Influence de la supplémentation du lait en magnésium sur la fermentation lactique réalisée par *S. lactis* et *S. thermophilus*

par

K.-S. AMOUZOU, H. PREVOST et C. DIVIES*

Résumé

La supplémentation du lait en magnésium (25 à 50 ppm) permet à la fois une stimulation globale de la fermentation lactique, mais également l'obtention d'un meilleur taux de survie des streptocoques lactiques. L'étude de la répartition du magnésium dans les différentes fractions protéiques du lait écrémé reconstitué, par la technique de filtration sur gel Sephadex G 50, en utilisant l'eau distillée comme éluant, a permis de montrer que le magnésium se répartit en trois zones : sous une forme « liée aux protéines » (27 à 30 ppm), une forme liée à la fraction peptidique (8 ppm) et une forme libre (64 ppm). L'incubation en présence de *S. lactis* et *S. thermophilus* déplace, dans nos conditions expérimentales, les équilibres de la répartition du magnésium observée. L'addition de magnésium a pour effet d'augmenter faiblement la teneur de celui-ci au sein de la fraction protéique jusqu'à une valeur maximale voisine de 37 ppm, ainsi une forte proportion reste sous forme ionique.

Mots clés

Lait - Fermentation lactique - Stimulation - Magnésium - *Streptococcus thermophilus* - *Streptococcus lactis* - Répartition du magnésium.

Summary

INFLUENCE OF MILK MAGNESIUM SUPPLEMENTATION LACTIC FERMENTATION WITH *S. LACTIC* AND *S. THERMOPHILUS*

Milk magnesium supplementation (25 to 50 ppm) permits both a general stimulation of lactic fermentation, and the obtention of a

Laboratoire de Microbiologie, Ecole Nationale Supérieure de Biologie Appliquée à la Nutrition et à l'Alimentation, Université de Dijon, Campus universitaire Montmuzard - 21100 Dijon.

* Auteur qui recevra la correspondance.

better survival rate of lactic streptococci. The study of magnesium distribution in the different proteinic fraction of reconstituted skim milk, using the Sephadex G 50 chromatography method by elution with distilled water, allowed us to show that magnesium exists in three states: protein-bound (27 to 30 ppm), peptid-bound (8 ppm) and a free state (64 ppm). Incubation with S. lactis and S. thermophilus transfers the balance of the magnesium distribution observed. One effect of adding magnesium is to increase its concentration among proteinic fraction to a maximal rate of 37 ppm, so that a high ratio remains in an ionic state.

Key words

Milk - Lactic fermentation - Stimulation - Magnesium - *Streptococcus thermophilus* - *Streptococcus lactis* - Magnesium distribution.

INTRODUCTION

En technologie fromagère, la vitesse de production d'acide lactique d'origine microbienne est primordiale. La conduite rationnelle de l'acidification doit donc s'affranchir des causes éventuelles de variations. Brulé (1974), a observé qu'il fallait prendre en considération la variabilité de la constitution minérale du lait. Les principaux facteurs responsables de variations de cette nature ont fait l'objet de nombreux travaux; (Kamal et coll., 1961; Felber, 1970; Miller 1970; Guegen 1971; Moore 1974; Roux et coll., 1974; Mouillet et coll., 1975). Il apparaît que la constitution minérale du lait varie sensiblement avec la race, l'alimentation, la productivité, le stade de lactation et l'environnement (sol, climat, saison). Plusieurs études font état de l'addition d'oligoéléments métalliques dans le lait. Ainsi, cet ajout peut entraîner une accélération de l'affinage des fromages à pâte cuite, (Hofi et coll., 1971). Saakjan et coll., (1982) soulignent que l'addition d'oligoéléments (Mn, Zn) active la maturation du gruyère et améliore sa qualité.

Dans une étude préliminaire de l'influence des éléments métalliques sur la cinétique de la fermentation lactique dans le lait, il nous est apparu que le magnésium, dans le cadre de sa variabilité naturelle, augmentait de façon significative la production d'acide lactique par des streptocoques.

Nous nous sommes donc plus précisément intéressés au magnésium dont la teneur dans le lait peut varier de 100 à 150 ppm suivant l'origine géographique (Veisseyre, 1975). Cet élément minéral forme facilement des complexes, comme cofacteur de la phosphorylation il est l'activateur d'un grand nombre de réactions enzymatiques du métabolisme microbien. Le magnésium, également nécessaire à la stabilisation des acides nucléiques (ARN et ADN),

contribue au maintien de l'intégrité de la structure des ribosomes et des membranes cellulaires (Ebel et Gunther, 1980). Sa présence en quantité suffisante dans les milieux de culture est importante pour le bon déroulement des croissances cellulaires.

Nous présentons, dans cet article, l'effet du magnésium sur le déroulement de la fermentation lactique réalisée par deux souches de streptocoques d'utilité industrielle, *Streptococcus lactis* 144 C.N.R.Z. et *Streptococcus thermophilus* 302 C.N.R.Z. Nous avons suivi par la technique de filtration sur gel, la répartition de cet élément au sein des différents constituants du lait incubé ou non.

MATERIEL ET METHODES

1. Souches

Streptococcus lactis 144 C.N.R.Z. et *Streptococcus thermophilus* 302 C.N.R.Z., proviennent de la collection du Centre National de Recherches Zootechniques (C.N.R.Z.) de Jouy-en-Josas.

Les cultures pures, en suspension dense dans du lait glycérolé à 0,8 %, sont conservées congelées à -25°C en ampoules scellées. Au fur et à mesure des besoins, les cultures sont décongelées rapidement et repiquées dans du lait deux ou trois fois avant utilisation.

2. Lait utilisé

Nous avons utilisé du lait en poudre sec, écrémé, à solubilité instantanée, exempt d'antibiotique. Le lait est reconstitué dans de l'eau distillée déminéralisée, à raison de 120 g/l puis stérilisé en flacons de 500 ml, 10 min à 118°C . Les flacons sont conservés à 4°C pendant 24 h au plus.

L'addition de magnésium sous forme de chlorure (MgCl_2 , Titrisol Merck) se fait après stérilisation afin d'éviter tout phénomène de précipitation précoce de la caséine. Les doses utilisées au cours de l'expérimentation représentent une variation du simple au double des quantités initialement présentes dans le lait.

3. Dénombrements cellulaires

Les streptocoques lactiques en croissance dans le lait forment des chaînettes plus ou moins longues et des amas d'agglutination. Afin d'obtenir une meilleure corrélation entre le nombre de colonies comptées sur milieu gélosé M_{17} (Shankar et Davies, 1977) et le nombre de cellules présentes dans l'échantillon, celui-ci est agité 2 min sur un agitateur à vibrations de type Vortex, avec comme milieu de dilution du tryptone-sel additionné de Tween 80 (1%).

A la suite de cette opération, 73 % des cellules sont sous forme isolée et 27 % sous forme de courtes chaînettes. Nous avons défini un facteur de correction tenant compte de cette répartition cellulaire déterminé par observation microscopique au moment de l'ensemencement des boîtes de Pétri.

$$cf = \frac{\sum x_i.n_{xi}}{100}$$

x_i : nombre de cellules par amas.

n_{xi} : nombre d'amas à i cellule(s).

cf : nombre moyen de cellules générant une colonie.

Si n_c est le nombre moyen de colonies comptées, le nombre de cellules N est donné par la relation :

$$N = n_c \times f \times cf \quad f : \text{facteur de dilution}$$

4. Dosages enzymatiques

Les dosages du lactose et du galactose sont effectués par méthodes enzymatiques selon les protocoles préconisés par Boehringer Mannheim (1980). Les échantillons de lait incubés sont déprotéinisés par l'acide trichloroacétique 1,2 M puis neutralisés par la soude 1 N. Le surnageant de centrifugation (5 000 g, 10 min) est conservé à -25°C jusqu'au moment du dosage.

5. Filtration sur gel

Les protéines du lait sont fractionnées sur colonne chromatographique Pharmacia de type K25/100, munie d'un collecteur de fraction FRAC 300 et d'un détecteur UV (280 nm) couplé à un enregistreur graphique. Le gel utilisé est du Sephadex G50 medium (Pharmacia Fine Chemicals) dont le domaine de fractionnement est compris entre 1 500 et 30 000. Ce gel, préparé comme le préconise Lonnerdal (1980) est stabilisé par passage d'eau déminéralisée additionnée d'antibiotique (auréomycine 10 ppm) afin de limiter le développement des micro-organismes. L'homogénéité du gel est testée par passage de 0,5 ml d'une solution de bleu dextran 2000 à 2 % dans l'eau. La colonne est calibrée par un mélange de protéines témoins (Kit calibration Pharmacia, fig. 2). Les filtrations sont réalisées sur 2 ml de lait incubé ou non avec l'eau distillée déminéralisée comme éluant. L'utilisation d'un tampon minéral a été proscrite, la mise au point du protocole expérimental ayant fait apparaître que sous l'action de la force ionique du tampon, les minéraux micellaires, notamment le magnésium, étaient immédiatement libérés, comme Yamasuchi et coll. (1967) l'ont déjà observé.

6. Dosage du magnésium

Le dosage du magnésium s'effectue par spectrophotométrie d'absorption atomique (Unican S.P. 1900) selon les conditions opératoires préconisées par Linden (1971). Le dosage est opéré en présence de lanthane qui joue le rôle de tampon spectral (Pinta, 1979). Les conditions expérimentales sont les suivantes :

Longueur d'onde : 285,21 nm.

Ouverture de la fente : 0,15 à 0,20 mm.

Intensité de la lampe à cathode creuse : 4 mA.

Flamme air : 0,5 bar.

Acétylène : 0,5 à 0,9 bar.

La précision du dosage est de $\pm 0,1$ ppm, cependant des variations d'au plus 10 % peuvent apparaître entre les résultats du dosage sur le total des fractions et le lait.

7. Dosage des acides aminés

Les amino-acides sont dosés selon la méthode de Moore et Stein (1954).

RESULTATS

1. Influence du magnésium sur la viabilité des populations de streptocoques dans le lait

Nous présentons, tableau 1, le nombre de colonies dénombrées sur le lait témoin (E_1) et sur le lait additionné de 50 ppm de magnésium (E_2) respectivement pour *Streptococcus lactis* et *Streptococcus thermophilus*. Le nombre de colonies indiqué correspond à la moyenne du nombre compté (n°) sur 3 boîtes de Pétri, pour chaque échantillon. Nous avons mentionné sur le même tableau les différences constatées entre les 2 types de lait.

A partir de la formule

$$N_2 = N_1 2^{\frac{1}{tg} (t_2 - t_1)} \quad N_1 \text{ et } N_2 \text{ repré-}$$

sentant respectivement le nombre de cellules (N) au temps t_1 et t_2 , il est possible de calculer le temps de génération (tg) entre chaque mesure. En effet, grâce au coefficient de correction, nous tenons compte de la répartition cellulaire sous forme d'amas au moment de l'ensemencement sur boîtes de Pétri. On constate qu'entre 0 et 6 h, le temps de génération est diminué de 1 à 2 min, pour les 2 souches ; cependant, celui-ci est plus profondément modifié entre 6 et 8 h. Lors de cette phase de ralentissement de la croissance cellulaire, le temps de génération en présence de magnésium est diminué de 13 min, pour *Streptococcus lactis* et de 12 min, pour

TABLEAU 1 - TABLE 1

Effet de l'addition de 50 ppm de magnésium sur la viabilité des streptocoques dans le lait
Effect of magnesium adding (50 ppm) on streptococci survival in milk

Temps d'incubation	Essai	<i>Streptococcus thermophilus</i> (43°C)		<i>Streptococcus lactis</i> (32°C)	
		Nombre de colonies	Différence du nombre de colonies entre E_0 et E_2	Nombre de colonies	Différence du nombre de colonies entre E_0 et E_2
0 h	E_0	$28 \pm 2,2 \cdot 10^5$		$31,6 \pm 3 \cdot 10^6$	-
	E_2	$27 \pm 2,7 \cdot 10^5$		$31,6 \pm 3,1 \cdot 10^6$	
2 h	E_0	$28 \pm 2,8 \cdot 10^6$	$2 \pm 3 \cdot 10^6$	$51 \pm 5,1 \cdot 10^7$	$4,0 \pm 5,0 \cdot 10^7$
	E_2	$30 \pm 3 \cdot 10^6$		$55 \pm 5 \cdot 10^7$	
4 h	E_0	$31 \pm 3 \cdot 10^7$	$3 \pm 2,1 \cdot 10^7$	$32,5 \pm 3,5 \cdot 10^8$	$4,9 \pm 3 \cdot 10^8$
	E_2	$34 \pm 3,4 \cdot 10^7$		$37,4 \pm 3,7 \cdot 10^8$	
6 h	E_0	$23 \pm 2,4 \cdot 10^8$	$3 \pm 2,6 \cdot 10^8$	$30 \pm 3 \cdot 10^9$	$6 \pm 3,6 \cdot 10^9$
	E_2	$26 \pm 2,6 \cdot 10^8$		$36 \pm 3,6 \cdot 10^9$	
8 h	E_0	$49 \pm 4 \cdot 10^8$	$18 \pm 7 \cdot 10^8$	$46,8 \pm 4,6 \cdot 10^9$	$10,4 \pm 5 \cdot 10^9$
	E_2	$67 \pm 6 \cdot 10^8$		$57,2 \pm 5 \cdot 10^9$	
12 h	E_0	$12 \pm 1,2 \cdot 10^7$	$12 \pm 2,4 \cdot 10^7$	$47,6 \pm 4,7 \cdot 10^8$	$14 \pm 6 \cdot 10^8$
	E_2	$24 \pm 2,4 \cdot 10^7$		$61,6 \pm 6 \cdot 10^8$	
24 h	E_0	$64 \pm 6 \cdot 10^6$	$40 \pm 10 \cdot 10^6$	$61 \pm 6 \cdot 10^7$	$12,2 \pm 7 \cdot 10^7$
	E_2	$104 \pm 10 \cdot 10^6$		$73,2 \pm 7 \cdot 10^7$	
48 h	E_0	$20 \pm 2 \cdot 10^5$	$14 \pm 3 \cdot 10^5$	$39,1 \pm 3,1 \cdot 10^6$	$11,8 \pm 5 \cdot 10^6$
	E_2	$34 \pm 3 \cdot 10^5$		$51 \pm 5,1 \cdot 10^6$	
72 h	E_0	$35 \pm 3,9 \cdot 10^3$	$14 \pm 5 \cdot 10^3$	$38,2 \pm 3,8 \cdot 10^3$	$11,1 \pm 4 \cdot 10^3$
	E_2	$49 \pm 4 \cdot 10^3$		$49,3 \pm 4 \cdot 10^3$	
96 h	E_0	$11 \pm 2 \cdot 10^2$	$3 \pm 1 \cdot 10^2$	$11 \pm 1,1 \cdot 10^2$	$5 \pm 1,6 \cdot 10^2$
	E_2	$14 \pm 1 \cdot 10^2$		$16 \pm 1,6 \cdot 10^2$	

 E_0 : lait reconstitué E_2 : lait reconstitué + 50 ppm de Mg

Taux d'ensemencement du lait : 2% v/v

Streptococcus thermophilus, si bien que le nombre de cellules viables en phase stationnaire est nettement plus élevé en présence de magnésium.

2. Effets de l'addition de magnésium sur le déroulement de la fermentation lactique

Nous avons représenté figure 1 l'évolution du lactose transformé et du galactose accumulé par *Streptococcus thermophilus* 302 C.N.R.Z., incubé dans du lait en présence de différentes concentra-

fig. 1

Evolution des teneurs en lactose et galactose dans le lait incubé en présence de *S. thermophilus* 302 CNRZ

Lait reconstitué	Lactose ●	Galactose ○
Lait reconstitué + 25 ppm de Mg	■	□
Lait reconstitué + 50 ppm de Mg	▲	△
Taux d'ensemencement : 2 % v/v - Température : 43° C.		

Evolution of lactose and galactose concentration in milk incubed with *S. thermophilus* 302 CNRZ

Reconstituted milk	Lactose ●	Galactose ○
Reconstituted milk + 25 ppm of Mg	■	□
Reconstituted milk + 50 ppm of Mg	▲	△
Inoculum : 2 % v/v - Temperature : 43° C.		

tions en magnésium. L'addition de 25 et 50 ppm de magnésium active la fermentation lactique. Nous avons vérifié que cette activation se traduit aussi bien dans l'utilisation du lactose par les bactéries que par la production d'acide lactique et l'accumulation de galactose. Afin de quantifier cette action du magnésium, nous avons reproduit, tableau 2, les valeurs du pourcentage de lactose

TABLEAU 2 - TABLE 2

Pourcentage de lactose transformé, valeur relative du degré de lactose transformé et valeur relative de la population bactérienne obtenue dans le lait par addition supplémentaire de magnésium

Transformed lactose, relative transformation degree and relative data of the bacterial population obtains in milk after a supplementary addition of magnesium

Quantité de Mg ajoutée		E ₀ témoin	E ₂ + 50 ppm
Teneur mesurée dans le lait		102,5 ± 2	148,7 ± 3
Evolution au cours du temps.			
4 H	1	5,1%	7,2%
	2	100	141
	3	100	109
8 H	1	12,1%	15,5%
	2	100	128
	3	100	136
12 H	1	15,7%	19,9%
	2	100	125
	3	100	200
48 H	1	16,6%	20,6%
	2	100	124
	3	100	162

1. % de lactose transformé initial
2. Valeur relative du degré de lactose transformé de l'essai E₂ par rapport au témoin E₀.
3. Valeur relative de la population de l'essai E₂ par rapport au témoin E₀.

transformé dans le lait supplémenté ou non après 4, 8, 12 et 48 h d'incubation. Ce tableau comporte également le degré relatif de lactose transformé et les valeurs relatives de la population bactérienne. On constate que l'action du magnésium est particulièrement notable sur la transformation du lactose durant les 4 premières heures d'incubation, alors que l'effet sur le nombre de cellules viables est très important au bout de 12 h. Rappelons que la biomasse maximale est atteinte après 8 h d'incubation. Des résultats rigoureusement similaires ont été obtenus avec la souche de *Streptococcus lactis* 144 C.N.R.Z. Seulement 12,6 % du lactose transformé en 12 h au lieu de 15,7 % pour *Streptococcus thermophilus* 302 C.N.R.Z. L'effet activateur est moins marqué. Comme il apparaît que l'effet du magnésium est particulièrement marquant au début de la fermentation, nous nous sommes attachés à identifier l'évolution de la répartition de cet ion durant les 4 premières heures d'incubation.

3. Analyse de la répartition du magnésium parmi les constituants du lait

Nous avons représenté, figure 2, l'analyse des 120 fractions obtenues pour notre matière première après la filtration sur gel. Pour le magnésium, on observe 2 pics importants.

Entre ceux-ci, la quantité de magnésium est faible mais ne s'annule jamais. L'analyse du chromatogramme permet de distinguer 3 zones. La zone I où le magnésium est lié aux protéines de poids moléculaire supérieur à 14 000, la zone II où le magnésium dit peptidique correspond aux molécules de faible poids moléculaire que sont les peptides et autres molécules protéiques libres, et enfin la zone III qui correspond au magnésium libre (ionique), on y retrouve conjointement les composés de faible poids moléculaire et les substances azotées non protéiques dialysables. Ainsi, en se référant aux 3 zones précédemment définies, nous avons représenté, tableau 3, les pourcentages de magnésium lié aux 3 classes de molécules en fonction du temps d'incubation et des doses de magnésium ajoutées. Le magnésium présent initialement dans le lait se trouve à 64 % sous forme libre, la fraction liée aux protéines de poids moléculaire élevé est de l'ordre de 27 % tandis que dans la zone II on ne retrouve que 8 % du magnésium total. Cette répartition semble être modifiable selon, d'une part, l'addition de magnésium et, d'autre part, l'incubation du lait en présence de *Streptococcus thermophilus*. En effet, la fraction de magnésium lié aux molécules de la zone I passe de 27,3 ppm pour le lait témoin à 36 ppm pour le lait supplémenté de 50 ppm ; cet enrichissement n'augmente pas pour des teneurs en magnésium plus élevées. L'incubation du lait témoin pendant 4 h en présence de *Streptococcus thermophilus* 302 C.N.R.Z. entraîne un déplacement de 10 % de

fig. 2

Filtration du lait reconstitué sur gel Séphadex G 50

Répartition de :

0 acides aminés (570 nm) -■- Magnésium (285 nm) -- Protéines (280 nm).

a : Bleu Dextran 2000.

b : Phosphorilase b, ovalbumine.

c : Soybean Trypsin Inhibitor (STI).

d : α-lactalbumine.

Eluant : eau distillée.

Volume des fractions : 5 ml.

calibration

Reconstituted milk filtration with Sephadex G 50

Distribution of :

0 Amino-acids -■- Magnesium -- Proteins.

a : Dextran blue 2000.

b : Phosphorilase b, ovalbumin.

c : Soybean Trypsin Inhibitor (STI).

d : α-lactalbumin.

Elution with distilled water.

Volume of fractions : 5 ml.

calibration

magnésium libre vers les zones I et II, pour le lait supplémenté, le fait n'est pas noté par suite de la saturation en ions de la classe des molécules de la zone I. Ceci suggère qu'une partie importante du magnésium ajouté passe dans la fraction libre et reste sous forme ionique. Notons qu'en ce qui concerne *Streptococcus lactis*, nous avons mis en évidence les mêmes phénomènes.

TABLEAU 3 - TABLE 3

Répartition du magnésium après filtration du lait incubé ou non en présence de *Streptococcus thermophilus* 302 CNRZ

Magnesium distribution after filtration of milk incubed with Streptococcus thermophilus 302 CNRZ

Echantillon	Temps d'incubation 43°C	Total de Mg dosé directement dans l'échantillon (ppm)	Total de Mg dosé dans les fractions (ppm)	Zone I Mg protéique	Zone II Mg peptidique	Zone III Mg libre
E ₀ témoin	0 h	99,3	95,5	27,3	8,2	64
	4 h	103,6	103,2	35,1	16,3	51,8
E ₂ + 50ppm	0 h	150,6	147,6	36,3	17,3	94
	4 h	150,6	149,9	38,6	15,2	96,1
E ₄ + 100ppm	0 h	194,5	198,8	36,7	28,2	133,9
	4 h	194,5	198,3	35,4	29,1	133,8

DISCUSSION - CONCLUSION

De l'ensemble de nos résultats, il ressort que la supplémentation du lait en magnésium entraîne une activation de la fermentation lactique s'accompagnant d'une meilleure croissance des souches de streptocoques étudiées. Si bien que le nombre de cellules viables en phase stationnaire est plus élevé. Par contre, les cinétiques de mortalité cellulaire observées au delà de 8 h (tab. 1) ne sont pas modifiées.

Ces observations mériteraient, à notre avis, d'être expérimentées en technologie laitière, dans le but d'accélérer l'acidification de laits relativement carencés.

Examinons tout d'abord la répartition du magnésium parmi les constituants du lait. La technique de filtration que nous avons retenue pour suivre cette répartition respecte en grande partie les grandes classes de répartition de cet élément, puisque nous retrouvons dans le lait non enrichi 27 à 30 ppm dans la zone micellaire. Brulé et Lenoir (1984) signalent que 25 à 30 % de magnésium se retrouvent dans cette zone, soit sensiblement notre pourcentage, puisque le lait témoin contient 100 ppm de magnésium. Le magnésium sous forme ionisé est de 64 ppm ; le reste se répartit dans la zone dite « peptidique ». Dans les cas du lait supplémenté en magnésium, nous avons observé une augmentation de la proportion de cet élément au sein des micelles caséiniques de 30 à 37 ppm pour une addition de 50 ppm. Dans les gammes de concentrations

plus élevées, cette teneur reste constante, ce qui suggère que les environnements micellaires sont rapidement saturés. Ainsi, la supplémentation du lait en magnésium à des teneurs supérieures à 50 ppm a pour effet d'augmenter sa proportion sous forme ionique. Dans ces laits supplémentés en magnésium, l'incubation jusqu'à pH 5,4 en présence de *Streptococcus lactis* et *Streptococcus thermophilus*, ne modifie pas les équilibres (tab. 3). Par contre, dans les mêmes conditions, on observe dans les laits témoins la migration de 10 % de magnésium ionisé vers les zones peptidiques [2] et micellaires [1]. La production microbienne d'acide lactique entraîne la solubilisation des sels minéraux, notamment du Ca^{++} (Brulé, 1974). La faible diminution du magnésium ionique observée, reste inattendue. Ce fait pourrait s'expliquer, à notre avis, par la libération de peptides phosphorylés (zone II) piégeant du magnésium dans la zone peptidique, et par la fixation de magnésium au sein des micelles (zone I) sur les groupements de phosphate colloïdal.

En ce qui concerne la stimulation de la croissance cellulaire que nous avons observée, il semble que celle-ci soit liée à l'augmentation du taux de magnésium ionisé directement disponible pour les cellules. Le magnésium intervient comme cofacteur d'un grand nombre de réactions enzymatiques, il participe à la structure des membranes cellulaires et des ribosomes (Paunier, 1974). L'influence des métaux dans la nutrition des bactéries lactiques a fait l'objet de peu de travaux. Cependant, il a déjà été montré que le magnésium et le fer pouvaient avoir un rôle dans la nutrition des streptocoques mésophiles (Reiter et Moller-Madsen, 1963 ; Ledesma et coll., 1977). Walker et Duffus (1980) ont mis en évidence leur rôle dans le contrôle de la division cellulaire de *Schizosaccharomyces pombe* et *Kluyveromyces fragilis* ; le magnésium participerait au contrôle de l'assemblage des microtubules. Dans un article récent, Ates Saltukoglu et Slaughter (1983) ont signalé chez *Saccharomyces cerevisiae* qu'il était nécessaire de disposer dans le milieu d'une quantité de magnésium plus importante que nécessaire pour que la croissance cellulaire se déroule normalement, un excès de calcium aboutissant à une augmentation de la phase de latence et à un ralentissement de la vitesse de croissance. Dans le cas du lait, la présence excessive de calcium pourrait expliquer qu'on observe encore une activation du métabolisme et de la croissance des bactéries lactiques au delà de 60 ppm de magnésium sous forme ionique. L'effet du magnésium sur la vitalité des cellules bactériennes a été abordé par de nombreux auteurs. Ainsi, Thomas et Batt (1968, 1969) ont montré chez *Streptococcus lactis* qu'en cas de carence d'autres sels minéraux, notamment les phosphates, l'absence de magnésium conduit à une perte de viabilité corrélée à une dégradation rapide de l'ARN. Dans nos conditions expérimentales (tab. 1), un tel phénomène n'a pas été observé puisque le taux de mortalité cellulaire n'est pas modifié.

Bibliographie

- ATES SALTUKOGLU (), SLAUGHTER (J.C.) (1983). — The effect of magnesium and calcium on yeast growth. *J. Inst. Brew.*, 89, 81-83.
- BOEHRINGER (Mannheim) (1979). — Enzymatic analysis for food chemistry, 28 and 32.
- BRULÉ (G.) (1974). — Les minéraux du lait. *Revue Laitière Française*, 400, 61-65.
- BRULÉ (G.), LENOIR (J.) (1984). — La coagulation du lait. In « Le fromage », Ed. A. Eck, Lavoisier, Paris, 1-21.
- EBEL (H.), GUNTHER (T.) (1980). — Magnesium metabolism. A review. *J. Clin. Chim. Clin. Biochem.*, 18, 257.
- FELBER (H.) (1970). — Zur labgerinnung der silage Milchteil II : mineral und eiweissgehalt von silage und nicht-silage-milch. *Die Österreichische milchwirtschaft.*, 25 (2), 1-11.
- GUÉGUEN (L.) (1971). — La composition minérale du lait et son adaptation aux besoins minéraux du jeune. *Ann. Nutr. Alim.*, 25, A 335-A 381.
- HOFI (A.A.), RIFAI (I.D.), SALAM (M.H.), MAHRAN (G.A.) (1971). — Utilisation des oligoéléments pour accélérer l'affinage des fromages à pâte dure. *J. Dairy Res.*, 38, 203-204.
- KAMAL (T.H.), JOHNSON (H.D.), RAGSDALE (A.L.) (1961). — Influence of the stade of lactation and environmental temperature of the salt balance of milk. *J. Dairy Sci.*, 44, 1655-1660.
- LEDESMA (O.V.), DE RUIZ HOLGANO (A.P.), OLIVIER (I.G.), DE GIORI (G.S.), RAIBAUD (P.), GALPIN (J.V.) (1977). — A synthetic medium for comparative nutritional studies of lactobacilli. *J. Appl. Bacteriol.*, 42, 123-133.
- LINDEN (G.) (1971). — Applications de la spectrophotométrie d'absorption atomique dans les laboratoires d'industrie alimentaire. *Industr. Alim. agr.*, 88, 793-803.
- LONNERDAL (B.) (1980). Chemical modification of dextran gels for gel filtration of trace elements ligands. Trace element analytical chemistry in med. and Biol. Walter de Gruyter and Co, Berlin, New York, 439-446.
- MILLER (M.) (1970). — Zn nutrition of cattle. *J. Dairy Sci.*, 53 (8), 1123-1132.
- MOORE (S.) and STEIN (W.H.) (1954). — *J. Biol. Chem.*, 211, 907-913.
- MOORE (J.) (1974). — Les métaux agents de pollution du lait, leur dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique. *Le Lait*, 54, 139-152.
- MOUILLET (L.), LUQUET (F.M.), CASALIS (J.) (1975). — Contribution à l'étude des variations de la teneur en sels minéraux du lait de vache dans différentes régions française. *Le Lait*, 56, 683-694.
- PAUNIER (L.) (1974). — Métabolisme du magnésium. *Annale Nestlé*, 67, 23-30. Ed. Services Scientifiques Nestlé.
- PINTA (M.) (1979). — Spectrométrie d'absorption atomique. Application à l'analyse chimique, tome I et II, 2^e édition, Lib. Masson, Paris.
- REITER (B.), MOLLER-MADSEN (A.) (1963). — Cheese and butter starters. *J. Dairy Res.*, 30, 419-456.
- ROUX (M.), LUQUET (F.M.), CASALIS (J.) (1974). — Sur la teneur en sels minéraux du lait de vache des régions du Nord et Sud-Ouest de la France. *Ann. Fals. Exp. Chim.*, 67, 577-583.
- SAAKJAN (R.) (1982). — Utilisation d'éléments de trace Mn, Zn... en fabrication du Gruyère. *Epev. Zoov. Inst.*, 3, 29-37.

- SHANKAR (P.A.), DAVIES (F.L.) (1977). — A note on the suppression of *Lactobacillus bulgaricus* in media containing β -glycerophosphate and application of such media selective to isolation of *Streptococcus thermophilus* from yoghurt. *J. Society Dairy Technology*, 30, 28-30.
- THOMAS (T.D.), BATT (R.D.) (1968). — Survival of *Streptococcus lactis* in starvation conditions. *J. Gen. Microb.*, 50, 367-382.
- VEISSEYRE (R.) (1975). — Technologie du lait, 3^e édition entièrement refondue de techniques laitières. Ed. La Maison Rustique, Paris.
- WALKER (G.M.), DUFFUS (J.H.) (1980). — Magnesium ions and the control of the cell cycle in yeast. *J. Cell. Sci.*, 42, 329-356.
- YAMASUCHI (K.), HONNA (Y.), TSUGO (T.) (1967). — Separation of soluble calcium phosphate and citrate in milk by Sephadex gel filtration. *Jpn J. Zootech. Sci.*, 38, 117-119.
-