera soit graphique, soit à affichage numérique et donnera directement la valeur de la densité optique.

Comme il s'agit de spectrophotométrie d'absorption, la loi de Beer-Lambert sera applicable : c'est-à-dire qu'entre l'intensité lumineuse incidente I_0 , et celle transmise I il y aura la relation :

$$\text{Log} \frac{I_0}{I} = \epsilon c l$$

— $\text{Log} \frac{I_0}{I}$ est donné directement par l'appareil et s'appelle la *densité optique*.

— ϵ est le coefficient d'extinction moléculaire.

— c , la concentration moléculaire (mol par l) et l , la longueur traversée en cm.

ϵ est une constante donnée par les tables ou simplement au moyen d'un témoin passé dans l'appareil, l est fixe pour un appareil donné, donc connaissant la densité optique, on peut trouver la concentration du corps cherché.

Le modulateur a un rôle important, il transforme le faisceau lumineux de la lampe qui est constant, en un faisceau d'intensité sinusoïdale. Le photomultiplicateur traduit ces impulsions en courant électrique alternatif. De cette façon la fraction d'atomes excités dans la flamme, phénomène inverse de l'absorption, qui donne un rayonnement constant, ainsi que le bruit de fonds sont éliminés avec la fraction continue du courant. Enfin, il est beaucoup plus facile électroniquement d'amplifier un courant sinusoïdal qu'un courant continu.

La température de la flamme a beaucoup moins d'importance qu'en émission, par contre le nombre d'atomes vaporisés agit sur la sensibilité. Le solvant joue un grand rôle car il agit sur la viscosité du liquide à vaporiser.

En cas de difficulté on a recours à la dilution, mais c'est une arme à double tranchant, car on perd de la sensibilité. Si le solvant est organique, sa chaleur de combustion élève la température de la flamme.

Les interactions entre divers ions sont peu importantes, on connaît celle du silicium qui atténue le strontium, et celle du phosphate vis-à-vis du calcium. Il y a lieu d'effectuer toujours un étalonnage avec une solution saline de concentration voisine de celle à étudier.

Les sensibilités sont les suivantes en mg/l :

- Mn : 0,005
- Na : 0,1
- Fe : 0,1
- Cu : 0,05 à 0,005

APPLICATION A TITRE D'EXEMPLE POUR LE CUIVRE

Pour rechercher dans un lait ou dans un beurre le cuivre qui est lié aux globules gras, on attaque avec NO_2H à chaud, et on élimine la matière grasse par l'éther de pétrole.

Dans la méthode classique, la fraction aqueuse est traitée par le mélange sulfo-nitrique. On effectue une coloration par copulation avec le diéthyledithio-carbamate, on extrait le colorant par l'isoamyl, et on effectue une spectrophotométrie d'absorption classique à 430 nm.

Avec la méthode d'absorption atomique, c'est la phase nitrique qui est directement passée dans l'appareil.

ETUDE DES DIVERS METAUX

Le fer

La teneur normale du fer à la traite varie de 0,10 à 0,60 mg/l avec une moyenne de 0,30. 30 p. 100 du fer est dans la phase aqueuse, 20 p. 100 dans la phase grasse et 50 p. 100 dans la caséine. Sorensen dès 1939 a signalé que le fer est lié à une protéine : la lactosidérophiline ou lactotransférine. Cette protéine chez la vache fixe 2 atomes de fer par molécule et chez la femme : 6 atomes. La ration alimentaire en fer ne modifie pas le taux de fer du lait, c'est la quantité de lactotransférine qui entraîne la teneur en fer. Il faut donc renoncer à espérer produire physiologiquement un lait riche en fer. Au cours de la lactation le taux de fer diminue régulièrement. Il varie grandement avec les espèces : 0,30 chez la vache, 0,85 chez la femme, 1,90 chez la truie et 3,30 chez la lapine. Le fer est le constituant de la molécule d'hème, qui donne l'hémoglobine sanguine. Il est nécessaire au jeune, quand sa proportion est insuffisante, il y a anémie.

Après la sécrétion, la teneur en fer peut augmenter jusqu'à 12 et même 35 mg/l, si le lait est séché sur des rouleaux de fer. Dans la crème et dans le beurre, 1,10 à 3,50 mg/l accélère les phénomènes d'oxydation. Il apparaît une saveur oxydée, qui peut être divisée en goûts huileux, suifeux, métalliques dus à des peroxydes, des aldéhydes ou des cétones. Le développement de ces goûts et de ces odeurs anormaux est freiné par l'acide ascorbique (vitamine C), le carotène ou provitamine A, le tocophérol (vitamine E), mais accéléré par la lumière, le cuivre et le zinc. Le lait normand est moins sujet à ces accidents que le lait hollandais. Lors de la fabrication du lait sec, l'emballage doit empêcher cette auto-oxydation par un conditionnement sous vide, en blocs ou avec addition de vitamine E ou d'huile de germe de blé riche en cette vitamine.

Pour le lait concentré, le fer et le cuivre catalysent la réaction de Maillard, qui a lieu entre le lactose ou le saccharose et les protéines, d'où une coloration brune défavorable.

Les fromages trop riches en fer montrent une coloration anormale : ceci a été observé sur le Camembert, qui présente des taches brunes, parfois rouges ou violettes. Dans les Gruyères, la couleur est altérée : taches brunes et goût désagréable avec une texture anormale. On ne retrouve l'excès de fer que dans les zones altérées.

L'importance des accidents a fait qu'actuellement tout le matériel laitier est réalisé en acier inoxydable, ce qui a fait pratiquement disparaître ces ennuis.

Le cuivre

A la mamelle le taux de cuivre ne varie pas quelque soit la quantité absorbée par la vache : même une injection intraveineuse

de cuivre ou le saupoudrage du fourrage avec du sulfate de cuivre ne modifie pas le taux dans le lait. Il se situe normalement entre 0,02 et 0,05 mg/l, mais pour certains auteurs il est plus élevé et atteint 0,30 mg/l. La caséine en contient 40 p.100, le sérum 30 p.100 et la crème non lavée 22 p.100, mais le lavage peut en éliminer la totalité. Les protéines de la membrane des globules gras sont les plus riches en cuivre et sont saturées. C'est pourquoi l'addition de cuivre à la ration n'en augmente la quantité que s'il y a déficience.

Le colostrum est plus riche que le lait normal. Le cuivre active la cytochrome oxydase, donc la synthèse des phospholipides, qui entrent dans la composition de la myéline des nerfs. Le cuivre n'a pas d'effet à long terme et ne produit pas de cancérisation.

Après la sécrétion : le lait et les produits laitiers au contact de chaudrons en cuivre s'enrichissent rapidement de ce métal : on a constaté que le taux pouvait être multiplié par 20 par le séjour de lait ou de crème pendant une nuit dans un récipient en cuivre (valeur signalée 2,6 mg/l).

Comme on l'a vu pour le fer, le cuivre nuit à la conservation des beurres : 0,5 mg/kg de cuivre donne un goût anormal. Ceci est encore aggravé par le fait que ce métal accélère la destruction de la vitamine E, qui est un antioxydant. Suivant le pH du lait, la proportion de cuivre ionisé varie : un beurre de crème douce contient peu de cuivre, donc s'altère peu, mais un tel beurre est peu prisé en Europe.

Une quantité élevée de cuivre : 4 mg/l, freine le développement des bactéries propioniques et nuit à la fabrication du fromage. Un taux de 2 mg/kg provoque une saveur oxydée dans le fromage de Cheddar. Par contre une faible teneur en cuivre améliore l'Emmental.

La fibre textile « Lamital » obtenue avec la caséine aux acides ne doit contenir ni cuivre, ni fer.

De même que pour le fer, l'emploi de l'acier inoxydable a beaucoup diminué ces accidents, mais on doit surveiller les solutions antiseptiques utilisées pour le nettoyage, quand elles sont conservées dans des récipients en cuivre ou en laiton : elles risquent de contaminer les appareils.

Le zinc

Lors de la traite, on retrouve les mêmes phénomènes que ceux observés pour le fer et le cuivre : l'addition de zinc à la ration modifie peu la concentration en zinc du lait. On a donné à une chèvre 5 g d'oxyde de zinc pendant 7 j sans que la teneur du lait varie. D'autres auteurs ont signalé qu'une surcharge de 29 fois du taux normal dans l'alimentation double seulement celle trouvée dans le lait.

Comme pour les autres métaux, le lait de fin de lactation est plus pauvre que le colostrum. Le zinc active certaines diastases : la carbonique-anhydrase.

Après la traite, c'est le contact avec les récipients galvanisés, qui augmente le taux de zinc : Truffert a signalé que, à la fin de la guerre faite de récipients en aluminium, on avait utilisé des bidons galvanisés et il s'en était suivi une intoxication des chiots nourris avec un tel lait, qui en contenait 150 mg/l. D'autres accidents ont été rapportés : des porcs nourris avec du sérum conservé dans des citernes galvanisées sont morts : le taux de métal allait de 220 à 1 000 mg/l.

L'aluminium

A la mamelle, le taux moyen est de 0,50 mg/l. Après administration de 2 g d'alun de potasse, le lait est passé de 0,46 à 0,81 mg/l. Mais on n'a jamais observé une variation du taux par séjour du lait dans des bidons d'aluminium.

Par contre si le lait est riche en cuivre, il peut y avoir un échange d'ions : le lait s'appauvrit en cuivre et s'enrichit en aluminium.

Ce métal convient donc très bien pour le transport du lait.

Le mercure

On a observé que les vaches traitées au calomel ou avec des pommades antiparasitaires au mercure pouvaient dans certains cas être intoxiquées. Par contre l'avis des auteurs diverge sur la teneur du lait dans ces empoisonnements : il semble pourtant que le mercure ne passe pas dans le lait.

Le plomb

Il ne peut venir que d'une contamination antérieure à la traite, car le matériel laitier est exempt de plomb. Le plomb existe dans le lait à la dose de 0,045 mg/l. Il est susceptible de grandes variations, si ce métal contamine la ration : par exemple par la consommation d'une eau ayant circulé dans des tuyaux de plomb. Bovay a signalé que 3 vaches laitières qui ont consommé un fourrage recueilli le long d'une autoroute et qui de ce fait était fortement contaminé : 99 mg/kg sec, n'ont pourtant fourni qu'un lait nullement nocif, renfermant de 0,002 à 0,07 mg/l. De même des essais de surcharge de la ration en oxyde de plomb ont été effectués : sauf en cas d'intoxication léthale, où le lait renferme de grandes quantités de plomb (2 mg/l), on n'observe que des quantités de plomb minimales dans le lait (0,05 mg/l). Il semble bien que le plomb se fixe dans l'organisme et n'est éliminé que très lentement. Un essai d'administration de plomb radioactif 203 a montré que le

plomb se retrouve pour 94 p. 100 dans les fèces, pour 0,17 p. 100 dans l'urine et seulement pour 0,017 dans le lait. Les tchèques ont montré que le lait recueilli autour des usines traitant ce métal contenait 0,55 à 0,79 mg/l contre 0,27 en zone rurale.

Le plomb a un rôle nocif dans l'organisme, car il bloque la δ amino-lévolinique-déhydratase, la synthèse du groupe hème et celui de la protoporphyrine. Il se distingue donc du fer, du cuivre et du zinc, qui ont une action diastatique favorable à faible concentration.

Le molybdène

Le taux normal est de 0,05 mg/l. Cet élément est le co-enzyme de la xanthine-oxydase et existe sous cette forme dans la phase aqueuse du lait.

Par contre en cas de surcharge alimentaire : engrais ou foin récolté autour des usines, le molybdène passe dans le lait et sa concentration peut être multipliée par 5.

Le sélénium

Il est présent dans le lait à la dose de 0,01 à 0,02 mg/l, mais les animaux élevés sur des terrains sélinifères peuvent produire un lait beaucoup plus riche. Certaines plantes le concentrent. On le retrouve fixé sur la phase protéique du lait, en particulier sur la caséine. La sélénométhionine traverse beaucoup mieux la barrière mammaire que la sélénite. Le sélénium décroît rapidement dans les 3 à 4 j, qui suivent la naissance dans le lait de femme.

Le sélénium comme oligo-élément prévient et guérit une myo-dystrophie des moutons : « le raide ». Noter que la vitamine E et la cystine produisent le même résultat, mais à des doses 1 000 et 600 000 fois plus importantes.

L'iode

L'iode, qui existe dans le lait à la dose de 0,02 à 0,10 mg/l subit de grandes variations : une fraction est fixée sur une protéine spécifique : la thyronine, elle-même adsorbée sur la micelle de caséine et varie peu. Le reliquat sous forme minérale est dans la phase aqueuse et croît par prise d'iodure de potassium comme antimycosique ou par absorption d'iodophores utilisés comme désinfectants, il y a transfert passif par osmose.

Les laits d'automne sont plus riches que ceux de printemps, car alors l'activité thyroïdienne est plus faible et une plus grande quantité est excrétée par le lait. Le lait de vache ne contient pas de substance à activité thyroïdienne, comme celui de chienne, de rate

ou de lapine. Dans les régions goitreuses, le lait est pauvre en iode, mais retrouve son taux normal par addition d'iode à la ration.

Le métabolisme de l'iode a été particulièrement étudié, car en cas de retombées radioactives l'iode 131 est un des principaux contaminants du lait. Après une prise d'iode radioactif, qui permet de suivre le trajet de l'iode facilement, on note que l'excrétion est maximale pendant 2 à 3 j et se termine au 9^e j. L'administration de thyroxine (ou tétra-iodo-thyronine) ne modifie pas le phénomène, par contre une prise d'iode stable accroît l'excrétion de l'isotope radioactif.

La présence d'iode dans le lait est si faible, qu'il n'y a aucune action nocive. A partir de 12 mg/l dans le lait (6 pour le lait écrémé), celui-ci a un goût particulier, qui le fait rejeter.

Enfin on sait que l'iode est un constituant de l'hormone thyroïdienne : la tyroxine ou tétra-iodo-tyronine et de ce fait absolument nécessaire à la vie.

Le bismuth

Son intérêt est très faible. Des vaches, qui ont reçu 10 g de bismuth pendant 10 j, ont fourni un lait exempt de ce composé.

Le fluor

La richesse en fluor du lait dépend des quantités consommées. Les régions où sévissent la fluorose, produisent un lait plus riche en fluor. Pourtant il n'y a pas de parallélisme entre ingestion et excrétion : le fluor s'accumule dans l'organisme et s'élimine très lentement, mais pendant longtemps : si la teneur du sang, donc du fluor mobilisé, s'élève de 50 p.100, celle du lait croît seulement de 20 p.100. Chez la femme consommant une eau riche en fluor, le lait est très peu pollué. Enfin il y a antagonisme entre fluor et vitamine D.

L'arsenic

La concentration normale du lait est de 0,05 mg/l. Une contamination des animaux accidentelle est peu probable. Des essais d'intoxication à des doses léthales n'ont fait varier la teneur du lait que dans de faibles proportions.

Le bore et le brome

Ces deux composés proviennent en grande partie des embrums marins, c'est dire que les régions côtières produisent un lait plus riche en ces deux éléments : la teneur du lait reflète assez fidèlement l'ingéré.

Le silicium et le strontium

La composition des sols n'influence pas la teneur en silicium du lait, alors que c'est le phénomène inverse pour le strontium, dont le taux varie avec les régions. Ceci est très important, car les strontiums 89 et 90 sont deux radiocontaminants majeurs du lait, l'isotope 90 persiste longtemps dans les sols du fait de sa longue période radioactive (28 ans). On peut remédier partiellement à cet accident en chaulant les prés : il y a compétition dans l'organisme entre calcium et strontium.

Le cobalt

Le lait en referme 0,0005 mg/l. On sait que ce métal fait partie de la molécule de la vitamine B 12, il semble que la teneur maximale de cobalt corresponde à celle de la vitamine.

Le manganèse

Son taux : 0,03 mg/l varie avec la quantité ingérée. La saison, les races bovines et les conditions hydrographiques n'auraient qu'un rôle secondaire.

On sait que l'activité de la phosphatase alcaline du lait dépend de la présence du manganèse.

Le césium : Césium radioactif 137.

Nous ne le citerons que pour mémoire : c'est un radiocontaminant du lait. Son danger vient du fait que son métabolisme est voisin de celui du potassium et que sa période physique est longue : 30 ans. Malgré une période biologique courte : 70 j, la femelle laitière se contamine à nouveau et le césium 137 est retrouvé régulièrement dans le lait longtemps après un accident atomique.

CONCLUSION

Le lait, aliment de base de l'enfant, est lui aussi victime de la maladie de la civilisation : divers polluants viennent le contaminer. Nous avons étudié ici les métaux : fer, cuivre, zinc, etc. Si certains d'entre eux à l'état de traces, en qualité d'oligo-éléments sont nécessaires au jeune, les mêmes à plus fortes concentrations induisent des modifications indésirables des produits fabriqués : lait stérilisé, beurre, fromage, etc. D'autres métaux quelque soit leur teneur, plomb par exemple, n'ont jamais un effet utile et sont toujours nocifs.

C'est pourquoi il est nécessaire de surveiller l'alimentation de la femelle laitière et d'avoir recours en laiterie au matériel en acier inoxydable ou en aluminium. On comprend facilement que les contaminations, qui ont lieu avant la traite, sont plus difficiles à éviter que celles, qui se produisent au stade industriel.

Pour terminer nous souhaiterions que les essais de surcharge alimentaires effectués avec certains métaux, que nous avons rapportés dans cet article, soient repris avec les dérivés organiques de ces mêmes métaux, car il semble bien que l'absorption intestinale et la filtration mammaire soient profondément différents dans les deux cas : dérivé minéral ou organique donné en supplément alimentaire. Nous en avons vu un exemple pour le sélénium.

Résumé

Le lait, aliment de base de l'enfant, est lui-même victime de la maladie de la civilisation : divers polluants viennent le contaminer. Nous avons étudié ici les métaux : fer, cuivre, zinc, etc. Si certains d'entre eux à l'état de traces en qualité d'oligo-éléments sont nécessaires au jeune, les mêmes à plus forte concentration induisent des modifications indésirables des produits fabriqués : lait stérilisé, beurre, fromage, etc. D'autres métaux quelque soit leur teneur, plomb par exemple, n'ont jamais un effet utile et sont toujours nocifs.

Grace à la spectrophotométrie d'absorption atomique, le dosage de ces métaux, qui jusqu'ici était laborieux et imprécis, devient simple et rapide. Nous exposons dans cet article le principe de cette méthode.

Pour éliminer les métaux du lait, il est nécessaire de surveiller l'alimentation des femelles laitières et d'avoir recours en laiterie au matériel en acier inoxydable ou en aluminium. Les contaminations qui ont lieu avant la traite sont plus difficiles à éviter que celles, qui se produisent au stade industriel.

Summary

Milk, the staple food of infants, suffers from the malady of civilisation ; it is contaminated by various pollutants. The metals, iron, copper, zinc, etc., are considered here. Although some of them are essential elements for the young in trace amounts (oligo-elements), larger concentrations are undesirable in, for example, manufactured products such as stérilized milk, butter and cheese. In addition,

others have no beneficial effect and may be harmful at any concentration, for exemple, lead.

Spectrophotometric atomic absorption, which provides a simple and rapid method for the estimation of these éléments is described here.

To eliminate these metals from milk, it is necessary to control the feeding of dairy cattle and to use only stainless or aluminium apparatus in the dairy. Contamination in the factory is more easily avoided than that ingested by the animal.

Reçu pour publication le 10 janvier 1974.

Bibliographie sommaire

- ADDA (J.), ROUSSELET (F.) et MOCOQUOT (1966). — La spectrophotométrie atomique de flamme. *Rev. Lait. Fr.*, 231, avril, 227.
- ADRIAN (J.) (1973). — Valeur alimentaire du lait. 46 références bibliographiques, 43/52, *La Maison Rustique*, éd., Paris
- DAUFIN (G.) et TALBOT (J.) (1971 et 1972). — Etude de quelques problèmes de corrosion dans l'industrie laitière. I (n° 507, juillet/août, p. 375) ; II (n° 509/510, novembre/décembre, p. 661) ; III (n° 519/520, novembre/décembre, p. 688).
- KASTLI (P.) (1968). — Partie V : Résidus chimiques dans le lait. *Bulletin annuel*, 10/20, 42 références bibliographiques. Fédération Internationale de Laiterie, éd., 10, rue Ortelius, Bruxelles 4.
- LINDEN (G.) (1971). — Applications de la spectrophotométrie d'absorption atomique dans les laboratoires d'industries alimentaires. *Indust. Alim. Agri.*, 6, 273.
- MORRE (J.). — Contamination du lait par les radio-éléments artificiels. *Bull. Soc. Hygiène Alimentaire*, 55, n° 4, 149, 1967. Même article : *Le Lait*, sept.-oct., n° 478, 1968, 536-546.
- OLIGO-ELEMENTS ET NUTRITION, XIX, Compte rendu du congrès de Paris, 15-18 mars 1971, C.N.R.S., éd., Paris.
- POLONOVSKI (M.), BOULANGER (P.) et al. (1972). — Biochimie Médicale, fascicule I, 10^e édition, Masson et Cie, éd., Paris.
- SAINCLIVIER (M.) et al. (1971). — Partie III : Corrosion métallique en laiterie. Groupe de travail, *Bulletin annuel*, Fédération Internationale de Laiterie, éd., Bruxelles.
- VEISSEYRE (R.) (1966). — Techniques laitières. 2^e édition, *La Maison Rustique*, éd., Paris.