



Avantages et risques potentiels du système lactoperoxydase pour la conservation du lait cru

Rapport d'une réunion technique FAO/OMS

Siège de la FAO, Rome, Italie, 28 novembre - 2 décembre 2005



Organisation
mondiale de la Santé



Pour de plus amples informations , prière de contacter:

Service de la qualité des aliments et des normes alimentaires
Division de la nutrition et de la protection des consommateurs
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Viale delle Terme di Caracalla
I-00153 Rome (Italie)

Télécopie: +39 06 57054593
Courrier électronique: jemra@fao.org

ou

Service de la Production Animale
Division de la production et de la santé animale
Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Viale delle Terme di Caracalla
I-00153 Rome (Italie)

Télécopie: +39 06 57055749

Site webs:
<http://www.fao.org/es/esn>

<http://www.fao.org/ag/dairy.html>

Image de couverture:
© Dror Bar-Natan 2002
E.mail: drorbn@math.toronto.edu

Les publications de l'Organisation des Nations Unis pour l'alimentation et l'agriculture
peuvent être obtenues auprès du
Groupe des ventes et de la commercialisation
Sous-division des politiques et de l'appui en matière de publications électroniques
Division de l'information de la FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00153 Rome, Italie
Courriel: Publications-Sales@fao.org
Télécopie: + 39 06 5705 3360
ou sur Internet à l'adresse suivante <http://www.fao.org/icatalog/inter-f.htm>

Les publications de l'Organisation mondiale de la Santé sont disponibles auprès des
Editions de l'OMS
Organisation mondiale de la Santé
20 avenue Appia
1211 Genève 27 (Suisse)
Téléphone : +41 22 791 3264 ;
Télécopie : +41 22 791 4857 ;
Courriel: bookorders@who.int
ou sur Internet à l'adresse suivante <http://www.who.int/publications/fr/index.html>

Avantages et risques potentiels du système lactoperoxydase pour la conservation du lait cru

Rapport d'une réunion technique FAO/OMS
Siège de la FAO, Rome, Italie
28 novembre - 2 décembre 2005

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ni l'Organisation mondiale de la Santé aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Les points de vue exprimés n'engagent que leur auteur et ne reflètent pas nécessairement ceux de l'Organisation mondiale de la Santé, de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, ou de leurs organisations affiliées

L'Organisation mondiale de la Santé et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ne garantissent pas que les informations contenues dans cette publication sont complètes et correctes et ne sauraient être tenues pour responsables des éventuels dommages résultant de leur utilisation.

Catalogage à la source: Bibliothèque de l'OMS

Avantages et risques potentiels du système lactoperoxydase pour la conservation du lait cru : rapport d'une réunion technique FAO/OMS siège de la FAO Rome, Italie 28 novembre-2 décembre 2005.

1.Lactoperoxydase. 2.Lait – microbiologie. 3.Lait – analyse. 4.Conservation aliments. 5.Evaluation risque. I.Organisation mondiale de la Santé. II.Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

(OMS) ISBN 92 4 259465 2 (NLM classification: WA 716)

(OMS) ISBN 978 92 4 259465 2

FAO ISBN 978 92 5 205577 8

Tous droits réservés. Les demandes d'autorisation de reproduction ou de traduction du matériel contenu dans cette publication – pour la vente ou pour une distribution non commerciale - doivent être adressées au Chef de la Sous-division des politiques et de l'appui en matière de publications électroniques, Division de l'information, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie ou par courrier électronique à copyright@fao.org ou aux Editions de l'OMS, Organisation mondiale de la Santé, 20 avenue Appia, 1211 Genève 27, Suisse, ou par télécopie à +41 22 791 4806 ; ou par courrier électronique à permissions@who.int.

Table des matières

| | |
|--|-------------|
| Remerciements | v |
| Participants à la réunion | vi |
| Déclaration d'intérêt | viii |
| Abréviations | ix |
| Résumé | x |
| Recommandations | xii |
| 1. Introduction | 1 |
| 1.1 Généralités | 2 |
| 1.2 Portée et objet de la réunion technique | 3 |
| 2. Effets microbiologiques et efficacité du système lactoperoxydase | 5 |
| 2.1 Efficacité du système lactoperoxydase pour prévenir l'altération du lait cru | 5 |
| 2.2 Efficacité du système lactoperoxydase contre les microorganismes pathogènes | 8 |
| 2.3 Conséquences possibles de l'utilisation à long terme du système lactoperoxydase sur son efficacité antimicrobienne | 11 |
| 2.4 Conclusions et recommandations | 12 |
| 3. Santé et Nutrition Humaines | 14 |
| 3.1 Le système lactoperoxydase dans son contexte | 14 |
| 3.2 Problèmes de santé potentiels associés avec l'utilisation du système lactoperoxydase: aspects toxicologiques | 15 |
| 3.3 Effets nutritionnels | 19 |
| 3.4 Effets sur les pathogènes présents dans le lait | 19 |
| 3.5 Conclusions et recommandations | 19 |
| 4. Traitement et Technologie | 21 |
| 4.1 Méthodes d'activation du système lactoperoxydase | 21 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.2 | Désactivation thermique du système lactoperoxydase | 23 |
| 4.3 | Autres méthodes approuvées de conservation du lait | 23 |
| 4.4 | Effets du système lactoperoxydase sur la qualité organoleptique du lait et la fabrication de produits | 24 |
| 4.5 | Autres méthodes de contrôle microbiologique | 26 |
| 4.6 | Impact de l'adoption du système lactoperoxydase sur l'emploi de méthodes non approuvées de conservation du lait | 27 |
| 4.7 | Conclusions et recommandations | 27 |
| 5. | Valeur Économique et Commerce | 29 |
| 5.1 | Situation actuelle | 29 |
| 5.2 | Le coût de la réfrigération et du système lactoperoxydase | 31 |
| 5.3 | Commerce international | 32 |
| 5.4 | Normes et politique en matière de produits laitiers et le système lactoperoxydase | 32 |
| 5.5 | Valeur économique et impact | 33 |
| 5.6 | Disponibilité des composants du système lactoperoxydase | 34 |
| 5.7 | Conclusions et recommandations | 34 |
| 6. | Conclusions Générales et Recommandations | 36 |
| 7. | Références | 41 |
| | Annexe A – Documents soumis à la suite de l'appel FAO/OMS pour l'obtention de données | 52 |
| | Annexe B – Autres documents de travail présentés durant la réunion | 55 |
| | Annexe C – Tableau récapitulatif comparant le système lactoperoxydase, la réfrigération et la combinaison système lactoperoxydase-réfrigération | 56 |
| | Annexe D – Exposition au thiocyanate selon les régimes alimentaires régionaux GEMS/Food avec et sans lait traité au système lactoperoxydase | 57 |
| | Annexe E – Apports alimentaires selon les régimes alimentaires régionaux GEMS/Food en kilogrammes par an | 58 |

Remerciements

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) tiennent à exprimer leur gratitude à tous ceux qui ont contribué à la préparation du présent rapport, en y apportant leurs compétences, leur temps, des données et d'autres informations pertinentes, ainsi qu'à ceux qui en ont assuré la révision et enfin à ceux qui ont formulé des observations.

La FAO et l'OMS expriment également leurs remerciements à tous ceux qui ont envoyé des données suite à l'appel qu'elles avaient lancé et qui leur ont fourni des informations difficiles à obtenir dans la littérature courante ou la documentation officielle.

Les travaux préliminaires et la réunion technique réalisée pour préparer le présent rapport ont été coordonnés par le Service de la production animale et le service de la qualité des aliments et des normes alimentaires de la FAO. Y ont notamment participé Anthony Bennett, Sarah Cahill, Ruth Charrondiere, Maria de Lourdes Costarrica, Frédéric Lhoste et Simon Mack pour la FAO ainsi que Hae Jung Joon et Jørgen Schlundt pour l'OMS. La publication du présent rapport a été coordonnée par Anthony Bennett, Sarah Cahill et Frédéric Lhoste. Direction artistique par Nicoletta Forlano et design par James Morgan. James Edge a assuré sa préparation pour la publication..

Le travail a été soutenu et financé par le Service de la production animale et le Service de la qualité des aliments et des normes alimentaires de la FAO et par le Département sécurité sanitaire des aliments, zoonoses et maladies d'origine alimentaire de l'OMS.

Participants à la réunion

Prof. Olivia Calisay EMATA

Assistant Professor and University Researcher
Dairy Training and Research Institute
ADSC. UP Los Baños College
Laguna, Philippines

Dr Alistair GRANDISON

Senior Lecturer
The University of Reading
Royaume-Uni

Prof. Hannu Jaakko Tapani KORHONEN

Director of Food Research
MTT Agrifood Research
Finlande

Prof. Christiaan Wilfried MICHIELS

Professor in Food Microbiology and Head of the Laboratory of Food Microbiology
Katholieke Universiteit Leuven
Belgique

Mr Hezekiah Gichere MURIUKI

Dairy Economics Consultant
Kenya

Ing. Pastor Ceballo PONCE

Director of the Center of Assays for the Control and Quality of Milk and Dairy Products (CENLAC) of the National Center for Animal and Plant Health (CENSA)
Cuba

Prof. Jean Paul RAMET

Professor of Food Science and Technology (Retired)
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires
France

Dr John VANDERVEEN

Emeritus Scientist, Center for Food Safety and Applied Nutrition

U.S. Food and Drug Administration

Etats-Unis d'Amérique

Prof. Ronald WALKER

Emeritus Professor of Food Science

University of Surrey

Royaume-Uni

Déclarations d'intérêt

M. Ponce: en sa qualité de chercheur au Centre national pour la santé animale et la protection des végétaux (CENSA), il est l'auteur d'un brevet sur un produit fondé sur l'activation du système lactoperoxydase. Il n'a pas le droit de l'exploiter commercialement ni d'en tirer des profits, conformément aux lois cubaines régissant la propriété intellectuelle.

Abréviations

| | |
|----------------|---|
| CAC | Commission du Codex Alimentarius |
| CCFH | Comité du Codex sur l'hygiène alimentaire |
| COMESA | Marché commun de l'Afrique orientale et australe |
| GEMS | Système mondial de surveillance de l'environnement |
| GLP | Groupe d'experts mondiaux de la FAO sur la lactoperoxydase |
| JECFA | Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires |
| HTST | Haute température et courte durée |
| IGAD | Autorité intergouvernementale sur le développement |
| OMS | Organisation mondiale de la santé |
| OAA/FAO | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture |
| ppm | Parties par million |
| SADC | Communauté de développement de l'Afrique australe |
| UHT | Ultra-haute température (stérilisation) / Traité à haute température (lait) |

Résumé

La présente réunion technique a été organisée conjointement par le Service de la production animale et le Service de la qualité des aliments et des normes alimentaires de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), en coopération avec le Département sécurité sanitaire des aliments, zoonoses et maladies d'origine alimentaire de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) en vue d'obtenir les meilleurs avis scientifiques disponibles sur des questions touchant l'emploi du système lactoperoxydase (système LP) pour la conservation du lait cru.

Après avoir examiné les informations scientifiques disponibles (Références, Annexes A et B), les experts techniques ont conclu que le système LP est une méthode sûre pour prévenir les pertes de lait par détérioration microbienne lorsqu'il est utilisé conformément aux directives Codex, soit seul, soit en combinaison avec d'autres méthodes approuvées. Son application convient particulièrement lorsque, pour des raisons techniques, économiques et/ou pratiques, il n'est pas possible d'utiliser des installations de refroidissement pour assurer au lait cru le maintien de sa qualité. Le recours au système LP n'exclut pas la nécessité de la pasteurisation du lait cru pour le rendre plus salubre pour la consommation humaine, ni ne saurait la remplacer.

Les pertes après la traite et la collecte constituent un grave problème pour l'industrie laitière dans les pays en développement. Les petits producteurs laitiers pourraient contribuer davantage à la production, à la transformation et à la commercialisation mondiales du lait s'ils pouvaient réduire leurs pertes à l'aide d'une ou plusieurs méthodes approuvées de conservation du lait cru. La réfrigération est la méthode de choix pour conserver le lait, mais elle exige des investissements substantiels de capitaux et peut entraîner des coûts d'utilisation et d'entretien élevés. Le système LP est une méthode économique pour accroître la disponibilité de lait qui contribue à l'alimentation et à générer des revenus, ainsi qu'à assurer la sécurité alimentaire des ménages dans les pays en développement.

Le système LP déclenche une activité antimicrobienne contre une grande variété de microorganismes saprophytes et pathogènes, le virus VIH-1, les moisissures, les levures, les mycoplasmes et les protozoaires. En outre, il ne favorise pas la croissance de microorganismes pathogènes lorsque son effet bactériostatique est terminé¹. Le système LP activé est efficace dans le lait cru de différentes espèces d'animaux, l'activité

¹Dans des conditions de laboratoire.

²Le système LP est classé comme "microbiostatique" dans le Code d'usages du Codex en matière d'hygiène pour le lait et les produits laitiers (CAC/RCP/57 – 2004) (CAC, 2004b).

globale étant principalement bactériostatique², selon la charge bactérienne initiale totale, selon l'espèce et les souches de bactérie contaminantes ainsi que selon la température du lait.

Des observations de laboratoire et d'études sur le terrain indiquent que le système LP ne provoque pas d'effets négatifs importants sur les caractéristiques chimiques, physiques ou sensorielles du lait cru et des produits laitiers transformés. Dans la pratique, le système LP activé ne peut être utilisé pour dissimuler la qualité microbiologique médiocre d'un lait.

Aucun composant du système LP ne présente un risque toxicologique grave pour la santé publique dans les doses proposées. Lorsque le goitre endémique est commun, des mesures de santé publique s'imposent pour remédier à la carence en iode, que le système LP soit utilisé ou non.

En adoptant les "Directives pour la conservation du lait cru par le système lactoperoxydase" en 1991, la Commission du Codex Alimentarius est convenue de souligner que le système LP ne devrait pas être utilisé pour des produits destinés au commerce international. Cette disposition est considérée comme un obstacle majeur à l'adoption du système, limitant le commerce du lait et des produits laitiers soumis au système LP aux niveaux régional et international.

S'appuyant sur les données disponibles et leur évaluation, les experts techniques ont jugé que le système LP est une méthode sûre pour la conservation du lait cru lorsqu'il est appliqué conformément aux directives Codex établies. Ils ont conclu que le présent rapport constitue une base scientifique qui permettra au Codex Alimentarius de revoir la disposition imposant une restriction au commerce international du lait et des produits laitiers traités au système LP.

Recommandations

En formulant leurs recommandations, les experts ont réaffirmé que le système lactoperoxydase utilisé pour la conservation du lait cru ne présente aucun danger lorsqu'il est utilisé conformément aux directives existantes (CAC, 1991b) et ont recommandé son emploi dans les situations où, pour des raisons techniques, économiques et/ou pratiques, il n'est pas possible d'utiliser des installations de refroidissement. A la lumière de leurs débats, ils ont formulé les recommandations spécifiques ci-après.

AU CODEX ALIMENTARIUS

Envisager d'élargir la directive pour l'utilisation de ce système concernant la température d'application du système LP afin d'inclure également la fourchette de températures de 31 à 35°C pendant 4 à 7 heures et jusqu'à 4°C pendant 5–6 jours.

Elaborer des normes pour le lait et les produits laitiers qui puissent être facilement adoptées au niveau régional ou national, en encourageant et en soutenant la participation active d'une gamme représentative de pays membres à l'élaboration des normes.

Eliminer la disposition actuelle concernant la restriction à l'emploi du système LP dans le lait et les produits laitiers destinés au commerce international, cette disposition ayant été jugée par les experts sans fondement scientifique ou technique et sans justification économique.

AUX PAYS MEMBRES, À LA FAO, À L'OMS, AU CODEX ALIMENTARIUS, AUX ONG ET À L'INDUSTRIE LAITIÈRE

Reconnaître le système LP comme une méthode efficace et applicable de conservation du lait cru qui n'a pas d'effet négatif sur le traitement ultérieur du lait.

En raison de son effet bactériostatique, concevoir l'application du système LP comme partie intégrante d'un programme visant à améliorer l'hygiène et la sécurité sanitaire du lait d'un bout à l'autre de la chaîne du lait.

Envisager l'application du système LP pour compléter le refroidissement afin d'augmenter la conservabilité du lait cru et de stopper la prolifération des microorganismes saprophytes et pathogènes du lait.

Utiliser le système LP pour améliorer la qualité des produits transformés grâce à son effet bactériostatique démontré, depuis la collecte du lait jusqu'au traitement final, et en particulier pour permettre d'allonger les distances pour le transport du lait dans les pays en développement, ce qui permettrait d'augmenter le volume de lait commercialisable. Cela pourrait avoir des avantages directs importants tant pour les producteurs que pour les consommateurs de lait.

Reconnaître que l'utilisation du système LP est une option économiquement viable (soit seul, soit associé à la réfrigération) pour réduire sensiblement les pertes de lait et augmenter les disponibilités.

Outre les recommandations propres à l'emploi du système LP, plusieurs autres questions ont été examinées, qui ont amené les experts techniques à formuler les recommandations suivantes.

Promouvoir la consommation de lait en tant que source précieuse de nutrition humaine contribuant à un développement sain et à une bonne croissance.

Encourager la contribution des petits producteurs laitiers à la nutrition des familles, à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté.

Appliquer des mesures pour remédier à la carence en iode dans les zones d'endémie goitreuse reconnues, associées à une surveillance appropriée de sa prévalence. Le lait peut aussi être une source précieuse d'iode, à condition que l'iode soit en quantité suffisante dans le régime alimentaire des animaux laitiers.

1. Introduction

Cette réunion technique a été organisée conjointement par le Service de la production animale et le Service de la qualité des aliments et des normes alimentaires de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), en coopération avec le Département sécurité sanitaire des aliments, zoonoses et maladies d'origine alimentaire de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) en vue d'obtenir les meilleurs avis scientifiques disponibles sur des questions touchant le système lactoperoxydase (système LP). Le système LP consiste en l'addition de thiocyanate de sodium et de peroxyde d'hydrogène pour réactiver l'enzyme lactoperoxydase présente dans le lait qui maintient la qualité initiale du lait sans réfrigération pendant une certaine durée qui est fonction de la température, jusqu'à ce que le lait puisse être traité ou pasteurisé.

LA FAO et l'OMS reconnaissent le rôle important des petits producteurs laitiers concernant l'approvisionnement en lait et en produits laitiers des marchés dans les pays en développement. Leur participation continue à ces marchés est encouragée. Le lait est une denrée importante qui contribue à l'alimentation et à la santé des familles et qui peut aussi fournir un revenu. Par conséquent, les méthodes visant à augmenter la disponibilité en lait et en produits laitiers sains sont très utiles pour l'amélioration continue de l'alimentation et de la santé des familles.

Cette réunion s'inscrit parmi les activités OAA/OMS concernant la fourniture d'avis scientifiques au Codex et à ses pays membres. Les directives Codex (CAC/GL 13 – 1991 (CAC, 1991b)) pour la conservation du lait cru à l'aide du système LP ont été adoptées en 1991 lorsque la Commission du Codex Alimentarius est également « convenue de souligner que le système lactoperoxydase ne doit pas être utilisé pour des produits destinés au commerce international » (CAC, 1991a). Depuis, de nombreux pays membres ont fait part de leur inquiétude concernant cette disposition. À ce propos, il a été demandé à la FAO et à l'OMS de fournir des avis scientifiques fondés sur une information complète et pertinente à l'appui d'une prise de décision appropriée au sein du système Codex sur l'utilisation du système LP (CAC, 2004a).

Des experts de cinq régions – L'Afrique, l'Asie, l'Europe, l'Amérique du Nord, l'Amérique latine et les Caraïbes – ont participé à la réunion, chacun apportant ses compétences professionnelles à titre individuel, et non en tant que représentant de son gouvernement, employeur ou institution. Ils se sont appuyés sur un certain nombre de documents soumis à la suite d'un appel lancé pour l'obtention d'informations et de données auprès des pays membres sur des questions liées au système LP. Ont été traitées en particulier des questions s'adressant à ses effets microbiologiques, son efficacité, la santé humaine et la nutrition, la transformation et la technologie, la valeur économique et le commerce.

Ces documents, énumérés à l'Annexe A, ont été distribués aux experts avant la réunion. D'autres matériels consultés et fournis par les participants durant la réunion sont inclus dans la section Références et à l'Annexe B du présent rapport.

1.1 GÉNÉRALITÉS

La lactoperoxydase est une enzyme qui est naturellement présente dans le lait. L'une de ses fonctions biologiques uniques réside en un effet bactériostatique en présence de peroxyde d'hydrogène et de thiocyanate. Ces deux substances sont naturellement présentes dans le lait à diverses concentrations. La méthode utilisée pour activer le système LP dans le lait consiste à ajouter environ 10 ppm (parties par million) de thiocyanate (de préférence en poudre) au lait cru afin d'augmenter la concentration globale jusqu'à 15 ppm (environ 5 ppm sont naturellement présents). On mélange soigneusement la solution pendant 30 secondes puis on ajoute une quantité équimolaire (8,5 ppm) de peroxyde d'hydrogène (généralement sous la forme de granulés de carbonate de sodium peroxyhydrate). L'activation de la lactoperoxydase a un effet bactériostatique sur le lait cru et prolonge effectivement la durée de conservation du lait cru pendant 7-8 heures à des températures ambiantes d'environ 30°C ou plus longtemps à des températures plus basses. Cela donne suffisamment de temps pour transporter sans réfrigération, le lait du point de collecte jusqu'au centre de transformation.

Il y a plusieurs façons de maîtriser la détérioration du lait, y compris la réfrigération, le traitement thermique (pasteurisation en vrac ou en sachets), la microfiltration (avec ou sans pasteurisation), la bactofugation, le traitement par haute pression et l'utilisation d'agents de conservation chimiques (y compris le salage à des taux de 3-12%). Certains de ces procédés exigent un équipement coûteux et ne sont pas faciles à appliquer, en particulier dans les systèmes de production et de transformation du lait de petite échelle dans les pays en développement où jusqu'à 80% du lait produit provient d'un marché informel.

La FAO a mis en place un groupe d'experts mondiaux de la lactoperoxydase en juillet 1998. Ce groupe avait pour objectif de promouvoir le système LP et de procéder à des démonstrations dans des régions spécifiques du monde où la réfrigération est difficile. Les partenaires composant ce groupe étaient l'Université de Lund en Suède, l'OMS, la Fédération internationale de laiterie et la FAO, avec l'appui des gouvernements suédois, français, hongrois et irlandais. La stratégie du groupe consistait à informer les pays et à évaluer leur intérêt pour ces questions ainsi qu'à identifier des institutions partenaires régionales et des institutions et experts nationaux. Cette stratégie consistait également à dispenser des formations et à effectuer des démonstrations au niveau national en collaboration avec les ministères compétents mais aussi à s'assurer du suivi par le biais des experts nationaux et des gouvernements. Les réalisations du groupe comprennent: des affiches et des manuels sur l'emploi du système LP en anglais, français et espagnol, l'impression et la distribution de manuels pratiques, la fourniture d'une formation et de démonstrations dans 35 pays, des réunions annuelles et l'exécution du

programme régional « lait de brousse » en Afrique de l'Ouest.

Le Codex a adopté les « Directives pour la conservation du lait cru par le système lactoperoxydase » en 1991 (CAC, 1991a, b). Des questions concernant le système LP pour la conservation du lait cru ont été soulevées lors de nombreuses réunions du Codex, récemment durant la session de la Commission du Codex Alimentarius à Genève en 2004 (CAC, 2004a). Des questions ayant trait aux directives qui suscitent une inquiétude dans de nombreux pays membres de la FAO ont aussi été soulevées.

En 2002, le Groupe d'experts a demandé que le Comité du Codex sur le lait et les produits laitiers (CCMMP) envisage d'apporter des amendements à ces directives (CAC, 2002a). Soulignant qu'il était nécessaire de s'appuyer sur des données scientifiques pour procéder à des amendements quels qu'ils soient, plus tard la même année, le Comité a soumis la question au Comité exécutif du Codex qui est convenu que le système LP pourrait présenter un intérêt particulier pour les pays en développement et a invité les comités régionaux à l'examiner (CAC, 2002b). Il a été reconnu que tous les aspects de cette question complexe relatifs à la santé devraient être examinés afin que toute révision des directives soit fondée sur des données scientifiques fiables et une analyse des risques.

En 2002, le Comité de coordination du Codex pour l'Afrique a soutenu ces décisions et a estimé que tant que les incertitudes ayant trait au procédé ne sont pas résolues, les dispositions concernant l'utilisation de ce système devraient être maintenues (CAC, 2002c). Le Comité de coordination du Codex pour l'Amérique du Nord et le Pacifique Sud-Ouest (CCNASWP) en 2002 a également recommandé que de nouveaux examens soient entrepris par le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA) relative-ment à la sécurité chimique et microbiologique du système LP avant de réviser les directives (CAC, 2002d). En 2003, le Comité du Codex sur l'hygiène alimentaire (CCFH) a conclu que la disposition actuelle qui exclut l'utilisation du système lactoperoxydase pour les produits destinés au commerce international devait continuer à être appliquée et qu'il n'était pas nécessaire de réviser les directives dans le cadre du Codex ou d'un examen par le JECFA (CAC, 2003).

La question a été de nouveau soulevée auprès du CCFH en 2004 lorsque le Comité a été informé que de nouvelles données étaient disponibles. Elle a également été débattue à la vingt-septième session du Codex Alimentarius en 2004 au cours de l'adoption du projet de Code d'usages en matière d'hygiène pour le lait et les produits laitiers, durant laquelle le texte suivant a été ajouté au Code « Le Comité sur l'hygiène alimentaire (CCFH) réexaminera l'utilisation de la méthode fondée sur la lactoperoxydase pour le lait et les produits laitiers faisant l'objet d'un commerce international après que des experts de la FAO et de l'OMS auront examiné les données disponibles et compte tenu du rapport du Groupe d'experts de la FAO sur la lactoperoxydase sur les risques et les avantages potentiels de cette méthode. Le CCFH se penchera à nouveau sur la question en 2006 » (CAC, 2004a).

1.2 PORTÉE ET OBJET DE LA RÉUNION TECHNIQUE

La présente réunion a été organisée pour répondre aux préoccupations des pays membres et fournir des avis scientifiques à la prochaine session du CCFH en 2006 sur les avantages et les risques potentiels associés au système LP pour la conservation du lait cru et de tous produits laitiers dérivés de lait traité au système LP.

La réunion technique avait pour objectif de déterminer les avantages (économiques et nutritionnels) et le niveau de risques pour la santé, le cas échéant, découlant de l'application du système LP, de donner des avis sur la sécurité sanitaire du lait et des produits laitiers dérivés traités au système LP et d'étudier la question de la restriction de l'utilisation du lait et des produits laitiers traités au système LP faisant l'objet d'un commerce international.

Le groupe est convenu d'examiner ces questions sous quatre grandes rubriques et d'assigner à chacune d'elles un président et un rapporteur.

1. Les effets microbiologiques et l'efficacité du système LP

Président: C. Michiels

Rapporteur: H. Korhonen

2. Les effets du lait et des produits laitiers traités au système LP, sur la santé et l'alimentation

Président: J. Vanderveen

Rapporteur: R. Walker

3. Transformation, technologie et conservation du lait

Président: J. P. Ramet

Rapporteur: A. Grandison

4. Valeur économique et commerce du lait et des produits laitiers traités au système LP

Président: H. G. Muriuki

Rapporteur: O. C. Emata

Le présent rapport résume les débats, les résultats et les conclusions de la réunion.

2. Effets microbiologiques et efficacité du système lactoperoxydase

L'efficacité du système LP pour maintenir la qualité hygiénique du lait cru pendant une période limitée a été établie lors de nombreuses études expérimentales en laboratoire mais également sur le terrain dans différentes régions géographiques. La méthode peut être appliquée pour conserver le lait cru provenant de différentes espèces. L'efficacité est fonction du degré initial et du type de contamination microbiologique ainsi que de la température du lait durant la période de traitement. Le système LP a principalement un effet bactériostatique dans le lait cru. Les données d'expérience et la pratique font penser que le système LP peut être appliqué à des températures dépassant les limites (15–30 °C) indiquées dans les directives Codex de 1991 (CAC, 1991b). À la température la plus basse de l'échelle, plusieurs études indiquent que l'activation du système LP peut retarder la croissance des bactéries psychotrophes du lait et, ainsi, retarder la détérioration du lait pendant plusieurs jours par rapport à ce que l'on obtiendrait en recourant uniquement à la réfrigération.

Il est important de souligner que le but de l'utilisation du système LP n'est pas de rendre le lait plus sûr à la consommation mais de préserver sa qualité initiale. De bonnes pratiques d'hygiène dans la production du lait sont déterminantes pour l'efficacité du système LP et la qualité microbiologique du lait. La salubrité du lait n'est assurée qu'en associant de bonnes pratiques d'hygiène à un traitement thermique du lait, indépendamment du système LP. Les sections ci-après traitent de l'efficacité du système LP dans des conditions diverses et pour divers micro-organismes.

2.1 EFFICACITÉ DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE POUR PRÉVENIR L'ALTÉRATION DU LAIT CRU

a) Efficacité dans les conditions spécifiées dans les directives Codex

Les directives Codex se concentrent sur l'application du système LP pour la prévention de l'altération du lait cru (de vache ou de bufflesse) durant la collecte et le transport jusqu'à l'usine de transformation des produits laitiers lorsqu'il n'est pas possible d'avoir recours à une réfrigération adéquate. La directive est fondée sur un certain nombre de documents scientifiques datant de la fin des années 1970 expliquant les lignes directrices de la méthode et validant le principe (Björck, Claesson et Schulthess, 1979; Reiter et al., 1976; Björck, 1978).

Depuis l'adoption des directives Codex, un grand nombre de données sur l'efficacité du système LP ont été accumulées, fournies par des laboratoires et des études sur le terrain ou issues de l'expérience acquise dans certains pays concernant l'adoption à grande échelle du système dans la production commerciale de lait. Ont été présentés et examinés durant la réunion des rapports succincts montrant les résultats obtenus dans de nombreux pays, par exemple à Cuba, en Colombie, au Pérou, au Venezuela, au Cameroun, au Kenya, en Ouganda ou encore au Pakistan, couvrant ainsi une vaste gamme de différentes conditions de production (Björck, Claesson et Schulthess, 1979; Bibi et Bachmann, 1990; Ponce et al., 2005; Albujar, Ludena et Castillo, 2004; Siirtola, 2005; Fonteh, Grandison et Lewis, 2005). Dans l'ensemble, ces données confirment l'efficacité du système LP comme moyen de prévenir la détérioration du lait cru non réfrigéré dans le cadre défini dans les directives Codex, c'est-à-dire:

De bonnes pratiques d'hygiène pour la production du lait doivent être respectées afin de garantir une qualité microbiologique satisfaisante du lait cru (voir plus loin).

L'effet inhibiteur du traitement dépend de la température de stockage du lait soumis au système LP comme il est indiqué ci-après (Tableau 1):

Tableau 1: Augmentation de la conservabilité du lait par le système LP à différentes températures

| Température (oC) | Durée (heures) | Référence |
|------------------|----------------|--|
| 31-35 | 4-7 | Ponce <i>et al.</i> , 2005 |
| 30 | 7-8 | CAC, 1991b |
| 25 | 11-12 | CAC, 1991b |
| 20 | 16-17 | CAC, 1991b |
| 15 | 24-26 | CAC, 1991b |
| 4 | 5-6 jours | Zapico <i>et al.</i> , 1995; Lin et Chow, 2000 |

Il y a lieu de souligner que ces temps de retardement de la détérioration du lait n'ont qu'une valeur indicative car ils dépendent dans une grande mesure de la charge bactérienne initiale du lait (voir ci-dessous).

b) Efficacité dans des conditions ambiantes différentes

La dépendance de l'efficacité du système LP vis-à-vis de la température telle que montrée ci-dessus, et telle que déjà spécifiée dans les directives originales de la Commission du Codex Alimentarius (CAC, 1991b), montre qu'en ce qui concerne la prévention de la détérioration du lait cru, le système peut être un complément à la réfrigération. En d'autres termes, il peut compenser le manque de réfrigération chaque fois que cette dernière ne peut être assurée. Toutefois, l'efficacité du système LP persiste pendant une période limitée qui diminue à mesure que la température ambiante augmente. Cette dépendance de l'efficacité du système LP vis-à-vis de la température a été définie dans

une fourchette allant de 15 à 30°C dans les directives Codex originales. Néanmoins, les températures de stockage du lait peuvent dépasser 30°C durant la journée, et peuvent descendre en dessous de 15°C pendant la nuit dans certaines régions ne disposant d'aucuns moyens de réfrigération. Par conséquent, l'efficacité du système LP à des températures hors de la fourchette établie est un problème important.

La température est un des facteurs les plus importants influant sur la croissance microbienne. Le rôle de la réfrigération et de la chaîne du froid pour le maintien de la qualité et de la sécurité sanitaire du lait aussi bien cru que pasteurisé est bien reconnu. De nombreuses bactéries sont mésophiles, se développant le mieux à des températures comprises entre 30 et 40°C. Néanmoins, des bactéries psychrotrophes et psychrophiles peuvent se développer à de basses températures, quelques souches étant capables de survivre et de se développer à des températures diminuant jusqu'à 0°C. *Listeria monocytogenes* est un exemple de bactérie pathogène qui peut croître à des températures très basses. Néanmoins, dans des produits comme le lait qui a une microflore mixte, elle serait normalement dominée par les bactéries putréfiantes psychrotrophes telles que celles appartenant aux genres *Pseudomonas*, *Bacillus* et *Micrococcus*.

Quelques récentes études de terrain effectuées sur du lait cru traité au système LP et entreposé à 30–35°C ont mis en évidence une inhibition importante de la croissance microbienne pendant 4 à 7 heures (Ponce et al., 2005).

L'efficacité du système LP peut aussi être déterminante pour les problèmes de qualité microbienne et de sécurité sanitaire qui se posent lors de l'entreposage prolongé de lait cru en milieu réfrigéré. Les problèmes actuels concernant le stockage à basse température intègrent la formation de protéases stables à la chaleur par *Pseudomonas* spp. psychrotrophes telles que *Listeria monocytogenes* et quelques *Bacillus cereus* spp.. A l'extrémité de la fourchette des températures, plusieurs études indiquent que l'activation du système LP peut retarder le développement de bactéries psychrotrophes du lait et, ce faisant, retarder l'altération du lait pendant plusieurs jours par rapport à ce qui se produit en recourant uniquement à la réfrigération. Ainsi, selon des études effectuées à Taiwan, il est possible de prolonger de six jours la période d'entreposage sans détérioration du lait cru à 4°C après activation du système LP (Lin et Chow, 2000). Une autre étude a montré que le système LP a empêché le développement des psychrotrophes *Pseudomonas fluorescens* pendant cinq jours à 4°C et pendant trois jours à 8°C (Zapico et al., 1995). Un tableau récapitulatif comparant le système LP, la réfrigération et la combinaison système LP- réfrigération figure à l'Annexe C.

c) Efficacité dans le lait de différentes espèces (vache, bufflesse, brebis, chèvre et chamelle)

L'enzyme lactoperoxydase est présente dans le lait de tous les mammifères. Quoiqu'on observe des variations au niveau de l'espèce et même au niveau de chaque animal (Fonteh, Grandison et Lewis, 2002), les concentrations de l'enzyme dans les laits des-

tinés à la consommation humaine ne sont pas considérées comme un facteur limitant l'efficacité du système LP. En général, d'après les études effectuées, les combinaisons durée/température telles que mise en évidence pour le lait de vache et de bufflesse peuvent aussi être appliquées au lait de chèvre et de brebis. Quant au lait de chamelle, l'activation du système LP peut produire un effet bactériostatique plus long que dans le lait de vache en raison de la présence de fortes doses d'autres composés antimicrobiens indigènes (Ramet, 2001). On dispose de moins d'informations sur le lait d'autres espèces.

d) Efficacité par rapport aux principes de production du lait dans de bonnes conditions d'hygiène

Les directives Codex stipulent que *«Etant donné l'effet principalement bactériostatique qu'a le système, il n'est pas possible de se servir de la méthode pour dissimuler la qualité insuffisante d'un lait qui, au départ, contenait une population bactérienne élevée»* et que *«Le recours à la méthode de lactoperoxydase ne permet pas d'éviter la nécessité de pasteuriser le lait préalablement à la consommation par l'être humain. Il ne permet pas non plus de se passer des précautions ni des procédés auxquels on a normalement recours en vue d'assurer au lait cru un degré d'hygiène élevé »* (CAC, 1991b).

Les études microbiologiques menées ces dix à quinze dernières années corroborent cette opinion. Invariablement, on constate que l'efficacité antibactérienne du système LP est inversement corrélée à la densité des cellules bactériennes. L'efficacité antibactérienne du système LP est faible à de fortes concentrations de bactéries, principalement bactériostatique à des concentrations moyennes et principalement bactéricide à de faibles concentrations. Cela découle à la fois d'observations en laboratoire avec des cultures pures de bactéries pathogènes ou saprophytes en suspension dans des solutions tampons ou des bouillons de culture (El-Shenawy, Garcia et Marth, 1990; Garcia-Graells et al., 2003), et d'études de terrain avec un lait possédant une microflore mixte naturelle (Ponce, 2005; Albuja, Ludena et Castillo, 2005). Il s'ensuit que l'adoption de bonnes pratiques d'hygiène est déterminante pour son l'efficacité du système LP est notamment la protection de la bonne qualité bactériologique du lait. A cet égard, l'utilisation du système LP pour préserver la qualité du lait avant la pasteurisation ne diffère pas de l'utilisation de la réfrigération dans la même intention. Il est important de souligner que le but des deux méthodes est d'empêcher la détérioration (microbiologique) du lait après la traite et avant la pasteurisation, et non pas de rendre le lait plus salubre pour la consommation, ce que l'on obtient par la pasteurisation ultérieure du lait.

2.2 EFFICACITÉ DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE CONTRE LES MICROORGANISMES PATHOGÈNES

L'activité antimicrobienne du système LP dans le lait, le petit lait et les milieux synthétiques a été démontrée contre une gamme étendue de microorganismes, y compris les bactéries, le virus VIH-1 les moisissures, les levures, les mycoplasmes e les

protozoaires (pour des études voir Korhonen, 1980; Reiter et Härnuly, 1984; IDF, 1991; Wolfson et Sumner, 1993; Stadhouders et Beumer, 1994; de Wit et van Hooijdonk, 1996; van Hooijdonk, Kussendrager et Steijns, 2000; Seifu, Buys et Donkin, 2005). Ces microorganismes englobent des cultures de démarrage non pathogènes, des bactéries putréfiantes ainsi que des organismes pathogènes qui causent des infections gastro-intestinales chez l'homme et des infections du pis chez la vache. Toutefois, on a observé des différences considérables dans la sensibilité des différentes bactéries au système LP. Selon l'espèce de bactérie ou même la souche de l'organisme, l'effet peut être soit bactéricide soit bactériostatique même dans des conditions identiques. On a constaté que le système LP est moins efficace contre certains streptocoques et lactocoques non pathogènes.

On peut expliquer les variations dans la sensibilité entre les souches par la structure différente des parois des cellules et des composés inhibiteurs produits par les organismes concernés. Les bactéries lactiques, par exemple, sont déficitaires en enzyme catalase, et de nombreuses espèces produisent métaboliquement du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), qui s'accumule dans le milieu de croissance. Le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 peut activer le système LP et conduire à une auto inhibition de la croissance bactérienne. De nombreux ferments lactiques sont sensibles au système LP, et si certains rapports indiquent une interférence avec les processus de fermentation (Wright et Tramer, 1958; De Valdez, Bibi et Bachmann, 1988; Seifu, Buys et Donkin, 2003), l'impact n'est pas important. Cette question est aussi abordée à la section 4.4. La plupart des bactéries gram-négatives possèdent l'enzyme catalase, qui décompose tout le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 généré. Ces bactéries, par conséquent, ne sont pas autos inhibées dans le lait suite à l'application du système LP, d'autant plus que pour activer le système, le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 doit provenir d'une source exogène, comme par exemple l'addition de percarbonate de sodium. Dans ces conditions, les bactéries pathogènes et putréfiantes gram-négatives peuvent être tuées ou leur croissance peut être stoppée pendant un certain temps (Reiter et al., 1976; Sandholm et al., 1988; Dionysius, Grieve and Vos, 1992).

Un certain nombre d'études ont été conduites sur l'impact du système LP sur certains des pathogènes les plus communs et d'autres microorganismes présents dans le lait à l'origine d'infections chez l'homme et les animaux domestiques. Certaines relatives aux pathogènes communs présents dans le lait, à savoir *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* et *Brucella melitensis* sont résumées au tableau 2. Dans diverses études expérimentales, l'effet bactériostatique ou bactéricide du système LP a été démontré sur plusieurs autres microorganismes pathogènes connus chez l'homme, tels que *Streptococcus mutans* (Carlsson, Iwami et Yamada, 1983), *Aeromonas hydrophila* (Santos et al., 1995), *Candida albicans* (Lenander-Lumikari, 1992) et *Helicobacter pylori* (Shin et al., 2002). Par ailleurs, il a été démontré que le système LP inhibe l'activité enzymatique transcriptase inverse du virus VIH-1 (Wang, Ye et Ng, 2000). En outre, une étude récente de Armenteros et al., (2005) a montré que l'activation du système LP dans

le lait cru n'intensifie pas la présence d'agents anthropopathogènes dont *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus* et *S. Typhimurium* lorsqu'il est introduit dans le lait cru dans des conditions de laboratoire.

Le système LP est considéré comme l'un des mécanismes de défense naturelle du corps contre les infections microbiennes. On a pu observer des concentrations accrues d'ions lactoperoxydase et thiocyanate dans le lait provenant de vaches atteintes de mammite par rapport au lait provenant d'animaux sains. En général, il en est de même pour d'autres importants agents antimicrobiens présents dans le lait, par exemple, les gammaglobulines, la lactoferrine, le lysozyme et les phagocytes (Korhonen et al., 1977; Reiter, 1978; Reiter, 1985; Reiter et Perraudin, 1991; Korhonen, 2002). Il a été démontré que le système LP est bactéricide ou bactériostatique in vitro contre de nombreux microorganismes qui provoquent des infections du pis, par exemple *E. coli*, *S. aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus dysgalactiae*, *Streptococcus uberis* et *Pseudomonas aeruginosa* (Mickelson, 1966; Reiter et al., 1976; Marshall, Cole et Bramley, 1986; Sandholm et al., 1988). Bon nombre de ces bactéries présentent également un risque potentiel pour la santé humaine. Certaines données expérimentales indiquent que le système LP n'est pas aussi efficace dans le lait provenant d'animaux atteints de mammite que dans le lait provenant de vaches saines en raison de la forte concentration d'agents réducteurs et de l'activité plus forte de l'enzyme catalase présente dans le lait provenant d'animaux atteints de mammite (Sandholm et al., 1988). On ne signale à ce jour aucune étude sur l'activité antibactérienne du système LP contre des organismes provoquant la mammite résistante aux antibiotiques ou des staphylocoques à coagulase négative. Ces organismes sont fréquemment isolés des pis atteints de mammite.

Tableau 2: Résumé des études de l'impact du système LP sur certains pathogènes communément présents dans le lait

| Pathogène | Effet du système LP | Démonstré dans | Référence |
|--|---|--|--|
| <i>Escherichia coli</i> , compris <i>E. coli</i> O157:H7 | Bactéricide | Le lait de vache cru, les solutions tampon et les milieux synthétiques Chez les veaux et porcelets infectés | Reiter <i>et al.</i> , 1976; Reiter, Marshall et Philips, 1980; Earnshaw <i>et al.</i> , 1990; Farrag, El-Gazzar et Marth, 1992a; Grieve, Dionysius et Vos, 1992; Zapico <i>et al.</i> , 1995; |
| | Réduction du taux de colonisation gastro-intestinal de bactéries coliformes Bactériostatique | Le lait cru de vache, de chèvre et de chamelle, les milieux de culture et les préparations pour nourrissons | Kangumba, Venter and Coetzer, 1997; Heuvelink <i>et al.</i> , 1998; Bosch, van Doormen et De Vries, 2000; Seifu, Donkin et Buys, 2004 |
| <i>Salmonella</i> Typhimurium | <i>Salmonella typhi</i> , autres <i>Salmonella</i> spp. Bactéricide et bactériostatique (selon le nombre d'organismes) | Le lait cru | Reiter <i>et al.</i> , 1976; Purdy <i>et al.</i> , 1983; Earnshaw <i>et al.</i> , 1990; Pitt, Harden et Hull, 2000 |
| <i>Salmonella typhi</i> , autres <i>Salmonella</i> spp. | Bactéricide | Les milieux de culture, les préparations pour nourrissons et le fromage frais | |
| <i>Campylobacter jejuni</i> (diverses souches) | Bactéricide | Le lait de vache | Borch <i>et al.</i> , 1989; Beumer <i>et al.</i> , 1985 |
| <i>Staphylococcus aureus</i> (plusieurs souches) | Bactéricide et bactériostatique | Le lait de vache, de chèvre et de chamelle | Kamau, Doores et Pruitt, 1990; El-Agamy <i>et al.</i> , 1992; Kangumba, Venter et Coetzer, 1997; Pitt, Harden et Hull, 2000; Seifu, Donkin et Buys, 2004 |
| <i>Listeria monocytogenes</i> (plusieurs souches) | Bactéricide et bactériostatique (l'activité dépend de la température, de la durée de l'incubation et de la souche) | Le lait cru de vache et de chèvre, le lait UHT, le fromage à pâte molle et dans les milieux synthétiques | Dennis et Ramet, 1989; Siragusa et Johnson, 1989; Bibi et Bachmann, 1990; El-Shenawy, Garcia et Marth, 1990; Gaya, Medina et Nuñez, 1991; Zapico <i>et al.</i> , 1993; Pitt, Harden et Hull, 1999; Seifu, Donkin et Buys, 2004; Gay et Amgar, 2005 |
| <i>Yersinia enterocolitica</i> | Bactéricide | Lait de vache | Beumer <i>et al.</i> , 1985; Farrag, El-Gazzar et Marth, 1992b |
| <i>Brucella melitensis</i> | Bactéricide | Lait de chèvre | Seifu, Donkin et Buys, 2004; |

2.3 CONSÉQUENCES POSSIBLES DE L'UTILISATION À LONG TERME DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE SUR SON EFFICACITÉ ANTIMICROBIENNE

L'on s'est demandé si l'utilisation à long terme du système LP pourrait présenter des risques microbiologiques, par exemple la formation de bactéries résistantes au système LP et aux antibiotiques ou encore de bactéries productrices de toxines.

Selon certaines études, l'efficacité du système LP pourrait pâtir de la présence dans le lait de certains antibiotiques utilisés dans le traitement de la mammites (Ali-Vehmas, Vikerpuur et Sandholm, 1994). Des mutants de *Escherichia coli* dont la tolérance au système LP augmente ont été récemment isolés en laboratoire et caractérisés (De Spiegeleer et al., 2005). Pour une catégorie de ces mutants (*waaQ* and *waaO*), la tolérance au système LP a été liée à une déficience dans le polysaccharide du noyau externe des lipopolysaccharides, qui entraîne une réduction de la perméabilité de la membrane externe pour l'anion hypothyocyanate (OSCN-) due à une teneur réduite en porine dans la membrane externe. Ce type de mutation provoque également une légère résistance à quelques pénicillines (Nikaido, 2003). Toutefois, les mutants tolérant le système LP n'ont jamais été isolés du lait traité au LP, ce qui pourrait être dû à une adaptabilité réduite dans ces conditions. Par exemple, la mutation *waaQ* mentionnée ci-dessus provoque un phénotype soi-disant rude, qui est aussi associé à une sensibilité à la lactoferrine et au lysozyme, deux autres facteurs antimicrobiens importants dans le lait. Ainsi, selon les données disponibles, l'adoption du système LP ne risque guère de stimuler le développement d'une résistance au système LP lui-même ou aux microorganismes résistants aux antibiotiques. Néanmoins, comme avec tous les systèmes antimicrobiens et compte tenu de la capacité d'adaptation des microorganismes, les experts ont jugé que la surveillance et la recherche en cours dans ce domaine sont justifiées.

2.4 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le système LP déclenche l'activité antimicrobienne contre une grande variété de microorganismes saprophytes et pathogènes du lait, y compris les bactéries, les virus, les moisissures, les levures, les mycoplasmes et les protozoaires. L'activité générale est avant tout bactériostatique³, dépendant de la charge bactérienne totale initiale, des espèces et des souches de bactéries contaminantes et de la température du lait. Si son efficacité contre les microorganismes saprophytes et pathogènes est bien connue, d'autres études seraient utiles sur l'efficacité du système LP contre les virus présents dans le lait et les microorganismes pathogènes émergents.

Le système LP activé est efficace dans le lait cru provenant de différentes espèces et les études effectuées indiquent aussi que la même combinaison durée-température telle que soulignée dans les directives Codex (CAC, 1991b) peut être appliquée au lait de chèvre et de brebis.

³ Le système LP est classé comme "microbiostatique" dans le Code d'usages du Codex pour le lait et les produits laitiers (CAC/RCP/57 - 2004) (CAC, 2004b).

Le système LP ne favorise pas la croissance de microorganismes pathogènes une fois terminé l'effet bactériostatique et il n'y a aucune preuve que l'utilisation à long terme de ce système puisse présenter des risques microbiologiques quels qu'ils soient, par exemple la formation ou l'accumulation de bactéries productrices de toxines.

Dans la pratique, le système LP ne peut être utilisé pour dissimuler la mauvaise qualité microbiologique du lait. De bonnes mesures d'hygiène appliquées durant la production du lait sont déterminantes pour l'efficacité du système.

Le système LP est efficace dans le lait cru réfrigéré. Des études expérimentales et sur le terrain ont démontré que le système LP activé permet d'augmenter la conservabilité du lait cru jusqu'à 5-6 jours dans le lait réfrigéré (+4°C) et jusqu'à 4 à 7 heures à des températures ambiantes élevées (de 31 à 35°C).

L'application du système LP ne risque guère de stimuler le développement d'une résistance au système LP lui-même ou à d'autres agents antimicrobiens, mais étant donné la nature dynamique des microorganismes, il serait bon de surveiller de près la situation.

Compte tenu de ce qui précède, les experts ont recommandé ce qui suit:

- Lorsque la réfrigération n'est pas techniquement réalisable ni économiquement viable, le système LP devrait être appliqué au lait cru pour stopper la prolifération des microorganismes saprophytes et pathogènes.
- L'application du système LP devrait être considérée comme partie intégrante d'un programme visant à améliorer l'hygiène et la salubrité du lait tout au long de la chaîne du lait, en raison de son effet bactériostatique.
- Il faudrait tenir compte de l'application du système LP pour compléter le refroidissement afin d'augmenter la conservabilité du lait.
- Le Codex devrait envisager d'élargir la directive pour l'application du système LP en ce qui concerne la température d'application pour inclure également la fourchette de températures allant de 31 à 35°C pendant 4 à 7 heures et jusqu'à 4°C pendant 5 ou 6 jours.
- Il conviendrait de surveiller le développement de la résistance pour détecter la formation de tout microorganisme résistant.

3. Sante et nutrition humaines

Le lait joue un rôle nutritionnel important dans l'alimentation, en particulier chez les enfants durant la croissance, partout dans le monde et pas seulement dans les pays en développement. Il constitue une source importante de protéines, de calcium, de phosphore, de magnésium et de vitamines liposolubles et peut contribuer pour une bonne part à l'assimilation de certaines autres vitamines et sels minéraux, y compris l'iode. Le lait peut aussi apporter un supplément en nutriments comme les vitamines A et D (OMS, sous presse). Le lactose dans le lait contribue à réguler la pression osmotique, mais il pourrait aussi avoir un autre rôle, celui de faciliter l'absorption du calcium chez les nourrissons (Abrams, Griffin et Davila, 2002; Garrow, James et Ralph, 2000).

Il y a une corrélation négative entre la consommation de lait et la morbidité et la mortalité dues à des maladies infantiles et, à cet égard, les programmes de distribution de lait dans les écoles ont été efficaces, améliorant la santé et l'état nutritionnel des enfants (Scrimshaw et San Giovanni, 1997).

Si l'intolérance au lactose peut limiter les quantités de lait pouvant être consommées sans effets négatifs par quelques individus ou populations, une tasse de lait par jour (environ 200 ml) est généralement tolérée. En outre, le lactose sert de substrat dans les produits laitiers acidifiés ou fermentés, causant une réduction des concentrations dans ces produits où la fermentation des levures provoque une hydrolyse du lactose par la β -galactosidase microbienne. Considérant le rôle important du lait dans la nutrition et la santé humaines, cette section étudie l'impact de l'application du système LP pour la conservation du lait cru du point de vue de la santé et de l'alimentation publiques.

3.1 LE SYSTÈME LACTOPEROXYDASE DANS SON CONTEXTE

Le système LP se distingue des autres méthodes de conservation uniquement en ce qu'il représente un système de protection naturel dans la biologie des animaux. Il fonctionne comme un mécanisme antimicrobien protecteur dans le tissu muqueux, y compris dans la cavité buccale et les poumons (Tenovuo, 2002; Geiszt et al., 2003). A ce propos, le système LP n'introduit dans le lait que des substances qui sont des métabolites humains normaux.

Le système LP peut être appliqué pour réduire l'altération du lait là où il n'est pas possible de procéder immédiatement à la réfrigération. Toutefois, l'utilisation du système LP n'est pas exclusive et peut être associée à celle d'autres méthodes (par exemple, la réfrigération) afin de réduire les pertes de lait sur le marché tant formel qu'informel. A sa trente-cinquième session, le JECFA a été limité dans son évaluation de l'emploi du

système LP dans le lait (voir ci-dessous) à la fois par son mandat qui ne portait que sur l'application du système « *lorsque la réfrigération est pratiquement impossible* », et par les directives rédigées par le Comité mixte FAO/OMS d'experts gouvernementaux sur le Code de principes concernant le lait et les produits laitiers. Les questions de sécurité concernant l'application sur une plus vaste échelle du système LP en combinaison avec d'autres méthodes pour le contrôle de la détérioration, y compris la réfrigération, n'ont pas été traitées à ce moment-là.

3.2 PROBLÈMES DE SANTÉ POTENTIELS ASSOCIÉS À L'UTILISATION DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE: ASPECTS TOXICOLOGIQUES

Comme il a été noté précédemment, les composants ou métabolites du système LP, à savoir la lactoperoxydase, l'ion thiocyanate et l'hypothiocyanate ont été détectés dans les tissus et sécrétions animaux et humains, y compris le lait. Les quantités de peroxyde d'hydrogène introduites dans le lait par le percarbonate de sodium sont plus faibles que celles considérées auparavant acceptables par le JECFA à sa vingt-quatrième session (OMS, 1980) et ne sont donc pas préoccupantes.

L'utilisation du système LP ne nécessite pas l'addition de lactoperoxydase à des concentrations supérieures à celles de l'enzyme présente dans le lait cru. Du fait que les concentrations de l'enzyme naturellement présentes dans le lait ne sont pas modifiées, ce composant n'est pas considéré comme important sur le plan toxicologique.

L'hypothiocyanate a été détecté dans la salive humaine (Thomas, Bates et Jefferson, 1980) et a une demi-vie très brève dans le lait, de sorte que les doses résiduelles dans le lait traité au système LP ne présentent pas de risques toxicologiques. Les produits de dégradation sont considérés inoffensifs.

Lors de l'évaluation précédente, à sa trente-cinquième session en 1990, le JECFA a conclu que « *dans les conditions d'utilisation décrites dans le projet de directive, le système lactoperoxydase ne présente pas de danger toxicologique et, en outre, que le système devrait être utilisé de préférence au peroxyde d'hydrogène seul pour la conservation du lait cru, bien que seulement si cela est absolument nécessaire, c'est-à-dire en l'absence d'installations de réfrigération adéquates* ». Depuis l'évaluation précédente du JECFA, très peu de données ont été fournies sur la toxicologie du thiocyanate.

Le groupe d'experts a étudié l'effet toxique potentiel du thiocyanate, qui, a-t-on jugé, interfère avec le métabolisme de l'iode et son absorption par la thyroïde (OMS, 1990). Le mode d'action de l'effet goitrigène consiste en une inhibition compétitive de l'oxydation de l'iode et de la tyrosine conduisant à des niveaux de thyroxine plus faibles (T4) et à une inhibition de l'absorption par la thyroïde. Toutefois, cet effet se produit à des concentrations de thiocyanate relativement fortes dans le plasma (60–80 micromolaires ou 4,8–6,4 milligrammes/litre) alors qu'à des concentrations plus faibles (0,5–1,0 μ molaires) il y a un effet stimulateur par interaction avec la peroxydase de la thyroïde (Green, 1978).

A de fortes concentrations de thiocyanate dans le plasma, la présence d'une excrétion accrue d'iode et d'une absorption réduite par la glande thyroïde aboutit à un rapport d'excrétion thiocyanate/iode (SCN/I) faible. Il semble que si ce rapport dépasse trois, le goitre endémique apparaît (Delange et Ahluwalia, 1983). Ce phénomène ne peut se produire que si la dose d'iode est inférieure à environ 100 microgrammes par jour. Quand le rapport SCN/I est inférieur à deux, il existe un risque pour la fonction cognitive et la croissance (Erman et al., 1983). Un faible rapport conduit à des quantités anormales de l'hormone stimulant la thyroïde (TSH) et à de petites quantités de thyroxine (T4). Ayan-gade, Oyelola et Oke (1982) ont constaté que, chez les femmes enceintes, le niveau de thiocyanate dans le sang du cordon ombilical était proportionnel à celui du thiocyanate dans le sérum maternel, indiquant que le thiocyanate peut traverser la barrière placentaire et affecter le fœtus. Toutefois, il y a très peu de thiocyanate dans le lait maternel, ce qui indique que les glandes mammaires ne concentrent pas le thiocyanate et les enfants nourris au sein ne sont ainsi pas affectés.

Dans ce contexte, selon les études cliniques sur le thiocyanate de sodium présent dans le lait, les effets négatifs sur le métabolisme de l'iode n'ont été observés qu'à des concentrations de 200–400 milligrammes/litre (Vilkki et Piironen, 1962). En outre, dans des études menées chez des individus dont la glande thyroïde fonctionne normalement, la consommation quotidienne de 8 milligrammes de thiocyanate dans le lait pendant 12 semaines n'a produit aucun effet significatif sur la fonction thyroïdienne (T4, T3 ; TSH) (Dahlberg et al., 1984) bien que le taux ait augmenté dans le sérum et dans l'urine. Par contre, le groupe qui consomme (on le présume) chaque jour du lait contenant environ 45 milligrammes /litre affichait des taux sériques plus élevés de T4 et moins élevés de T3 et TSH qu'un groupe témoin (Banerjee et al., 1997). Il y a lieu de noter que cette dernière étude a été publiée uniquement sous la forme d'une brève communication et que son contenu n'a pas permis au groupe de procéder à une évaluation critique.

On peut conclure de ce qui précède que les groupes qui courent probablement le plus grand risque en étant exposés au thiocyanate sont les sujets souffrant de carence en iode. Néanmoins, dans une étude sur des adultes souffrant de carence en iode qui ont consommé du lait contenant 19 milligrammes de thiocyanate/litre (témoins 3,6 milligrammes/litre) soit une ingestion journalière supplémentaire de 4,75 milligrammes, on n'a pas relevé d'effet apparent sur la fonction thyroïdienne (Dahlberg et al., 1985). Le lait utilisé dans cette étude contenait de l'iode à une concentration de 100 microgrammes/litre.

Il n'y avait pas de données expérimentales disponibles sur les effets du thiocyanate alimentaire sur la fonction reproductive ou sur la génotoxicité du thiocyanate. Les concentrations de thiocyanate dans le plasma peuvent atteindre 100 milligrammes/litre durant la thérapie au nitroprussiate sodique, mais la toxicité se manifeste souvent à des concentrations supérieures à 120 milligrammes/litre. Des taux de l'ordre de 200 milligrammes/litre dans le plasma ont été signalés dans des accidents mortels.

Un bio-essai d'une durée de deux ans relatif à la toxicité chronique/cancérogénicité du thiocyanate de sodium seul ou en association avec le nitrite de sodium a été effectué sur des rats F344. On a fait ingérer aux animaux du thiocyanate de sodium à raison de 3,2 grammes/litre dans l'eau de boisson. Les résultats de cette étude ont porté à conclure que le thiocyanate de sodium n'est pas cancérogène chez les rats (Lijinsky et Kovatch, 1989).

Les symptômes cliniques apparents de carence en iode durant la grossesse tels qu'ils se manifestent dans le développement du fœtus et la croissance des enfants sont connus depuis plus de quatre vingt ans. Ceux-ci comprennent la mortinatalité, l'avortement et les anomalies congénitales (Hetzl, 1983; Mastovinic, 1983). Ces dernières années, la recherche a révélé que les carences en iode durant la grossesse, même en l'absence de symptômes évidents chez la mère, peuvent avoir un effet sur la croissance de l'enfant, par exemple des déficits auditifs (Wang et Yang, 1985).

Les niveaux normaux de thiocyanate dans le lait dépendent des niveaux de thiocyanate et de ses précurseurs dans l'alimentation des animaux, y compris les thioglucosides (glucosinolates) et les glucosides cyanogénétiques. Les concentrations varieraient entre 2,3 et 35 milligrammes/litre dans le lait provenant de vaches individuelles et seraient d'environ 8 milligrammes/litre dans le lait en vrac (Ponce et al., 2005). On a observé des concentrations plus élevées dans le colostrum et le lait d'animaux atteints de mammite. Des résultats similaires ont été obtenus pour le lait de vache (6–12 milligrammes/litre; moyenne 8,5 milligrammes/litre) et le lait de chèvre (6,6–8 milligrammes/litre; moyenne 7 milligrammes/litre) (Fonteh, Grandison et Lewis, 2002). Lorsqu'il est utilisé selon les directives Codex, le niveau de supplémentation du thiocyanate de sodium pour activer le système LP est de 10–15 milligrammes/litre de sorte que les niveaux globaux dans le lait en vrac activé seraient de l'ordre de 20 milligrammes/litre, soit 10 à 20 fois inférieurs à ceux signalés pour produire les effets détectés sur le métabolisme de l'iode. Une étude des concentrations de thiocyanate dans des mélanges de lait conduite dans des circonstances pratiques dans des pays tropicaux américains indique qu'elles oscillent entre 5,8 et 8,12 milligrammes/litre, bien que les niveaux dans le lait des vaches individuelles varient largement, allant de 2,9 à 34,8 milligrammes/litre. C'est pourquoi la teneur totale en thiocyanate, une fois que le système LP est activé dans un mélange de lait, ne dépasse pas la concentration maximale naturelle dans tout lait de vache particulier (Ponce et al., 2005). Des preuves des effets indésirables n'ont pas été observées dans les populations qui consomment du lait activé avec le système LP pendant plus de 10 ans (Fernandez, Marrero et Capdevila, 2005).

On trouve du thiocyanate dans les tissus et les fluides animaux et humains où il fait partie du système immunitaire (par exemple, forte présence dans les colostrums et dans le lait des vaches atteintes de mammite) et est un métabolite du processus de détoxification des glucosides cyanogénétiques. Le thiocyanate est aussi présent dans les aliments d'origine végétale et il se forme dans le corps humain ou animal à

partir de substances présentes dans les plantes telles que les glucosinolates (dans le genre Brassica, à une moyenne de 100 milligrammes/kilogramme) ou les glucosides cyanogénétiques. On trouve du thiocyanate dans les haricots de lima crus (100–3100 milligrammes/kilogramme), les tubercules de manioc crus (10–462 milligrammes/kilogramme), les feuilles de manioc crues (68–468 milligrammes/kilogramme), la racine de manioc séchée (2450 milligrammes/kilogramme), les amandes (6.2 milligrammes HCN/amande amère), les pousses de bambou (8000 milligrammes/kilogramme), les fruits à noyau et le sorgho (2500 milligrammes/kilogramme) (FAO, 1990). Les cyanures se décomposent rapidement à la chaleur, et les aliments cuits ne contiennent que peu ou pas du tout de cyanure, par exemple les tubercules de manioc cuits affichaient 1-10 milligrammes/kilogramme selon la méthode de cuisson utilisée et la teneur initiale. Les glucosinolates et les produits de dégradation des glucosinolates sont hydrophiles, et jusqu'à 63% du glucosinolate présent dans un légume peut passer dans l'eau de cuisson durant l'ébullition (OMS, 1993).

L'ingestion supplémentaire de thiocyanate de sodium contenu dans une tasse (200 ml) de lait traité au système LP correspondrait à 3 milligrammes de thiocyanate de sodium qui est aussi présent dans 30 grammes de chou cru, 1 gramme de haricot de lima cru ou 8 grammes de tubercule de manioc cru. Lorsque l'on applique l'apport alimentaire des 13 régimes alimentaires régionaux de GEMS/Food (Voir Annexe D), l'exposition au thiocyanate de sodium se situerait dans la fourchette 2,8 – 9,5 milligrammes/jour. Si tout le lait était soumis au système LP, l'exposition augmenterait, passant de 5,9 à 21,2 milligrammes/jour.

Le thiocyanate présenterait le risque le plus élevé chez les nourrissons à cause du besoin élevé d'énergie par kilogramme de poids corporel et du régime mono-alimentaire. Ainsi, chez un nourrisson pesant 10 kilogrammes, 500 millilitres de lait traité au système LP signifierait 1 milligramme/kilogramme de poids corporel de thiocyanate de sodium comparé à 0,3 milligramme/kilogramme de poids corporel avec du lait non traité. La dose LD50 de thiocyanate de sodium administré oralement chez les rats, correspondante à une mesure de toxicité aiguë, serait de 764 milligrammes/kilogramme de poids corporel (FAO/OMS, 1965). Il est clair que la toxicité aiguë n'est pas un aspect important de l'exposition par le lait traité au système LP.

Chez les non-fumeurs, les concentrations de thiocyanate dans le plasma vont de 0,1 à 0,4 milligrammes/litre, tandis que chez les gros fumeurs, les concentrations vont en général de 5 à 20 milligrammes/litre (OMS, 1995). Le thiocyanate est concentré dans d'autres fluides du corps humain, notamment la salive et le suc gastrique, où les concentrations s'établissent le plus souvent entre 10 et 300 milligrammes/litre (Björck, Claesson et Schulthess, 1979; Korhonen, 1980; Reiter et Härnulf, 1984; Farrag et Marth, 1992, Food Standards Australia and New Zealand, 2002).

3.3 EFFETS NUTRITIONNELS

Le système LP réduit les pertes de lait par la détérioration microbienne et peut ainsi augmenter le volume de lait disponible en tant que composante nutritionnelle importante du régime alimentaire. Bien que le traitement au système LP puisse réduire les niveaux de folate dans le lait, celui-ci n'est pas considéré comme une source alimentaire importante de folate et l'impact alimentaire global est considéré négligeable.

3.4 EFFETS SUR LES PATHOGENES PRÉSENTS DANS LE LAIT

Bien que le système LP puisse être efficace jusqu'à un certain point contre certains pathogènes, il ne devrait pas être considéré comme pouvant remplacer la pasteurisation à cet égard. Les effets sur un certain nombre de pathogènes sont traités plus en détail à la section 2. Il n'y a pas de données disponibles sur les effets du système LP sur les virus présents dans le lait, bien que des recherches aient été entreprises sur l'impact du système LP sur le VIH-1 (Wang, Ye et Ng, 2000).

3.5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Dans l'ensemble, les experts ont estimé que le système LP est une méthode sans danger pour prévenir les pertes de lait attribuables à une détérioration microbienne lorsqu'il est appliqué conformément aux directives (et dans une fourchette de températures étendue comme il est recommandé au point 2.5) soit seul, soit associé à d'autres procédés approuvés.

Ils ont conclu que les avantages du système LP découlent principalement du fait qu'il réduit sensiblement les pertes de lait par détérioration et, de ce fait, améliore la disponibilité en lait en tant que bonne source de nutriments dans le régime alimentaire et est donc profitable pour les producteurs comme pour les consommateurs.

Le lait améliore la santé et réduit la morbidité et la mortalité causées par des maladies infantiles. Par conséquent, l'application du système LP pourrait être considérée comme partie d'un système visant à améliorer la santé publique en augmentant la disponibilité et la sécurité sanitaire du lait.

S'appuyant sur l'information scientifique disponible, les experts ont conclu qu'aucun des composants du système LP ne présente un risque toxicologique important pour la santé publique aux concentrations proposées. Néanmoins, là où la carence en iode est courante, des mesures de santé publique s'imposent pour remédier à la carence en iode, que le système LP soit utilisé ou non.

L'évaluation permet de conclure que le système LP est une méthode sans danger de conservation du lait cru lorsqu'il est appliqué conformément aux directives établies (dans une fourchette de températures étendue comme il est recommandé au point 2.5); il permet de réduire les pertes de lait, ce qui représente un gros avantage, tant pour les

producteurs que pour les consommateurs.

Compte tenu de ce qui précède, les experts ont recommandé ce qui suit:

- Le système LP doit être considéré sans danger lorsqu'il est utilisé conformément aux directives Codex, dans des situations où, pour des raisons techniques, économiques et/ou pratiques, il n'est pas possible d'utiliser des installations de refroidissement, et il doit être appliqué dans le cadre d'un programme intégré visant à améliorer la production et la qualité du lait.
- La consommation de lait doit être encouragée en raison de sa valeur nutritive sur le plan de l'alimentation humaine, pour un développement sain et une bonne croissance.
- Il faut prendre des mesures pour remédier à la carence en iode dans les zones d'endémie goitreuse déclarées, accompagnées par une surveillance appropriée de sa prévalence. On a fait observer que le lait pourrait être aussi une source précieuse d'iode, à condition que le régime alimentaire des animaux laitiers en contienne une quantité suffisante.

4. Transformation et technologie

Le lait est, de l'avis général, un aliment très nutritif et une source précieuse de vitamines et de sels minéraux. Il s'agit néanmoins d'une denrée très périssable qui à l'état cru, présente une durée de conservation relativement brève. Il existe de nombreux procédés pour prolonger la durée de conservation du lait et des produits laitiers et un nombre croissant de technologies qui peuvent être appliquées pour améliorer la sécurité sanitaire et la qualité du lait.

Si la réfrigération et le traitement thermique du lait cru sont aussi très efficaces et largement utilisés pour prolonger la durée de conservation du lait, on applique aussi des traitements physiques plus avancés comme la microfiltration et le traitement par haute pression. Le coût de ces méthodes et des technologies associées est relativement élevé par rapport à la combinaison chauffage-refroidissement comme le processus de pasteurisation (haute température brève durée ou basse température longue durée). En outre, dans de nombreuses zones rurales, même le coût du refroidissement reste prohibitif. Le système LP ne saurait remplacer un traitement thermique adéquat, qui tue les bactéries dangereuses, mais permet d'augmenter la qualité et la quantité de lait cru disponible pour la transformation ultérieure en produits laitiers.

Le système LP fait partie des familles en expansion de biostatiques qui peuvent avoir des effets bénéfiques dans le traitement du lait en prolongeant sa durée de conservation et en améliorant la qualité du lait ramassé ou conservé. Cette section porte sur l'activation/inactivation du système LP et examine les risques et les avantages potentiels du système.

4.1 MÉTHODES D'ACTIVATION DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE

Addition de thiocyanate/peroxyde

Les ions thiocyanate, sous la forme de sels (de Sodium ou de Potassium) constituent le substrat pour le système lactoperoxydase et sont normalement ajoutés au lait à une concentration d'environ 14 milligrammes/litre, cependant des ajustements sont possibles en fonction de la variation des taux de ces ions dans le lait. On procède ensuite à l'adjonction de peroxyde, sous la forme soit de peroxyde d'hydrogène soit de percarbonate de sodium.

Le peroxyde d'hydrogène serait ajouté à une concentration de 1-10 milligrammes/litre. Il est difficile d'obtenir exactement cette dose et il peut y avoir un surdosage dangereux. Le peroxyde d'hydrogène est instable et réagit aussi avec les protéines, bien qu'il soit peu probable que ces dernières causent des problèmes au niveau du traitement à cette

concentration. Par conséquent, le percarbonate de sodium (30 milligrammes/litre) est recommandé par le Codex comme source d'ions peroxyde, car il conduit à une libération plus lente des agents actifs.

Les kits d'activation qui se composent de sachets de thiocyanate et de percarbonate sont disponibles auprès d'un grand nombre de sociétés à un coût de traitement de 0,0025–0,01 dollar EU par litre de lait, et leur emploi est recommandé uniquement pour un personnel spécialisé. Il y a lieu de noter que la grande partie du coût concerne l'emballage qui limite la gamme des dimensions des sachets, notamment pour les petits volumes de lait. La plupart des kits sont conçus pour l'emploi de 50 litres de lait en vrac mais des kits pour traiter 500 à 10 000 litres existent également dans le commerce. Les principaux problèmes associés à ces matériels sont les suivants:

- i) le thiocyanate est hygroscopique et peut se détériorer avec le temps, bien que ce problème puisse être évité par l'emploi d'enrobages ou de conteneurs hermétiquement scellés;
- ii) certaines sources de thiocyanate ne sont pas conformes aux normes de qualité acceptées;⁴
- iii) le percarbonate peut produire de l'oxygène, d'où des sachets d'activateur « gonflés ».

Il a été démontré en laboratoire que **l'adjonction d'oxydase glucosique** (1–2 milligrammes/litre) dans le lait, suite à l'adjonction des ions thiocyanate, active le système LP par transformation du glucose en acide gluconique et peroxyde. Il y a en général suffisamment de glucose dans le lait cru grâce à l'action de la bêta-galactosidase, en particulier dérivée des levures, bien que l'adjonction de 2–3 grammes/litre de glucose exogène soit une autre possibilité. Il s'agit d'une méthode chère et le contrôle des doses à ces faibles niveaux reste très difficile.

On peut ajouter des bactéries lactiques (catalase négative) dans le lait pour la fabrication de fromage dans les cas où l'adjonction de substances chimiques est inacceptable. L'utilisation de 10^4 – 10^5 cellules/millilitre s'avère inefficace pour combattre des organismes psychrotrophes.

L'adjonction de microorganismes (introduits délibérément ou par inadvertance) tels que des levures ou des corynebactéries peut activer le système LP. Il a été démontré que l'emploi de ces dernières sur le rinçage de la surface des fromages à pâte molle est efficace pour éliminer *Listeria*. L'auto inhibition des microorganismes contaminants peut contribuer à prolonger la durée de conservation du lait et des produits laitiers pasteurisés lorsque des niveaux d'activité suffisants persistent après le traitement

⁴ Les critères de pureté du thiocyanate ont été spécifiés par le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires (disponibles dans la base de données du JECFA pour les additifs alimentaires <http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/search.html?lang=fr>)

thermique (voir section 4.2 ci-dessous).

Les leucocytes peuvent activer le système LP moyennant la production de peroxyde d'hydrogène, bien que leur présence soit naturellement indésirable, indiquant l'existence d'une mammite.

Les résidus de peroxyde d'hydrogène provenant de solutions désinfectantes après nettoyage des conteneurs de lait peuvent aussi activer le système.

4.2 INACTIVATION THERMIQUE DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE

La cinétique de l'inactivation thermique de l'enzyme lactoperoxydase est bien établie (Ramet, 2004; Barrett, Grandison et Lewis, 1999). Concrètement, la pasteurisation en vrac (65°C/30 minutes) a peu d'effet sur l'activité de l'enzyme, la pasteurisation HTST (72°C/15 secondes) provoque une rétention d'environ 70% de la lactoperoxydase tandis que le traitement à 80°C ou plus (y compris la stérilisation conventionnelle ou UHT) conduit à la destruction complète de l'enzyme. Certains auteurs précisent (Marks, Grandison et Lewis, 2001) que cette activité résiduelle explique le fait que le lait pasteurisé à 72°C se conserve plus longtemps que le lait traité à 80°C, ce qui a des incidences dans les cas où l'industrie laitière envisage de durcir les conditions relatives à la pasteurisation. En fait, il est possible que la lactoperoxydase résiduelle joue un rôle dans la conservabilité du lait et des produits laitiers pasteurisés en général.

L'activité de la lactoperoxydase pourrait être utilisée comme un marqueur enzymatique pour l'efficacité du traitement thermique HTST du fait de sa similitude avec la phosphatase sur le plan de l'inactivation thermique. La méthode officielle comporte l'estimation de la phosphatase, quoique cela ne soit pas utilisable sur le lait de chamelle (Ramet, Abeideirrahmane et Ould Mohammed, 2004) où la phosphatase reste active après le traitement thermique à 82–86°C pendant deux minutes. Un dosage de la lactoperoxydase serait naturellement plus approprié comme marqueur dans ce dernier cas.

4.3 AUTRES MÉTHODES APPROUVÉES DE CONSERVATION DU LAIT

Les principales méthodes approuvées de conservation du lait sont la réfrigération et/ou le traitement thermique, bien que les deux méthodes présentent des limitations pour la transformation ultérieure.

RÉFRIGÉRATION

S'il est clair que la réfrigération⁵ est très efficace pour empêcher le développement de bactéries, des effets physiques et chimiques négatifs limités se produisent et pour-

⁵ Selon les directives Codex, le lait destiné à subir un traitement ultérieur devrait être refroidi dans les deux heures à 6°C ou moins lorsqu'il est ramassé chaque jour, ou à 4°C ou moins lorsqu'il n'est pas ramassé tous les jours (CAC, 2004b).

raient avoir de légères répercussions sur les paramètres de transformation. Les plus importants sont la solubilisation de la bêta-caséine, la solubilisation des sels minéraux, la tendance à la cristallisation de la matière grasse et l'altération de l'équilibre des bactéries dans le lait, couplée à une augmentation des organismes psychrotrophes. L'activité résiduelle des enzymes protéolytiques et lipolytiques provenant des psychrotrophes après la transformation pose des problèmes, dont des saveurs atypiques (rance ou amère) dans les produits (notamment le fromage) la gélification du lait UHT et des poudres reconstituées pour l'alimentation des veaux.

Dans certains pays, la réfrigération n'est pas possible sur certains sites de production en raison de son coût prohibitif (en termes d'investissement initial et de coût d'utilisation), mais aussi à cause de problèmes techniques, par exemple l'absence ou le manque de fiabilité de la fourniture d'électricité. Le système LP pourrait être utilisé comme traitement complémentaire lorsqu'il est impossible de compter sur la fourniture d'énergie.

Traitement thermique

Le traitement à la chaleur est de toute évidence le moyen le plus efficace pour détruire les microorganismes et est appliqué au lait à des degrés divers (thermisation, pasteurisation, stérilisation). Plusieurs effets chimiques négatifs apparaissent en fonction du degré du traitement. La dénaturation des protéines du petit-lait entraîne des modifications de fonctionnalité qui peuvent causer des problèmes en raison de la synérèse réduite du caillé qui est nécessaire en fromagerie. Cependant, des traitements à température élevée ont été nécessaires pour produire un yaourt d'une texture satisfaisante, lorsque la synérèse n'est pas souhaitable. L'attachement de la bêta-lactoglobuline à la caséine k sur la surface des micelles de caséine à des températures élevées donne un lait dont la capacité de coagulation enzymatique est réduite. De ce fait, la fabrication de fromage avec de la présure à partir de lait stérilisé n'est pas possible. Chauffer le lait provoque la réaction de Maillard (entre les protéines et les sucres réducteurs) donnant lieu à un brunissement dû à la formation de mélanoidine, et entraîne aussi un goût anormal de brûlé. Le chauffage du lait provoque une insolubilisation du phosphate de calcium (et des complexes protéiques) qui salit les surfaces de traitement, et peut obliger à ajouter des sels de calcium au lait caillé avant la fabrication du fromage.

Il y a lieu de noter que le traitement thermique est plus efficace si le nombre initial de cellules est réduit au minimum avant le traitement. C'est pourquoi l'application du système LP avant le chauffage assure une combinaison complémentaire, voire synergique.

4.4 EFFETS DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE SUR LA QUALITÉ ORGANOLEPTIQUE DU LAIT ET LA FABRICATION DE PRODUITS

On peut présumer que l'utilisation du système LP pourrait conduire à des modifications chimiques limitées dans le lait – par exemple concernant l'oxydation des matières grasses et des protéines. Des effets physiques ultérieurs, associés à des changements

microbiologiques pourraient avoir des effets négatifs sur la qualité organoleptique du lait et des produits laitiers ainsi que sur la fabrication et la texture finale de certains produits. Toutefois, un rapport de Ponce et al. (2005) indique que ces effets n'ont pas été observés dans la pratique.

On a constaté que l'addition au lait cru des réactifs utilisés pour l'activation du système LP ne modifie pas les propriétés sensorielles du lait traité par rapport au lait témoin (Ramet, 2004). La saveur du lait fermenté et du fromage de chèvre pourrait être améliorée grâce à l'action du système LP qui modifie l'équilibre de la microflore (Seifu, Buys et Donkin, 2005).

Il est clair que l'inhibition des ferments lactiques due à l'activité de lactoperoxydase donne lieu à des problèmes de production d'acide réduite et de coagulation avec les produits gélifiants en milieu acide. En outre, l'interaction de lactoperoxydase avec des groupes sulphhydryles de protéines pourrait altérer la texture des produits gélifiés – par exemple, une réduction dans l'interaction bêta-lactoglobuline/caséine k dans le yaourt. A ce sujet, les résultats divergent. Ceux qui proviennent d'études latino-américaines font penser que le système LP n'a pas d'effets négatifs sur la qualité du fromage et des produits fermentés lorsque le lait a été soumis à un traitement thermique adéquat après l'application du système LP (Ponce et al., 2005). Ozer et al., (2003) ont signalé quelques effets limités de l'activation du système LP sur la texture gélifiée du yaourt, tandis que Revol-Junelles et Milliere (2005) et Seifu, Buys et Donkin (2005) ont examiné la question et trouvé des preuves de la coagulation plus lente de la présure, la présence de gels plus fragiles dans le fromage et une production d'acide plus faible dans le yaourt. Toutefois, les effets étaient généralement très limités et les rapports scientifiques publiés ne concordent pas.

La sensibilité des bactéries (à l'action du système LP) utilisées comme ferments lactiques, dépend de la sensibilité des souches spécifiques. La sensibilité peut être classée en trois groupes comme suit (Seifu, Buys et Donkin, 2005; Guirguis et Hickey, 1987):

- Les groupes des organismes les plus sensibles qui produisent du peroxyde d'hydrogène, par exemple *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*;
- Les organismes qui sont sensibles sans avoir toutefois la capacité de produire du peroxyde d'hydrogène et donc nécessitent une source exogène de peroxyde d'hydrogène, par exemple *Lactobacillus helveticus*, *S. thermophilus*;
- Les organismes résistant à l'inhibition, par exemple *Lactococcus lactis*.

En résumé, on conclut que tous les effets de l'activation du système LP sur la transformation du lait sont très limités. Rien ne prouve que cette activation entraîne des effets négatifs graves. Il faudrait souligner que l'utilisation du système LP pour maintenir l'état microbiologique du lait en vue d'une transformation devrait permettre d'améliorer

la qualité du lait, ce qui a été démontré par quelques essais de terrain réalisés par la FAO sur différents produits fermentés (FAO, 2004a).

4.5 AUTRES MÉTHODES DE CONTRÔLE MICROBIOLOGIQUE

La microfiltration est utilisée dans certains pays pour réduire les populations bactériennes avant la pasteurisation. Il est possible que dans l'avenir elle puisse être utilisée comme technique « autonome ». Ce procédé présente l'avantage d'être un traitement purement physique fondé sur la filtration sur membrane, qui permettrait d'éviter bon nombre des inconvénients du traitement thermique. Un inconvénient réside dans le fait que les diamètres des globules gras et des microorganismes sont similaires, de sorte que la microfiltration est limitée au lait écrémé qui peut par la suite être à nouveau mélangé avec des flux riches en matière grasse au besoin traités thermiquement. La microfiltration a aussi été proposée comme une autre solution pour éviter les risques sur la santé que présente la fabrication de fromage à partir de lait cru. Toutefois, il est peu probable que la microfiltration soit adoptée actuellement dans les pays où la réfrigération n'est pas couramment utilisée en raison de sa complexité technique et de son coût élevé.

La centrifugation ultra-rapide a été appliquée pour réduire le nombre de cellules et de spores bactériennes dans le lait avant la fabrication des fromages à pâte dure et demi-dure. Il s'agit là encore d'un processus physique, mais il est peu probable qu'il soit adopté actuellement dans les pays en développement en raison de sa complexité technique.

La transformation à haute pression (400–800 MPa) permet d'inactiver les microorganismes dans le lait et d'altérer la fonctionnalité des protéines. Cette méthode n'a pas été appliquée commercialement.

L'addition de chlorohydrate de lysozyme (tiré des oeufs) est un traitement autorisé pour empêcher le "gonflement" causé par la formation de spores de *Clostridium* durant la maturation des fromages à pâte dure et demi-dure. Toutefois, il s'agit d'une application limitée.

L'addition de grandes quantités de chlorure de sodium (3–12%) réduit suffisamment l'activité de l'eau (A_w) dans le lait pour arrêter la croissance bactérienne. Cette technique est employée dans certains pays du Moyen-Orient pour la fabrication traditionnelle du fromage saumuré local. Bien qu'il s'agisse d'un processus traditionnel, il a de nombreux effets négatifs, il donne notamment un goût très salé au fromage, cause la désagrégation des micelles, entraîne des problèmes de coagulation et de corrosion du matériel servant à la transformation. Cela explique l'application très limitée de cette technique..

4.6 IMPACT DE L'ADOPTION DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE SUR L'EMPLOI DE MÉTHODES NON APPROUVÉES DE CONSERVATION DU LAIT

Un certain nombre de méthodes de conservation du lait non approuvées sont appliquées dans certains pays, y compris:

- L'addition de grandes quantités de peroxyde d'hydrogène (300–800 milligrammes/litre), qui a un effet bactéricide direct, mais cause des problèmes au niveau de la transformation en raison de la désagrégation des protéines et, d'un point de vue nutritionnel, elle réduit les niveaux de vitamine A et de caroténoïdes.
- Adjonction directe d'antibiotiques.
- Adjonction de glace (provenant d'eau qui pourrait être contaminée), qui naturellement dilue le lait.
- Le transfert dans le lait de substances chimiques provenant de conteneurs en bois brûlé.
- L'alcalisation avec de l'hydroxyde de sodium ou du dihydrate de calcium.
- L'addition d'autres substances chimiques, y compris la formaldéhyde ou le chlore.

Il est clair qu'en raison du manque de procédures de contrôle de la qualité dans les pays en développement, ou de leur efficacité limitée, il est impossible de détecter ces méthodes non approuvées. Même si l'adoption du système LP a le potentiel de réduire l'utilisation de ces méthodes non approuvées, et donc réduit le risque éventuel pour la santé du consommateur, les preuves sont actuellement faibles. Néanmoins, des études approfondies menées à Cuba et dans des pays d'Amérique latine (Ponce, 2005) contiennent des preuves laissant à penser que l'activation du système LP a réduit le recours aux pratiques non approuvées mentionnées ci-dessus.

4.7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les experts ont conclu sur la base de nombreuses observations des études de laboratoire et sur le terrain que le système LP n'a pas d'effets négatifs sur les caractéristiques chimiques, physiques et sensorielles du lait cru et des produits laitiers transformés. Ce système s'avère donc une autre méthode efficace pour conserver le lait cru destiné à subir un traitement ultérieur. Il n'exclut pas la nécessité de pasteuriser le lait et n'a pas d'effet négatif, ni ne perturbe les transformations ultérieures.

Le système LP peut être utilisé seul lorsque la réfrigération n'est pas possible, ou en combinaison avec le refroidissement ou la réfrigération et peut être considéré comme un outil efficace pour améliorer la qualité et la quantité de lait et de produits laitiers tout en maintenant la qualité microbiologique du lait cru.

Compte tenu du fait que le système LP est techniquement considéré comme une méthode efficace de conservation du lait destiné à une transformation ultérieure, les experts ont recommandé que:

- Le système LP soit considéré comme adapté pour permettre le transport du lait sur de plus longues distances, particulièrement dans les pays en développement et ainsi augmenter la quantité de lait disponible pour une transformation ultérieure et la commercialisation successive.
- Le système LP soit utilisé pour améliorer la qualité des produits transformés du fait de son effet bactériostatique démontré, depuis la collecte du lait jusqu'à la transformation finale.

5. Valeur économique et commerce

Outre les avantages nutritionnels du lait et sa contribution à la sécurité alimentaire des familles, notamment dans les pays en développement, la production laitière peut aussi contribuer largement à la création de revenu. Cela est particulièrement important dans les zones où jusqu'à 80% de la production totale de lait est écoulée à travers un marché informel.

La réfrigération est la méthode de choix pour conserver le lait, mais elle exige des investissements substantiels en capitaux et peut entraîner des coûts d'utilisation et d'entretien élevés. L'utilisation du système LP, associée à de bonnes mesures d'hygiène, est une méthode fiable et économique de conservation du lait cru par rapport au refroidissement effectué dans les petites entreprises laitières.

Le commerce régional et international du lait et des produits laitiers est en augmentation dans des pays qui étaient autrefois des importateurs nets de lait. L'établissement des normes et d'équivalences régionales devient ainsi de plus en plus importantes, en particulier pour répondre aux groupes d'échanges commerciaux régionaux et aux accords commerciaux mondiaux.

5.1 SITUATION ACTUELLE

En 2004, la production mondiale totale de lait était de 613 millions de tonnes métriques dont 263 millions de tonnes métriques produites dans les pays en développement – représentant environ 30% de la production mondiale de lait, les petits producteurs laitiers assurant environ 70% de la production totale (NDA, 2004). La contribution des petits producteurs laitiers pourrait être supérieure compte tenu de leur participation au marché informel. Il y a eu en 2003 une hausse de 10,4% des ventes mondiales de lait et de produits laitiers (NDA, 2004). Selon les experts, cette hausse tient en grande partie à la croissance rapide des marchés émergents tels que la Chine, les Philippines et l'Arabie saoudite.

En 2003, la FAO a procédé à une évaluation rapide des pertes de lait après la traite et la collecte dans cinq pays du Moyen-Orient et de l'Afrique orientale (FAO, 2004b). Au Kenya, par exemple, l'étude a constaté qu'au total 15,4% du lait était perdu au niveau de la ferme et du marché. La perte nationale totale a été estimée à 95 millions de litres, pour une valeur d'environ 22,4 millions de dollars EU. Les pertes au niveau de la ferme se montent à 15,4 millions de dollars EU. Considérée par rapport au niveau de pauvreté

où près de 60% de la population survit avec moins de 1 dollar EU par jour, la perte au niveau de la ferme seule équivaut au salaire annuel de 32 000 travailleurs ruraux gagnant 40 dollars EU par mois (FAO, 2003).

Bien que les coûts de production du lait soient plus faibles dans les pays en développement, il peut y avoir des pertes importantes de lait là où les températures ambiantes sont élevées et où l'approvisionnement en électricité pose des problèmes. On retrouve ces pertes également quand la chaîne du marché laitier manque d'infrastructures et de ressources pour la réfrigération. La Banque Mondiale estime que dans les pays en développement 20% du lait est gaspillé. La possibilité d'augmenter la production de lait et de créer un revenu supplémentaire pour les agriculteurs est également réduite par la capacité limitée d'écouler le lait sur le marché, le manque d'installations pour entreposer le lait (lait de la traite du matin et lait de la traite du soir) et des difficultés pour livrer le lait en temps opportun aux usines de transformation et aux centres de collecte.

Les prix du lait vont de 13 à 50 dollars EU les 100 kilogrammes, pour un coût total de production de 18 à 28 dollars EU les 100 kilogrammes de lait (IFCN, 2002). Du fait que les systèmes de production exigent peu d'intrants et compte tenu des taux de change, le coût de production du lait et les prix du lait sont plus faibles dans les pays en développement. Selon le bulletin « Dairy Outlook » de la FAO (FAO, 2002) les prix à la ferme les plus élevés ont été enregistrés au Japon tandis que les plus bas étaient le fait des pays en développement tels que le Kenya, le Malawi, le Pakistan et la Colombie (Tableau 3).

Tableau 3. Prix à la ferme (lait de vache) en dollar EU/kilogramme (octobre, 2002)

| Fourchette en dollars EU | Pays (Prix en dollars EU par kilogramme) |
|--------------------------|---|
| 0.61 – 0.70 | Japon (0.62) |
| 0.51 – 0.60 | Suisse (0.53) |
| 0.41 – 0.50 | Mauritanie (0.42) |
| 0.31 – 0.40 | Malte (0.37), Canada/Italie/Maurice (0,35) France/Irlande/Allemagne (0,33), Suède (0,31) |
| 0.21 – 0.30 | Costa Rica/Thaïlande/Etats-Unis (0,28), Philippines/ Royaume-Uni (0,27) Équateur/Pays-Bas (0,26), Égypte (0,24), Népal (0,22) |
| 0.11 – 0.20 | Kenya/Malawi (0,20), Pakistan/Colombie (0,18) |

Source: Calcul tiré du « Dairy Outlook » de la FAO (Muriuki, 2002)

Conserver le lait en recourant à la méthode la plus pratique et la plus économique tout en maintenant la qualité initiale du lait est jugé nécessaire pour augmenter la production et la commercialisation totales du lait. Cela est particulièrement important pour les pays en développement moyennant la réduction des pertes de lait après récolte, la promotion du ramassage du lait de la traite de l'après-midi et la prise d'un volume de lait plus important sur les marchés informels.

5.2 LE COÛT DE LA RÉFRIGÉRATION ET DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE

Lorsque l'on considère la rentabilité du système LP, il faut tenir compte du fait qu'il est difficile de comparer avec d'autres méthodes appliquées dans le monde du fait que les coûts, par exemple celui de l'énergie, varient largement et ont augmenté sensiblement ces dernières années. Cette évaluation devra donc obligatoirement être faite au cas par cas.

Aux Philippines, l'investissement initial dans un petit équipement de réfrigération se situe entre 3 000 et 5 000 dollars EU, et avec le coût actuel de l'électricité, il ne serait pas rentable de faire fonctionner cet équipement dans une coopérative qui ramasse 100 litres de lait par jour. En 1994, il fallait environ 0,5 dollar EU pour refroidir 100 litres de lait contre 0,35 dollar EU en appliquant le système LP. La conservation à l'aide du système LP est moins chère et ne nécessite pas une grande dépense pour l'équipement et les installations de réfrigération (Barraquio et al., 1994).

Au Kenya, le coût du refroidissement d'un litre de lait allait de 0,017 dollar EU (grands refroidisseurs) à 0,032 dollar EU (petits refroidisseurs) tandis que l'application du système LP était moins chère, 0,014 dollar EU (Wanyoike et al., 2005). Néanmoins, le refroidissement du lait dans de grandes installations reste une difficulté étant donné le coût élevé de l'équipement, qui va de 197 000 dollars EU à 4 millions de dollars EU, auquel il faut ajouter les coûts d'entretien et du ramassage du lait.

À Cuba, plus de 50% du lait n'est pas réfrigéré, notamment en raison du coût élevé de l'équipement de refroidissement du lait et du manque d'électricité. Toutefois, l'emploi du système LP a permis d'introduire dans la chaîne alimentaire de grandes quantités de lait, évaluées à 100 millions de dollars EU en 13 ans, qui autrement auraient été perdues. Le système LP s'est révélé efficace dans la chaîne du lait, conservant la qualité initiale du lait à la ferme jusqu'à son arrivée à l'usine laitière. En Amérique latine, 30 millions de litres de lait ont été activés à l'aide du système LP entre 2000 et 2005. Cinquante pour cent du lait qui autrement serait perdu est sauvé grâce au système LP, pour un montant d'environ 3 millions de dollars EU. Dans la région Amérique latine, le coût du refroidissement d'un litre de lait peut aller de 0,05 dollar EU à 0,1 dollar le litre contre 0,0025 à 0,05 dollar EU le litre en appliquant le système LP, sans tenir compte là encore du déboursement important de capital à investir dans l'équipement de refroidissement et son entretien.

Le coût de l'utilisation du système LP soutient avantageusement la comparaison avec celui du refroidissement, particulièrement pour les petits producteurs laitiers. Il a été démontré que le système LP est plus économique que le refroidissement dans les zones où les quantités de lait sont limitées et où l'alimentation en électricité est irrégulière ou inexistante. Cela est aussi la meilleure façon d'améliorer les flux de lait de la ferme au marché, créant ainsi un revenu supplémentaire pour les familles de producteurs laitiers.

5.3 COMMERCE INTERNATIONAL

Bien que les coûts de production du lait dans les pays en développement soient moins élevés que dans les pays avancés, les pays en développement ont été des importateurs nets de lait et de produits laitiers. Néanmoins, des signes de changement apparaissent peu à peu, le commerce régional affichant un certain dynamisme, par exemple entre un certain nombre de groupes d'échanges commerciaux régionaux en Afrique y compris la Communauté de l'Afrique de l'Est (CAE), le Marché commun de l'Afrique orientale et australe (COMESA), l'Autorité intergouvernementale sur le développement et la Communauté du développement de l'Afrique australe (SADC). En raison du développement du commerce international dans des pays comme le Kenya dans la CAE et en Afrique du Sud dans la région SADC, il est nécessaire d'harmoniser les normes pour le lait et les produits laitiers afin d'en faciliter le commerce. La majorité de ces pays appliquent des normes nationales fondées sur les normes Codex. Il est donc facile de les harmoniser; toutefois, il faudra veiller en utilisant les normes Codex à bien tenir compte des différences régionales afin que ces pays continuent d'observer ces normes.

Il est difficile d'estimer la perte de débouchés commerciaux causée par la disposition du Codex selon laquelle le système LP ne devrait pas être utilisé pour les produits destinés au commerce international. Néanmoins le problème ne concerne pas seulement le commerce, mais aussi le fait que le système LP n'est pas adopté avant tout par crainte que le produit soit exclu du commerce international. Si les produits traités au système LP ne sont pas considérés adaptés au commerce international, il y a tout lieu de se demander si son utilisation est sans danger et appropriée sur le marché intérieur. Malgré cela, le système LP est appliqué dans certains pays où il est le moyen le plus pratique de conserver le lait cru. Le Kenya, par exemple, exporte des produits laitiers évalués à plus de 4 millions de dollars EU (estimation de 2003) vers les régions les plus proches, et ce commerce est en plein essor. Il s'agit là d'échanges qui pourraient disparaître si le pays devait adopter officiellement l'utilisation du système LP et se conformer à la condition imposée de ne pas commercialiser le lait traité au système LP. Selon les experts, il est probable que des situations similaires existent en Afrique, en Amérique latine et dans d'autres pays en développement.

5.4 NORMES ET POLITIQUE EN MATIÈRE DE PRODUITS LAITIERS ET LE SYSTÈME LACTOPEROXYDASE

Les normes élaborées par la Commission du Codex Alimentarius sont, au titre de l'accord SPS (Accord sur l'Application des Mesures Sanitaires et Phytosanitaires) de l'OMC, les normes de référence internationales reconnues pour la sécurité sanitaire des aliments. Le Codex a mis en place un certain nombre de normes pour le lait et les produits laitiers. Elles sont à la base de bon nombre de normes pour les produits laitiers adoptées dans des pays en développement et développés. Les gouvernements nationaux adoptent ou modifient ces normes en fonction de leurs besoins, de leur politique dans le secteur laitier en général et de leurs stratégies de mise en oeuvre. Il est important de tenir compte des particularités de chaque pays en développement lors de

l'élaboration de normes. Cela faciliterait la compréhension des normes et leur adoption par les gouvernements ainsi que leur adaptation aux diverses situations dans le respect du cadre juridique national régissant l'industrie laitière, le lait et les produits laitiers.

Les petits producteurs laitiers jouent un rôle important dans l'approvisionnement en lait et en produits laitiers frais aux centres urbains en expansion dans les pays en développement. Pour assurer cet approvisionnement en quantité de lait suffisante, les initiatives politiques qui concernent le développement du secteur laitier doivent intégrer une gamme d'options qui conviennent pour la conservation du lait et qui peuvent être adoptées par l'industrie laitière nationale (Muriuki et al., 2003). Il n'y a actuellement que deux moyens approuvés de conserver le lait cru, à savoir la réfrigération et le système lactoperoxydase pour la conservation du lait cru. L'on reconnaît que le système LP est un moyen économique de conserver le lait cru et qu'il peut contribuer à réduire les pertes de lait et à étendre les systèmes de ramassage du lait. En outre, il semble également pouvoir être utilisé en complément de la réfrigération. Il est donc essentiel de situer l'utilisation du système LP dans le cadre d'une politique et d'une stratégie nationales de développement laitier afin de répondre aux besoins des groupes de producteurs et de ceux qui ramassent et transforment le lait, particulièrement dans les pays en développement et en transition où la réfrigération n'est pas une option réalisable ni praticable d'emblée.

5.5 VALEUR ÉCONOMIQUE ET IMPACT

La Banque mondiale a signalé qu'en Afrique de l'Ouest, environ 5 millions de litres de lait était jeté chaque année du fait qu'il se détériore. Cuba a indiqué que l'utilisation du système LP a procuré de très nombreux avantages sur une période de 13 ans. Il a permis au pays d'écouler plus de 1000 millions de litres de lait sur le marché. Selon une estimation prudente, l'emploi du système LP a permis d'éviter la perte de quelque 500 000 tonnes de lait, qui équivalent aux importations annuelles de produits laitiers pour le pays en devise étrangère. Cela a permis en outre de créer des emplois et d'accroître les revenus des producteurs laitiers (P. Ponce, communication personnelle, 2005).

Un système fonctionnel de conservation du lait cru peut stimuler la production de lait au bénéfice tant des producteurs que des consommateurs. Dans un pays comme le Kenya, la production de lait fluctue d'une saison à l'autre et c'est essentiellement le lait de la traite du matin qui entre dans la chaîne commerciale. Pendant une saison de forte production, on enregistre de très importantes pertes de lait en raison de problèmes logistiques pour le ramassage, aggravés par le manque de systèmes de conservation. Le lait de la traite du soir n'est pas ramassé faute de moyens de conservation applicables. Il est estimé que la quantité totale de lait commercialisé augmenterait de quelque 30% si le lait de la traite du soir était ramassé. Cela se traduirait par une augmentation annuelle de plus de 100 millions de litres. Une étude de la FAO (FAO, 2005), avance un chiffre inférieur. Pour sa part, Muriuki (H. Muriuki, communication personnelle, 2005) estime qu'il y aurait au bas mot une augmentation de 68 millions de litres de lait grâce

à la croissance du marché.

Les marchés du lait utilisent habituellement un système de paiement à la qualité. Au Kenya, les transformateurs versent environ 0,06 dollar EU en plus par litre de lait de qualité par rapport au prix du lait standard en vigueur. Une augmentation du lait commercialisé, notamment celui fourni par les petits producteurs laitiers, améliorerait aussi les moyens de subsistance grâce à la création d'emplois, à l'accroissement des revenus et à l'amélioration de l'alimentation. Si le volume de lait commercialisé augmentait, il faudrait résoudre quelques problèmes, notamment la diminution éventuelle des quantités de lait destinées à la consommation familiale et l'éventuel transfert des revenus des femmes aux hommes. Dans certaines communautés, le revenu procuré par la vente du lait dans le voisinage immédiat est aux mains des femmes tandis que le revenu provenant du secteur formel est contrôlé par les hommes.

5.6 DISPONIBILITÉ DES CONSTITUANTS DU SYSTÈME LACTOPEROXYDASE

La majorité des pays dotés d'installations pharmaceutiques sont à même de produire des activateurs du moment qu'ils se conforment aux spécifications énoncées dans les directives Codex et garantissent la pureté et la nature hygroscopique du percarbonate. Actuellement, seuls quelques pays produisent des activateurs du système LP, par exemple la Suède, Cuba et la France. L'on s'attendrait à ce que le système LP soit plus économique si les activateurs étaient produits dans les pays appliquant le système. Il faut tenir compte aussi du coût de l'emballage qui représente à lui seul environ 40-60% du coût total du produit.

5.7 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les avantages économiques de la production laitière comprennent la création d'un revenu régulier pour les familles qui peut contribuer pour une bonne part à la sécurité alimentaire et à l'alimentation des familles et en particulier des groupes vulnérables dans les pays en développement (par exemple les enfants et les femmes).. La production, la collecte, la transformation et la commercialisation du lait sur petite échelle sont une source importante d'emplois ruraux hors de la ferme. Néanmoins, les pertes après la traite et la collecte représentent une problématique importante dans le secteur laitier des pays en développement. Les petits producteurs laitiers pourraient augmenter leur participation à la production, à la transformation et à la commercialisation mondiales du lait s'ils pouvaient réduire leurs pertes en recourant à une ou plusieurs méthodes de conservation appropriées. L'amélioration potentielle de la qualité et de la durée de conservation du lait et des produits laitiers pourrait avoir des avantages sociaux et économiques considérables au niveau local. Si la réfrigération est le moyen de choix pour conserver le lait, elle exige un investissement important de capitaux et peut entraîner des coûts d'utilisation et d'entretien élevés pour un équipement cher. Ainsi, l'emploi du système LP fournit un autre moyen fiable et économique de conserver le lait cru, en particulier dans les petites entreprises laitières lorsqu'il est associé à une bonne

hygiène. Sa viabilité économique, qu'il soit employé seul ou associé à la réfrigération, et sa capacité de réduire sensiblement les pertes de lait et ainsi d'augmenter le volume de lait collecté, profitent directement tant aux producteurs qu'aux consommateurs de lait.

Le commerce régional et international du lait et des produits laitiers ne cesse de se développer dans les pays qui étaient autrefois des importateurs nets de lait. Avec l'accroissement de la demande et de la production de lait dans les pays en développement et en transition, des normes régionales associées à de bonnes pratiques d'hygiène sont de plus en plus importantes d'un bout à l'autre de la chaîne du lait. Ces normes sont souvent fondées sur des normes Codex car celles-ci sont considérées comme la norme de référence au titre des accords de l'OMC pour les produits alimentaires faisant l'objet d'un commerce international. Toutefois, la disposition relative à l'utilisation du système LP constitue une sorte d'exception et apporte une limitation importante à l'adoption du système du fait que ces produits peuvent être exclus du commerce régional et international.

Sur la base de ces conclusions, les experts ont formulé les recommandations ci-après:

- La production laitière à petite échelle devrait être encouragée compte tenu de sa contribution à l'alimentation quotidienne des familles, à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté.
- le Codex Alimentarius devrait élaborer des normes pour le lait et les produits laitiers qui puissent être aisément adoptées au niveau régional ou national. Il faudrait pour cela, appuyer la participation active d'une gamme représentative de pays membres pour l'élaboration de normes.
- La limitation du Codex Alimentarius en vigueur concernant l'application du système LP pour le lait et les produits laitiers destinés au commerce international devrait être supprimée.

6. Conclusions générales et recommandations

Les experts ont adopté une approche holistique pour examiner le système LP en tant que système de conservation du lait cru en tenant compte de tous les aspects pertinents: microbiologie, santé et nutrition humaines, transformation et technologie, valeur économique et commerce.

L'activité antimicrobienne du système LP contre une grande variété de microorganismes saprophytes et pathogènes présents dans le lait, y compris bactéries, virus, moisissures, levures, mycoplasmes et protozoaires a été bien documentée tant sur des expérimentations de laboratoire qu'en pratique. L'activité globale du système LP est principalement bactériostatique, et son ampleur est fonction de la charge bactérienne totale initiale, de l'espèce, des souches de bactéries contaminantes et de la température du lait. Certes, son efficacité contre les microorganismes saprophytes et pathogènes présents dans le lait n'est plus à démontrer, toutefois les experts ont conclu qu'il serait utile de conduire d'autres études concernant l'efficacité du système contre les virus présents dans le lait et les microorganismes pathogènes émergents.

L'efficacité du système dans le lait cru provenant de différentes espèces d'animaux et dans des conditions ambiantes différentes a également été examinée. Les directives du Codex se concentrent sur l'application du système LP au lait de vache et de bufflesse. Néanmoins, les experts ont conclu que la même combinaison durée-température telle que présentée dans les directives du Codex (CAC, 1991b) peut aussi être appliquée au lait de chèvre et de brebis. Il a aussi été démontré que le système LP est efficace dans le lait de chamelle bien que la présence d'autres agents antimicrobiens dans ce lait signifie que l'activité s'exerce différemment selon les températures.

Les experts ont donné une grande importance à l'impact du système LP sur les microorganismes pathogènes présents dans le lait. S'appuyant sur les preuves disponibles, ils ont conclu que le système LP ne favorise pas le développement de microorganismes pathogènes une fois que son effet bactériostatique est terminé⁶ et rien ne prouve que l'utilisation à long terme du système LP puisse faire naître des risques microbiologiques, par exemple le développement ou l'accumulation de bactéries productrices de toxines. En outre, les experts ont conclu que l'application du système ne risque guère de stimuler le développement d'une résistance au système LP lui-même ou à d'autres agents antimicrobiens, mais qu'étant donné la nature dynamique des microorganismes,

⁶ Dans des conditions de laboratoire.

il serait bon de surveiller de près la situation.

Les experts se sont penchés en particulier sur les données concernant l'efficacité du système LP à des combinaisons durée-température dépassant celles indiquées dans les directives du Codex. Ils ont conclu que le système LP a aussi un impact positif sur la conservabilité du lait cru à des températures ambiantes de 31– 35°C (pendant 4 à 7 heures seulement). Cela représente un fait important qui pourrait faire la différence lorsqu'il s'agit de conserver le lait en bon état durant son transport jusqu'à un point de collecte réfrigéré, particulièrement là où les températures ambiantes sont élevées ou très élevées. L'impact du système LP à des températures de réfrigération a aussi été examiné, en particulier sur la capacité du système à réduire au minimum la croissance de bactéries psychrotrophes. L'efficacité du système LP à de plus faibles températures a conduit les experts à conclure que l'application du système pourrait être élargie afin de prolonger la période d'entreposage réfrigéré du lait cru.

La cinétique de la désactivation thermique de l'enzyme lactoperoxydase est bien établie et la durée et la température du traitement thermique détermineront le niveau de destruction de l'enzyme. Les experts ont noté que l'activité résiduelle de la lactoperoxydase pourrait jouer un rôle dans la conservabilité du lait et des produits laitiers pasteurisés en général. Pour ce qui est de la transformation ultérieure du lait, on a fait remarquer que si le système LP peut exercer un effet sur la qualité organoleptique du lait et la fabrication de produits, cela n'a pas été observé dans la pratique. Selon de nombreuses observations fournies par les laboratoires et les études sur le terrain, le système LP n'a pas d'effets nuisibles sur les caractéristiques chimiques, physiques ou sensorielles du lait cru et des produits laitiers transformés. En examinant l'impact potentiel du système LP sur les produits fermentés, on a noté que les données sur cette question manquent de cohérence, cela semblant se rapporter à la différence de sensibilité au système LP des diverses souches de cultures de démarrage. Lorsque des effets négatifs ont été observés, ils étaient limités.

Les experts ont conclu que le système LP a un rôle à jouer comme élément d'un système intégré pour améliorer la qualité et la sécurité sanitaire du lait. On a beaucoup insisté sur le fait que le système LP ne peut être utilisé pour dissimuler la mauvaise qualité d'un lait et que pour atteindre son maximum d'efficacité, le système doit être associé à de bonnes pratiques d'hygiène. Bien que l'on reconnaisse que le refroidissement et le traitement thermique sont des moyens efficaces de conserver le lait, il existe, en particulier dans les pays en développement, de nombreux autres systèmes utilisés au niveau de la production laitière à petite échelle. Cette production laitière en expansion où, par défaut les infrastructures et les équipements appropriés pour le refroidissement, le traitement thermique ou d'autres processus physiques, nécessite d'autres procédés économiques disponibles. L'application de systèmes de conservation existant à l'état naturel, dont le système LP fait partie, est un domaine qui fait actuellement l'objet de nombreuses recherches pour leur emploi dans un grand nombre d'aliments et en différents points de la chaîne alimentaire. Ils ne sauraient remplacer les technolo-

gies satisfaisantes déjà en place, telles que la réfrigération et le traitement thermique, mais constituent une option gratuite, particulièrement au stade basique de la production lorsque les autres méthodes ne sont ni disponibles, ni applicables ou appropriées.

Dans cette optique, les experts ont estimé que le système LP constitue une solution de remplacement efficace pour la conservation à court terme du lait cru. Le fait qu'il puisse être utilisé sans infrastructure ou équipement coûteux en fait une option potentiellement valable, en particulier pour de nombreux petits producteurs laitiers. La capacité de prolonger la durée de conservation du lait cru, d'une manière réglementée, est déterminante pour garantir que du lait sain soit mis à la disposition des consommateurs et que cela comporte un avantage économique pour le petit producteur laitier. Prolonger la durée de conservation du lait cru permet de le conserver en bon état (à des températures élevées ou très élevées) jusqu'à son arrivée à l'usine de transformation malgré de longues distances parcourues ou de médiocres infrastructures de transport. Les pertes de lait sont réduites à l'avantage encore des producteurs et des consommateurs.

Notant l'essor du commerce régional et international du lait et des produits laitiers dans les pays qui étaient auparavant des importateurs nets de lait et la croissance de la demande et de la production de lait dans les pays en développement et en transition, les experts ont souligné que l'application de normes répondant aux obligations prises dans le cadre des accords OMC revêt une importance croissante. Ces normes sont souvent fondées sur des normes Codex, celles-ci étant considérées comme des normes de référence dans le cadre de l'OMC concernant les aliments faisant l'objet d'un commerce international. Néanmoins, la disposition relative à l'utilisation du système LP fait plus ou moins de celle-ci une exception et constitue une limitation importante à l'adoption du système du fait qu'il peut être exclu du commerce régional et international de ces produits.

Ceci étant, les aspects sanitaires et nutritionnels du lait, en particulier du lait qui avait été soumis au système LP, ont été examinés. Concernant la santé et la nutrition humaines, on a d'abord conclu que les avantages du système LP dérivent principalement de la réduction considérable des pertes par détérioration et donc permet d'offrir une meilleure disponibilité de lait comme bonne source de nutriments dans le régime alimentaire. Cela, bénéficiant à la fois aux consommateurs et aux producteurs de lait. Le lait améliore la santé et réduit la morbidité et la mortalité dues aux maladies infantiles. Par conséquent, l'application du système LP pourrait être considérée comme faisant partie d'un système visant à améliorer la santé publique en augmentant la disponibilité et la sécurité sanitaire du lait. Les experts ont examiné les données toxicologiques disponibles sur le système LP et confirmé l'évaluation faite lors de la trente-cinquième session du JECFA selon laquelle le système LP ne présente aucun risque toxicologique lorsqu'il est appliqué conformément aux directives Codex. Ils ont aussi montré que très peu de nouvelles données ont été fournies depuis l'évaluation du JECFA. Ils ont reconnu l'importance de la carence en iode et souligné que là où la carence en iode est commune et courante, des mesures de santé publique doivent être prises pour y remédier, que le

système LP soit utilisé ou non.

Globalement, les experts ont conclu que le système LP présente de nombreux avantages lorsqu'il est utilisé comme élément d'un système intégré visant à améliorer la qualité et la sécurité sanitaire du lait, à réduire les pertes de lait et à renforcer sa disponibilité. Sur la base des données disponibles et de l'évaluation effectuée, les experts techniques ont estimé que le système LP est une méthode sans danger pour conserver le lait cru et que, lorsqu'il est appliqué conformément aux directives établies par le Codex, rien ne justifie actuellement le maintien de la disposition concernant la limitation au commerce international du lait et des produits laitiers soumis au système LP.

RECOMMANDATIONS

En formulant leurs recommandations, les experts ont réaffirmé que le système lactoperoxydase utilisé pour la conservation du lait cru ne présente aucun danger lorsqu'il est utilisé conformément aux directives existantes (CAC, 1991b) et ont recommandé son emploi dans les situations où, pour des raisons techniques, économiques et/ou pratiques, il n'est pas possible d'utiliser des installations de refroidissement. A la lumière de leurs débats, ils ont formulé les recommandations spécifiques ci-après.

Au Codex Alimentarius

Envisager d'élargir la directive pour l'utilisation de ce système concernant la température d'application du système LP afin d'inclure également la fourchette de températures de 31°C à 35°C pendant 4 à 7 heures et jusqu'à 4°C pendant 5–6 jours.

Elaborer des normes pour le lait et les produits laitiers qui puissent être facilement adoptées au niveau régional ou national, en encourageant et en soutenant la participation active d'une gamme représentative de pays membres à l'élaboration des normes.

Éliminer la disposition actuelle concernant la restriction à l'emploi du système LP dans le lait et les produits laitiers destinés au commerce international, cette disposition ayant été jugée par les experts sans fondement scientifique ou technique et sans justification économique.

Aux pays membres, à la FAO, à l'OMS, au Codex Alimentarius, aux ONG et à l'industrie laitière

Reconnaître le système LP comme une méthode efficace et applicable de conservation du lait cru qui n'a pas d'effet négatif sur le traitement ultérieur du lait.

En raison de son effet bactériostatique, concevoir l'application du système LP comme

partie intégrante d'un programme visant à améliorer l'hygiène et la sécurité sanitaire du lait d'un bout à l'autre de la chaîne du lait.

Envisager l'application du système LP pour compléter le refroidissement afin d'augmenter la conservabilité du lait cru et de stopper la prolifération des microorganismes saprophytes et pathogènes du lait.

Utiliser le système LP pour améliorer la qualité des produits transformés grâce à son effet bactériostatique démontré, depuis la collecte du lait jusqu'au traitement final, et en particulier pour allonger les distances pour le transport du lait dans les pays en développement, ce qui permettrait d'augmenter le volume de lait commercialisable. Cela pourrait avoir des avantages directs importants tant pour les producteurs que pour les consommateurs de lait.

Outre les recommandations propres à l'emploi du système LP, plusieurs autres questions ont été examinées, qui ont amené les experts techniques à formuler les recommandations suivantes.

Promouvoir la consommation de lait en tant que source précieuse de nutrition humaine contribuant à un développement sain et à une bonne croissance.

Encourager la contribution des petits producteurs laitiers à l'alimentation des familles, à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté.

Appliquer des mesures pour remédier à la carence en iode dans les zones d'endémie goitreuse reconnues, associées à une surveillance appropriée de sa prévalence. Le lait peut aussi être une source précieuse d'iode, à condition que l'iode soit suffisant dans le régime alimentaire des animaux laitiers.

7. References

- Abrams, S.A., Griffin, I.J. & Davila, P.M. 2002. Calcium and zinc absorption from lactose-containing and lactose-free infant formulas. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76: 442–6.
- Albujar, R., Ludena, F. & Castillo, L. 2004. *Evaluation of raw milk conservation in different regions of Peru, by using the activation of the Lactoperoxidase system*. Lima, Molina University.
- Ali-Vehmas, T., Vikerpuur, M. & Sandholm, M. 1994. Lactoperoxidase antagonizes anti-staphylococcal activity of cell-wall destabilizing antibiotics. Proceedings of the IDF Seminar on Indigenous Antimicrobial Agents of Milk - Recent Developments. Uppsala, Sweden, 31 August – 1 September 1993. *IDF Special Issue*, No. 9404: 164–174.
- Armenteros, M., Ponce, P., Riveron, Y., Leyva, V., Martino, T. & Capdevila, J. 2005. Exacerbation risk analysis of certain potential human pathogens in cow milk activated with the lactoperoxidase system. [submitted].
- Ayangade, S.O., Oyelola, O.O. & Oke, O.L. 1982. A preliminary study of amniotis and serum thiosulphate levels in cassava eating women. *Nutrition Reports International*, 26: 73–75.
- Banerjee, K., Marimuthu, P., Bhattacharyya, P. & Chatterjee, M. 1997. Effect of thiocyanate ingestion through milk on thyroid hormone homeostasis in women. *British Journal of Nutrition*, 78: 679–681.
- Barraquio, V. L., Resubal, L. E., Bantoc, I. B. M., & Almazan, E. N. 1994. Preservation of raw milk with lactoperoxidase /hydrogen peroxide/thiocyanate system, hydrogen peroxide system and by refrigeration. *The Asian International Journal of Life Sciences*, 3(1): 1–10.
- Barrett, N., Grandison, A. & Lewis, M.J. 1999. Contribution of the lactoperoxidase system to the keeping quality of pasteurized milk. *Journal of Dairy Research*, 66: 73–80.
- Beumer, R.R., Noomen, A. Marijs, J.A. & Kampelmacher E.H. 1985. Antibacterial action of the lactoperoxidase system on *Campylobacter jejuni* in cow's milk. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 39: 107–114.

Bibi, W. & Bachmann, M.R. 1990. Antibacterial effect of the lactoperoxidase-thiocyanate-hydrogen peroxide system on the growth of *Listeria* spp. in skim milk. *Milchwissenschaft*, 45: 26–28.

Björck, L. 1978. Antibacterial effect of the lactoperoxidase system on psychrotrophic bacteria in milk. *Journal of Dairy Research*, 45: 109–118.

Björck, L., Claesson, O. & Schulthess, W. 1979. The lactoperoxidase/thiocyanate/hydrogen peroxide system as a temporary preservative for raw milk in developing countries. *Milchwissenschaft*, 34: 726–729.

Borch, E., Wallentin, C., Rosén, M. & Björck, L. 1989. Antibacterial effect of the lactoperoxidase/thiocyanate/hydrogen peroxide system against strains of *Campylobacter jejuni* isolated from poultry. *Journal of Food Protection*, 52, 638–641.

Bosch, E.H., Van Doormen, & De Vries, S. 2000. The lactoperoxidase system: the influence of iodide and the chemical and antimicrobial stability over the period of about 18 months. *Journal of Applied Microbiology*, 89(2): 15–224.

Carlsson, J., Iwami, Y. & Yamada, T. 1983. Hydrogen peroxide excretion by oral streptococci and effect of lactoperoxidase-thiocyanate-hydrogen peroxide. *Infection and Immunity*, 40: 70–80.

CAC (Commission du Codex Alimentarius). 1991a. Rapport de la dix-neuvième session de la Commission du Codex Alimentarius, Rome, 1er – 10 juillet 1991. Rome, Italie.

CAC. 1991b. Directives pour la conservation du lait cru par le système lactoperoxydase (CAC GL 13/91). Disponible sur: http://www.codexalimentarius.net/download/standards/29/CXG_013f.pdf

CAC. 2002a. Rapport de la cinquième session du Comité du Codex sur le lait et les produits laitiers. Wellington, Nouvelle-Zélande, 8 – 12 avril 2002. Disponible sur : http://www.codexalimentarius.net/download/report/60/Al03_11e.pdf

CAC. 2002b. Rapport de la cinquantième session du Comité exécutif de la Commission du Codex Alimentarius. Rome, Italie, 26 – 28 juin 2002. Disponible sur: <http://www.codexalimentarius.net/download/report/500/Al0303ae.pdf>

CAC. 2002c. Rapport de la quinzième session du Comité de coordination du Codex pour l'Afrique, Kampala, Ouganda, 26 – 29 novembre 2002. Disponible sur: http://www.codexalimentarius.net/download/report/407/Al03_28e.pdf

CAC. 2002d. Rapport de la septième session du Comité FAO/OMS de coordination pour l'Amérique du Nord et le Pacifique Sud-Ouest. Vancouver, Canada, 29 octobre

– 1er novembre 2002. Disponible sur: http://www.codexalimentarius.net/download/report/604/Al03_32e.pdf

CAC. 2003. Rapport de la trente-cinquième session du Comité du Codex sur l'hygiène alimentaire. Orlando, Floride, Etats-Unis d'Amérique, 27 janvier – 1er février 2003. Disponible sur: <http://www.codexalimentarius.net/download/report/117/Al0313ae.pdf>

CAC. 2004a. Rapport de la vingt-septième session de la Commission du Codex Alimentarius. 28 juin – 3 juillet 2004, Genève, Suisse. Document N° 04/27/41. Disponible sur: http://www.codexalimentarius.net/download/report/621/al04_41e.pdf

CAC. 2004b. Code d'usages en matière d'hygiène pour le lait et les produits laitiers [CAC/RCP 57-2004]. Disponible sur: http://www.codexalimentarius.net/download/standards/10087/CXC_057_2004f.pdf

Dahlberg, P., Bergmark, A., Eltom, M., Björck, L., Bruce, Å., Hambræus, L. & Claesson, O. 1984. Intake of thiocyanate by way of milk and its possible effect on thyroid function. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 39: 416–420.

Dahlberg, P., Bergmark, A., Eltom, M., Björck, L. & Claesson, O. 1985. Effect of thiocyanate levels in milk on thyroid function in iodine deficient subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 41: 1010–1014.

Delange, F. & Ahluwalia, R. (Eds). 1983. *Cassava toxicity and Thyroid Research and Public Health Issues*. Ottawa: International Development Research Centre.

Dennis, F. & Ramet, J.P. 1989. Antibacterial activity of the lactoperoxydase system on *Listeria monocytogenes* in trypticase soy broth, UHT milk and French soft cheese. *Journal of Food Protection*, 52: 706–711.

De Spiegeleer, P., Sermon, J., Vanoirbeek, K., Aertsen, A. & Michiels C.W. 2005. Role of porins in sensitivity of *E. coli* to antibacterial activity of the lactoperoxydase enzyme system. *Applied and Environmental Microbiology*, 71: 3512–3518.

De Valdez, G.F., Bibi, W. & Bachmann, M.R. 1988. Antibacterial effect of the lactoperoxydase/thiocyanate/hydrogen peroxide (LP) system on the activity of thermophilic starter culture. *Milchwissenschaft*, 49: 144–146.

de Wit, J.N. & van Hooijdonk, C.C.M. 1996. Structure, functions and applications of lactoperoxydase in natural antimicrobial systems. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 50: 227–244.

Dionysius, D.A., Grieve, P.A. & Vos, A.C. 1992. Studies on the lactoperoxydase system: reaction kinetics and antibacterial activity using two methods for hydrogen peroxide

generation. *Journal of Applied Bacteriology*, 72: 146–153.

Earnshaw, R.G., Banks, J.G., Francotte, C. & Defrise, D. 1990. Inhibition of *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* in infant formula milk by an activated lactoperoxidase system. *Journal of Food Protection*, 53: 170-172.

El-Agamy, E.I., Ruppanner, R., Ismail, A., Champagne, C.P. & Assaf, R. 1992. Antibacterial and antiviral activity of camel milk protective proteins. *Journal of Dairy Research*, 59: 169–175.

El-Shenawy, M.A., Garcia, H.S. & Marth, E.H. 1990. Inhibition and inactivation of *Listeria monocytogenes* by the lactoperoxidase system in raw milk, buffer or semi-synthetic medium. *Milchwissenschaft*, 45: 638–641.

Erman, A.M., Bourdoux, P., Kinthaert, J., Lagasse, K., Luvivila, R., Mafuta, M., Thilly, C.H. & Delange, F. 1983. Role of cassava in the etiology of endemic goitre and cretinism. In Delange, F. & Ahluwalia, R. (eds.). *Cassava toxicity and thyroid: research and public health issues*, p.9–16. Ottawa, IDRC (IDRC-207e).

FAO. 1991. Racines, tubercules, plantains et bananes dans la nutrition humaine. FAO, Rome.

FAO. 2002. Perspectives de l'alimentation – Lait et produits laitiers. No. 2, mai 2002. Disponible sur: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/005/y6668e/Y6668e14.htm

FAO. 2003. The Smallholder dairy sub-sector in Kenya. A national sub-sector assessment for FAO Action Programme for the Prevention of Food Losses. Available at <http://www.fao.org/ag/againfo/projects/en/pfl/documents.html>

FAO. 2004a. Le système lactoperoxydase pour la conservation du lait. Démonstrations sur le terrain. Disponible sur: <http://www.fao.org/ag/againfo/subjects/documents/LPS/dairy/mpv/Lactoperoxidase/field.htm>

FAO. 2004b Produits laitiers: plus de 90 millions de dollars de pertes annuelles en Afrique orientale et au Moyen-Orient. Projet triennal visant à aider les pays à réduire les pertes dans le secteur laitier. Communiqué de presse, 22 octobre 2004. Rome, FAO. Disponible sur: <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2004/51147/index.html>

FAO. 2005. Lait et produits laitiers, pertes après récolte et sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne et au Proche-Orient. Disponible sur : <http://www.fao.org/ag/againfo/projects/en/pfl/home.html>

FAO/WHO 1965. Evaluation of the hazards to consumers resulting from the use of

fumigants in the protection of food. FAO Meeting Report No. PL/1965/10/2 WHO/Food Add/28.65. Available at <http://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v65apr09.htm>

Farrag, S.A., El-Gazzar, F.E. & Marth, E.H. 1992a. Use of lactoperoxidase system to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 in a semi-synthetic medium and in raw milk. *Milchwissenschaft*, 47: 15–17.

Farrag, S.A., El-Gazzar, F.E. & Marth, E.H. 1992b. Inactivation of *Yersinia enterocolitica* by the lactoperoxidase system in a semi-synthetic medium and in raw milk. *Milchwissenschaft*, 47: 95–97.

Farrag, S.A. & Marth, E.H. 1992. *Escherichia coli* O157:H7, *Yersinia enterocolitica* and their control in milk by the lactoperoxidase system: a review. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie – Food Science and Technology*, 25: 201–211.

Fernández, O., Marrero, E. & Capdevila, J.Z. 2005. Technical Note: Safety considerations on lactoperoxidase system use for milk preservation. *Rev. Salud Animal (Cuba)*, 27(3): 205–209.

Fonteh, F.A., Grandison, A.S. & Lewis, M.J. 2002. Variations of lactoperoxidase activity and thiocyanate content in cows' and goats' milk throughout lactation. *Journal of Dairy Research*, 69: 401–409.

Fonteh, F.A., Grandison, A.S., & Lewis, M.J. 2005. Factors affecting lactoperoxidase activity. *International Journal of Dairy Technology*, 4(58): 233–236.

Food Standards Australia and New Zealand. 2002. Final Assessment Report. Application 404. Available at: http://www.catallix.com/image/z_fsanz.pdf

Garcia-Graells, C., van Opstal, I., Vanmuysen, S.C.M. & Michiels, C.W. 2003. The lactoperoxidase system increases efficacy of high-pressure inactivation of foodborne bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 81: 211–221.

Garrow, J.S., James, W.P.T. & Ralph, A. 2000. *Human Nutrition and Dietetics 10th Edition*. p.452. London: Churchill Livingstone.

Gay, M. & Amar, A. 2005. Factors moderating *Listeria monocytogenes* growth in raw milk and in soft cheese made from raw milk. *Lait*, 85: 153–170.

Gaya, P., Medina, M. & Nuñez, M. 1991. Effect of the lactoperoxidase system on *Listeria monocytogenes* behaviour in raw milk at refrigeration temperatures. *Applied and Environmental Microbiology*, 57: 3355–3360.

- Geiszt, M., Witta, J., Baffi, J., Lekstrom, K. & Leto, T. 2003. Dual oxidases represent novel hydrogen peroxide sources supporting mucosal surface host defence. *The FASEB Journal*, 17: 1502–1504.
- Green, W.L. 1978. Mechanism of action of antithyroid compounds. In Werner, S.C. Ingbar, S.H. (eds). *The thyroid* (4th ed.). New York, NY: Harper and Row Publishers, 41–51.
- Grieve, P.A., Dionysius, D.A. & Vos, A.C. 1992. In vitro antibacterial activity of the lactoperoxidase system towards enterotoxigenic strains of *Escherichia coli*. *Journal of Veterinary Medicine Series B*, 39: 537–545.
- Guirguis, N. & Hickey, M.W. 1987. Factors affecting the performance of thermophilic starters II. Sensitivity to the lactoperoxidase system. *Australian Journal of Dairy Technology*, 42: 14–16.
- Hetzel, B.S. 1983. Iodine deficiency disorders (IDD) and their eradication. *Lancet*, ii: 1126–1129.
- Heuvelink, A.E., Bleumink, B., Van den Biggelaar, F.L., Te Giffel, M.C., Beumer, R.R. & de Boer, E. 1998. Occurrence and survival of verocytotoxin-producing *Escherichia coli* O157 in raw cow's milk in The Netherlands. *Journal of Food Protection*, 61: 1597–1601.
- IDF (International Dairy Federation). 1991. Significance of the indigenous antimicrobial agents of milk to the dairy industry. *Bulletin of the International Dairy Federation*, 264: 2–19.
- IFCN (The International Farm Comparison Network). 2002. Dairy Report. *Status and Prospects of Typical Dairy Farms Worldwide*.
- JECFA. 1990. Toxicological evaluation of certain food additives and contaminants. Report of the thirty fifth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA), Annex 4. Available at <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v26je01.htm>
- Kamau, D.N., Doores, S. & Pruitt, K.M. 1990. Antibacterial activity of the lactoperoxidase system against *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* in milk. *Journal of Food Protection*, 53: 1010–1014.
- Kangumba, J.G.K., Venter, E.H. & Coetzer, J.A.W. 1997. The effect of the lactoperoxidase system and souring on certain potential human pathogen in cow's milk. *Journal of the South African Veterinary Association*. 68: 130–136.
- Korhonen, H., Rintamäki, O., Antila, M., Tuori, M. & Poutiainen, E. 1977. A polyol mixture

or molasses treated beet pulp in the silage based diet of dairy cows. II. The effect on the lactoperoxidase and thiocyanate content of milk and the udder health. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*, 49: 330–345.

Korhonen, H. 1980. A new method for preserving milk - the lactoperoxidase antibacterial system. *World Animal Review*, 35: 23–29.

Korhonen, H. 2002. Antibacterial and antiviral activities of whey proteins. In *Proceedings of the 3rd International Whey Conference*, 12–14 Sept. 2001, Munich, Germany, B.Behr's Verlag GmbH & Co., Hamburg, pp. 303–321.

Lenander-Lumikari, M. 1992. Inhibition of *Candida albicans* by the peroxidase thiocyanate hydrogen peroxide system. *Oral Microbiology and Immunology*, 7: 315–320.

Lijinsky, W. & Kovatch, R.M. 1989. Chronic toxicity tests of sodium thiocyanate with sodium nitrate in F344 rats. *Toxicology and Industrial Health*, 5(1): 25–29.

Lin, G. & Chow, C. 2000. Studies on the lactoperoxidase system and its use in extending the storage period of cow's raw milk. *Journal of the Chinese Society of Animal Science*, 29: 89–99.

Marks, N.E., Grandison, A.S. & Lewis, M.J. 2001. Challenge testing of the lactoperoxidase system in pasteurized skim milk. *Journal of Applied Microbiology*, 91: 735–741.

Marshall, V., Cole, W.M. & Bramley, A.J. 1986. Influence of the lactoperoxidase system on susceptibility of the udder to *Streptococcus uberis* infection. *Journal of Dairy Research*, 53: 507–514.

Mastovinovic, J. 1983. Endemic goiter and cretinism at the dawn of the third millennium. *Annual Review of Nutrition*, 3: 341–412.

Mickelson, M.N. 1966. Effect of lactoperoxidase and thicyanate on the growth of *Streptococcus pyogenes* and *Streptococcus agalactiae* in chemically defined culture medium. *Journal of General Microbiology*, 43: 31–43.

Muriuki H.G. 2002. Smallholder dairy production and marketing in Kenya. In Rangnekar D. & Thorpe W. (eds). *Smallholder dairy production and marketing - Opportunities and constraints*. Proceedings of a South–South workshop held at NDDDB, Anand, India, 13–16 March 2001. NDDDB (National Dairy Development Board), Anand, India, and ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya.

Muriuki, H., Waithaka M., Omore A., Hooton N., Staal S.J. & Odhiambo, P. 2003. *The Policy Environment in the Kenya Dairy Sub-Sector: A Review*. Nairobi, MoA/KARI/ILRI Collaborative Research Report. Smallholder Dairy (Research and Development) Project.

NDA (National Dairy Authority). 2004. *Annual Report*. National Dairy Authority in the Department of Agriculture, Philippines.

Nikaido, H. 2003. Molecular basis of bacterial outer membrane permeability revisited. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 67: 593–656.

Ozer, B.A., Grandison, A., Robinson, R. & Atamer, M. 2003. Effects of lactoperoxidase and hydrogen peroxide on rheological properties of yoghurt. *Journal of Dairy Research*. 70(2): 227–232.

Pitt, W.M., Harden, T.J. & Hull, H.R. 2000. Investigation of the antimicrobial activity of raw milk against several foodborne pathogens. *Milchwissenschaft*, 55: 249–252.

Pitt, W.M., Harden, T.J. & Hull, R.R. 1999. Antibacterial activity of raw milk against *Listeria monocytogenes*. *Australian Journal of Dairy Technology*, 54: 90–93.

Ponce, C.P. 2005. Reports of field studies from Cuba and other South-American and central-American countries presented at the technical meeting on the benefits and potential risks of the LP-system of raw milk preservation. Rome, 28 Nov. 2005 – 2 Dec. 2005.

Ponce, C.P., Armenteros, A. M., Villoch, C., Montes de Oca, N. & Carreras, J. 2005. Evaluation of microbiological and chemical risks of the lactoperoxidase system activation in raw milk. Available at http://bvs.sld.cu/uats/rtv_files/2005/rtv0505.htm

Purdy, M.A., Tenovuo, J., Pruitt, K.M. & White, W.E. 1983. Effect of growth phase and cell envelop structure on susceptibility of *Salmonella typhimurium* to the lactoperoxidase-hydrogen peroxide system. *Infection and Immunity*, 39: 1187–1195.

Ramet, J.P. 2001. The technology of making cheese from camel milk (*Camelus dromedarius*). *FAO Animal Production and Health Paper* 113. FAO, Rome.

Ramet, J.P. 2004. Influence of sodium thiocyanate and percarbonate on the freezing point and on the sensory properties of milk. Ecole Nationale Supérieure Agronomie et des Industries Agro-alimentaire (ENSAIA), Nancy, France. *Technical paper presented at the Fifth Global Lactoperoxidase Experts Meeting*. Capetown, South Africa, Nov. 2004.

Ramet, J.P., Abeideirrahmane, N. & Ould Mohammed, M.A. 2004. Preservation of raw camel's milk by activation of LP-s in Mauritania. Technical Project document, project GCP/INT/793/FRA. FAO, Rome.

Reiter, B. 1978. Review of the progress of dairy science: Antimicrobial systems in milk. *Journal of Dairy Research*, 45: 131–147.

Reiter, B. 1985. Protective proteins in milk- biological significance and exploitation. *IDF Bulletin*, No. 191: 1–35.

Reiter, B. & Härnulf, G. 1984. Lactoperoxidase antibacterial system: natural occurrence, biological functions and practical applications. *Journal of Food Protection*, 47: 724–732.

Reiter, B., Marshall, V.M., Björck, L. & Rosén, C.G. 1976. Non specific bactericidal activity of the lactoperoxidase-thiocyanate-hydrogen peroxide system of milk against *Escherichia coli* and some Gram-negative pathogens. *Infection and Immunity*, 13: 800–807.

Reiter, B., Marshall, V.M. & Philips, S.M. 1980. The antibiotic activity of the lactoperoxidase-thiocyanate-hydrogen peroxide system in the calf abomasum. *Research in Veterinary Science*, 28: 116–123.

Reiter, B. & Perraudin, J-P. 1991. Lactoperoxidase: biological functions. In J. Everse, K.E. Everse and M.B. Grisham, eds. *Peroxidases in Chemistry and Biology*, pp. 143–180, CRC Press Boca Raton.

Republic of Cuba. 2005. Information from Republic of Cuba about the Lactoperoxidase system of raw milk preservation presented at the technical meeting on the benefits and potential risks of the LP-system of raw milk preservation, Rome, 28 Nov. 2005 – 2 Dec. 2005.

Revol-Junelles, A-M. & Milliere, J-B. 2005. *The lactoperoxidase system (LP-s) on milk preservation: its use, antimicrobial activity and effects on milk products*. Technical monograph.

Sandholm, M., Ali-Vehmas, T., Kaartinen, L. & Junnila, M. 1988. Glucose oxidase (GOD) as a source of hydrogen peroxide for the lactoperoxidase (LPO) system in milk: Antibacterial effect of the GOD-LPO system against mastitis pathogens. *Journal of Veterinary Medicine B*, 35: 346–352.

Santos, J.A., López-Díaz, T.M., García-Fernández, M.C., García-López, M.L. & Otero. 1995. Antibacterial effect of the lactoperoxidase system against *Aeromonas hydrophila* and psychrotrophs during the manufacturing of the Spanish sheep fresh cheese Villalón. *Milchwissenschaft*, 50(12): 690–692.

Scrimshaw, N.S. & San Giovanni, J.P. 1997. Synergism of nutrition, infection, and immunity: an overview. *American Journal of Clinical Nutrition*, 66: 464S–477S.

Seifu, E., Buys, E.M. & Donkin, E.F. 2003. Effect of the lactoperoxidase system on the activity of mesophilic cheese starter cultures in goat milk. *International Dairy Journal*,

13: 953–959.

Seifu E., Donkin E.F., Buys E.M., 2004. Application of the lactoperoxidase system to improve the quality of goat milk cheese. *South African Journal of Animal Science*, 184–187.

Seifu, E., Buys, E.M. & Donkin, E.F. 2005. Significance of the lactoperoxidase system in the dairy industry and its potential applications: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 16: 137–154.

Shin, K., Yamauchi, K., Teraguchi, S., Hayasawa, H. & Imoto, I. 2002. Susceptibility of *Helicobacter pylori* and its urease activity to the peroxidase-hydrogen peroxide-thiocyanate antimicrobial system. *Journal of Medical Microbiology*, 51: 231–237.

Siirtola, T.V.A. 2005. Report from field studies in Uganda presented at the technical meeting on the benefits and potential risks of the LP-system of raw milk preservation, Rome, 28 Nov. 2005 – 2 Dec. 2005.

Siragusa, R. & Johnson, M.G. 1989. Inhibition of *Listeria monocytogenes* growth by the lactoperoxidase-thiocyanate-hydrogen peroxide antimicrobial system. *Applied and Environmental Microbiology*, 55: 2802–2805.

Stadhouders, J. & Beumer, R.R. 1994. Actual and potential applications of the natural antimicrobial agents of milk in the dairy industry. Proceedings of the IDF Seminar on Indigenous Antimicrobial Agents of Milk- Recent Developments. Uppsala, Sweden, 31 Aug–1 Sep 1993. *IDF Special Issue No. 9404*: 175–197.

Tenovuo, J. 2002. Clinical applications of antimicrobial host proteins lactoperoxidase, lysozyme and lactoferrin in xerostomia: efficacy and safety. *Oral Diseases*, 8: 23–29.

Thomas, E., Bates, K. & Jefferson, M. 1980. Hypothiocyanate ion: detection of the antimicrobial agent in human saliva. *Journal of Dental Research*, 59: 1466–1472.

van Hooijdonk, A.C.M., Kussendrager, K.D. & Steijns, J.M. 2000. In vivo antimicrobial and antiviral activity of components in bovine milk and colostrums involved in non-specific defence. *British Journal of Nutrition*, 84 (Suppl.1): S127–134.

Vilkki, P. & Piironen, E. 1962. Studies on the goitrogenic influence of cow's milk on man. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae Sreies. A. II. Chemica*, 110: 3–14.

Wang, H., Ye X. & Ng, T. 2000. First demonstration of an inhibitory activity of milk proteins against human immunodeficiency virus-1 reverse transcriptase and the effect of succinylation. *Life Sciences*, 67 (22): 2745–2752.

Wang, Y-Y. & Yang, S-H. 1985. Improvement in hearing among otherwise normal school-children in iodine-deficient areas of Guizhou, China, following use of iodised salt. *The Lancet*, September 7, 1985.

Wanyoike, F.N., Kutwa, J., Mwambia, M., Staal, S. & Omore, A. 2005. Comparison of costs and feasibility of different milk preservation systems in Kenya. Paper presented at the SDP workshop on milk preservation options, 2005.

WHO (World Health Organization). *Guidelines on food fortification with micronutrients*. Allen, L., de Benoist, B., Dary, O. & Hurrell, R. (eds). WHO, Geneva (in press).

WHO. 1990. Evaluation of certain food additives and contaminants. (Thirty fifth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). WHO Technical Report Series, No. 789 (and corrigenda). WHO, Geneva.

WHO. 1993. Toxicological evaluation of certain food additives and naturally occurring toxicants. WHO Food Additives Series, No. 30. WHO, Geneva.

WHO. 1995. Basic analytical toxicology. R.J. Flanagan, R.J., Braithwaite, R.A., Brown, S.S., Widdop, P. & de Wolff, F.A. 6.106 Thiocyanates. Available at http://www.who.int/ipcs/publications/training_poisons/basic_analytical_tox/en/index11.html

Wolfson, L. M. & Sumner, S. S. 1993. Antibacterial activity of the lactoperoxidase system: A review. *Journal of Food Protection*, 56: 887–892.

Wright, R.C. & Tramer, J. 1958. Factors influencing the activity of cheese starters. The role of milk peroxidase. *Journal of Dairy Research*, 25: 104–118.

Zapico, P., Gaya, P., Nunez, M. & Medina, M. 1993. Goats' milk lactoperoxidase system against *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Protection*, 56: 988–990.

Zapico, P., Gaya, P., Nunez, M. & Medina, M. 1995. Activity of goat's milk lactoperoxidase system on *Pseudomonas fluorescens* and *Escherichia coli* at refrigeration temperature. *Journal of Food Protection*, 58: 1136–1138.

Annexe A – Documents soumis à la suite de l'appel FAO/OMS pour l'obtention de données

Bennett, A. 2000. The Lactoperoxidase System (LP-s) of preservation. A poster presented in an E-mail conference on "Small Scale Milk Collection and Processing in developing Countries". Available at www.fao.org/ag/againfo/subjects/documents/LPS/DAIRY/ecs/Papers/pp_lp_s.htmDimitrov, T. *Effect of dairy animal feeding on SCN- level in raw milk.*

Dimitrov, T. & Slavchev, G. 1998. Effect of the activated Lactoperoxidase system in bovine milk on the quality of white brined cheese. Central Veterinary Medical Research Institute, Sofia. *Veterinary Medicine*, 1: 23–25.

Ephanto, R.K. 2005. *Workshop on milk preservation options of Kenya*. Nairobi, ILRI and Kenya Dairy Board.

FAO. 2003. Workshop on the prospectives on the application of lactoperoxidase system in milk handling and preservation in Indonesia. FAO, Jakarta.

Florence, A., Fonteh, F.A., Grandison, A.S. & Lewis, M.J. *Factors affecting lactoperoxidase activity.*

Fonteh, F.A., Grandison, A.S., and Lewis, M.J. 2005. Factors affecting lactoperoxidase activity. *International Journal of Dairy Technology*, 2005, 4(58): 233–236.

Fonteh, F.A., Grandison, A.S., Lewis, M.J. & Niba, A. 2005. The keeping quality of LPS-activated milk in the western highlands of Cameroon. *Livestock Research for Rural Development*, 17: Article 114.

Food Standards Australia and New Zealand. 2002. Final Assessment Report. Application 404. Available at http://www.catallix.com/image/z_fsanz.pdf

Korhonen, H. 2004. The lactoperoxidase system in mastitic milk. FAO LP-s Expert Meeting 29 February – 1 March 2004, Cape Town, South Africa.

Maigné, D., Revol, A.M., Millière, J.B. 2002. Stabilité thermique des enzymes participant à l'activité inhibitrice du système Lactoperoxydase (LPS). *Rapport interne*. ENSAIA.

Muriuki, H.G. 2005. Dairy Industry in Kenya - Use of alternative milk preservation System to improve producers' livelihood, presented at the technical meeting on the benefits and potential risks of the LP-system of raw milk preservation, Rome, 28 Nov. 2005 – 2 Dec. 2005.

Quattara, B. & Sawagodo, L.L. 1993. Lactic acid production and bacterial growth in hydrogen peroxide treated milk. *Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, 5: 101-111.

Quattara, B., Thombiano, A. & Bere, A. 1992. Delimitation of thiocyanates in zebu of the Sudanese Sahel part of Burkina Faso. *Rev. Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, 4: 73-82.

Ponce, C.P. 2005. Information from Republic of Cuba about the lactoperoxidase system for raw milk preservation presented at the technical meeting on the benefits and potential risks of the LP-system of raw milk preservation, Rome, 28 Nov. 2005 – 2 Dec. 2005.

Ponce, C.P., Armenteros, A. M., Villoch, C., Montes de Oca N. & Carreras, J. 2005. Evaluation of microbiological and chemical risks of the lactoperoxidase system activation in raw milk. Available at http://bvs.sld.cu/uats/rtv_files/2005/rtv0505.htm in Spanish. Also submitted by Oficina Nacional de Normalizacion, Ministerio de Ciencia, Tecnologia y Medio Ambiente, Cuba.

Quattara, B. & Sawadogo, L.L. 1993. Lactic Acid Production and Bacterial Growth in Hydrogen Peroxide Treated Milk. *Rés. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, 5: 101-111.

Ramet, J.P. *Influence of sodium of thiocyanate and percarbonate on the freezing point and on the sensory properties of milk.*

Ramet, J.P., Abeideirrahmane, N. & Ould Mohammed, M.A. 2004. *Preservation of raw camel's milk by activation of LP-s in Mauritania.* Technical Project document, project GCP/INT/793/FRA. FAO, Rome.

Ramet, J.P. 2002. Influence of sodium thiocyanate on the freezing point and on the sensory quality of milk. Com. *Fifth Meeting of the LP Group of Experts.* Cape Town, S.A.

Ramet, J.P. & Lhoste, F. 2004. Preservation of zebu's milk by activation of LP-s in Mauritania. Technical Project document, project GCP/INT/793/FRA, FAO, Rome.

SDP (Smallholder Dairy Project). 2004. LP-s: a practical alternative for reducing post-harvest milk losses. In *SDP policy Brief 8.* Kenya, Smallholder Dairy Project.

Siirtola, T.V.A. 1995. Preservation of Raw Milk by Activation of its Lactoperoxidase System: Trials in Uganda. FAO/UGA/TCP 4453 Project.

Siirtola, T.V.A. 2003. *Workshop on the prospectives on the application of lactoperoxidase system in milk handling and preservation in Indonesia*. Jakarta, 6 October 2003.

Wanyoike, F.N., Kutwa, J., Mwambia, M., Staal, S. & Omore, A. 2005. Comparison of costs and feasibility of different milk preservation systems in Kenya. Paper presented at the SDP workshop on milk preservation options, 2005.

Annexe B – Autres documents de travail présentés durant la réunion

Björck, L., Rosen, C.G., Marshall, V. & Reiter, B. 1975. Antibacterial activity of the lactoperoxidase system in milk against pseudomonads and other Gram-negative bacteria. *Applied Microbiology*, 30: 199–204.

Fernández, O., Marrero, E. & Capdevila, J.Z. 2005. Technical Note: Safety considerations on lactoperoxidase system use for milk preservation, *Rev. Salud Anim.* 27(3): 205–209.

Loimaranta, V., Tenovuo, J. & Korhonen, H. 1998. Combined inhibitory effect of bovine immune whey and peroxide-generated hypothiocyanite against glucose uptake by *Streptococcus mutans*. *Oral Microbiol. Immunol.*, 13: 378–381.

MoALD&M (Ministry of Agriculture Livestock Development and Marketing). 1993. *Kenya Dairy Development Policy*. Nairobi, Ministry of Agriculture, Livestock Development and Marketing.

Muriuki, H., Waithaka, M., Omore, A., Hooton, N., Staal, S.J. & Odhiambo, P. 2003. *The Policy Environment in the Kenya Dairy Sub-Sector: A Review*. Nairobi, MoA/KARI/ILRI Collaborative Research Report. Smallholder Dairy (Research and Development) Project.

Özer, B., Grandison, A.S., Robinson, R. & Atamer, M. 2003. Effects of lactoperoxidase and hydrogen peroxide on rheological properties of yoghurt. *Journal of Dairy Research*, 70: 227–232.

SITE (Strengthening Informal Sector Training). 2005. *Analysis of market access barriers for the dairy SMEs in Kenya. Challenges and Opportunities*. Nairobi, SITE and Traidcraft Exchange.

Tonacchera, M., Pinchera, A., Dimida, A., Ferrarini, E., Agretti, P., Vitti, P., Santini, F., Crump, K. & Gibbs, J. 2004. Relative potencies and additivity of perchlorate, thiocyanate, nitrate, and iodide on the inhibition of radioactive iodide uptake by the human sodium iodide symporter. *Thyroid*, 14(12): 1012–1019.

Annexe C – Tableau récapitulatif comparant le système LP, la réfrigération et la combinaison système LP-réfrigération

| | Sécurité sanitaire | Efficacité microbiologique | Applicabilité | Coût/avantage |
|--|--|--|--|---|
| Système LP | Pas de risque pour la santé publique lorsqu'il est utilisé conformément aux directives Codex. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Principalement bactériostatique pour de nombreux microorganismes présents dans le lait et autres agents pathogènes humains. 2. Maintient la qualité initiale du lait pendant 4–7 heures (de 30 à 35°C) et jusqu'à 24–26 heures à 15°C. 3. N'améliore pas la qualité du lait. 4. Pas de résistance microbiologique à long terme prévue. | <p>Lait de toutes espèces.</p> <p>Peut perturber la fermentation lorsque le lait n'est pas soumis à un traitement thermique adéquat.</p> <p>Pas d'effets nuisibles importants sur les caractéristiques chimiques, physiques ou sensorielles du lait cru et des produits laitiers..</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Faible coût de mise en place et d'entretien. 2. Aucun besoin d'énergie. 3. Peut être appliqué dans des zones où la réfrigération n'est pas une option viable. 4. Peut augmenter la disponibilité en lait et en produits laitiers. 5. Son emploi exige une formation appropriée du personnel. |
| Réfrigération | Pas de risque pour la santé publique. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Principalement bactériostatique pour de nombreux microorganismes présents dans le lait et autres agents pathogènes humains. 2. Maintient la qualité initiale du lait pendant plusieurs jours (en fonction de la temp. de réfrigération et de la qualité microbienne du lait à l'origine). 3. N'améliore pas la qualité du lait. | <p>Lait de toutes espèces.</p> <p>Effets physiques et chimiques négatifs limités.</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Prolonge la durée de conservation du lait de plusieurs jours. 2. Rien n'est ajouté au lait. 3. Exige de l'électricité. 4. Coût relativement élevé pour investissement initial et entretien. |
| Réfrigération couplée au système LP | Pas de risque pour la santé publique lorsqu'ils sont utilisés conformément aux directives Codex. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Principalement bactériostatique pour de nombreux microorganismes présents dans le lait et autres agents pathogènes humains. 2. Maintiennent la qualité initiale du lait pendant 5–6 jours à 4°C. 3. N'améliorent pas la qualité du lait. 4. Pas de résistance microbologique à long terme prévue. | Lait de toutes espèces. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Augmentent la durée de conservation du lait et des produits laitiers par rapport à la réfrigération employée seule. 2. Augmentation minimale du coût. |

Annexe D – Exposition au thiocyanate selon les régimes alimentaires régionaux GEMS/Food avec et sans lait soumis au système lactoperoxydase

EXPOSITION AU THIOCYANATE SANS SYSTÈME LP EN UTILISANT LES APPORTS ALIMENTAIRES DES RÉGIMES ALIMENTAIRES RÉGIONAUX GEMS/FOOD EN MILLIGRAMMES/AN

| Régimes par modules de consommation GEMS/Food ⁷ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Légumes du genre Brassica | 87.8 | 1001.5 | 379.1 | 1761.9 | 1267.1 | 1125.5 | 1071.2 | 203.5 | 492.0 | 80.4 | 173.3 | 2240.2 | 814.4 |
| Tomate | 19.6 | 370.0 | 236.0 | 121.4 | 63.2 | 74.4 | 47.1 | 63.1 | 29.9 | 25.0 | 71.2 | 19.9 | 180.5 |
| Manioc | 971.2 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 62.4 | 96.5 | 685.3 | 1128.7 | 230.9 | 79.2 | 2.6 |
| Haricot de Lima, sec | 0.0 | 4.8 | 4.7 | 17.4 | 0.0 | 0.0 | 9.5 | 32.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.4 | 2.9 |
| Lait seulement | 344.2 | 953.3 | 396.6 | 1512.6 | 898.0 | 1189.4 | 330.1 | 604.0 | 408.1 | 511.6 | 1038.4 | 285.5 | 1439.7 |
| Exposition totale au thiocyanate (milligrammes/an) | 1422.9 | 2329.7 | 1016.5 | 3413.4 | 2228.3 | 2389.3 | 1520.3 | 999.9 | 1615.3 | 1745.7 | 1513.9 | 2640.2 | 2440.1 |
| Exposition totale au thiocyanate (milligrammes/jour) | 4.0 | 6.5 | 2.8 | 9.5 | 6.2 | 6.6 | 4.2 | 2.8 | 4.5 | 4.8 | 4.2 | 7.3 | 6.8 |

EXPOSITION AU THIOCYANATE AVEC SYSTÈME LP EN UTILISANT LES APPORTS ALIMENTAIRES DES RÉGIMES ALIMENTAIRES RÉGIONAUX GEMS/FOOD EN MILLIGRAMMES/AN⁸

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Légumes du genre Brassica | 87.8 | 1001.5 | 379.1 | 1761.9 | 1267.1 | 1125.5 | 1071.2 | 203.5 | 492.0 | 80.4 | 173.3 | 2240.2 | 814.4 |
| Tomate | 19.6 | 370.0 | 236.0 | 121.4 | 63.2 | 74.4 | 47.1 | 63.1 | 29.9 | 25.0 | 71.2 | 19.9 | 180.5 |
| Manioc | 971.2 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 62.4 | 96.5 | 685.3 | 1128.7 | 230.9 | 79.2 | 2.6 |
| Haricot de Lima, sec | 0.0 | 4.8 | 4.7 | 17.4 | 0.0 | 0.0 | 9.5 | 32.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.4 | 2.9 |
| Lait seulement | 1307.9 | 3622.5 | 1507.2 | 5747.9 | 3412.3 | 4519.6 | 1254.3 | 2295.0 | 1550.7 | 1944.0 | 3945.8 | 1084.9 | 5470.7 |
| Exposition totale au thiocyanate* | 2386.6 | 4998.9 | 2127.1 | 7668.7 | 4742.6 | 5719.5 | 2444.5 | 2691.0 | 2757.9 | 3178.2 | 4421.4 | 3439.5 | 6471.2 |
| *y compris 100% de lait soumis au système LP (milligrammes/an) | | | | | | | | | | | | | |
| Exposition totale au thiocyanate | 6.6 | 13.9 | 5.9 | 21.2 | 13.2 | 15.9 | 6.8 | 7.5 | 7.7 | 8.8 | 12.3 | 9.6 | 18.0 |

⁷Pour une liste complète des codes alimentaires nationaux (énumérés A-M ci-dessus) voir <http://www.who.int/foodsafety/chem/gems/en/index1.html>
⁸L'exposition moyenne au thiocyanate de sodium a été estimée en multipliant la consommation moyenne des 13 régimes alimentaires régionaux GEMS/Food avec la concentration moyenne dans quelques aliments.

Annexe E – Apports alimentaires selon les régimes alimentaires régionaux GEMS/Food en kilogrammes/an

| CODE | GEMS | NOTES | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | Thiocyanate de sodium ou HCN en milligrammes/ kilogramme |
|--------------|---|---------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|------------|--|
| VB 40 | Légumes du genre brassica ¹⁰ | (14) | 2.2 | 25.0 | 9.5 | 44.0 | 31.7 | 28.1 | 26.8 | 5.1 | 12.3 | 2.0 | 4.3 | 56.0 | 20.4 | 40 ¹¹ |
| VO 448 | Tomate ¹² | (9) | 9.8 | 185.0 | 118.0 | 60.7 | 31.6 | 37.2 | 23.5 | 31.6 | 15.0 | 12.5 | 35.6 | 9.9 | 90.3 | 2 |
| VR 463 | Manioc ¹³ | (1) | 242.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.6 | 24.1 | 171.3 | 282.2 | 57.7 | 19.8 | 0.7 | 4 ¹⁴ |
| VD 534 | Haricot de Lima, sec ¹⁵ | | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.1 | 25 ¹⁶ |
| ML 106 | Laits ¹⁷ | (11)(2) | 68.8 | 190.7 | 79.3 | 302.5 | 179.6 | 237.9 | 66.0 | 120.8 | 81.6 | 102.3 | 207.7 | 57.1 | 287.9 | 5 (19 avec système LP) |
| A0 31 | Total lait et produits laitiers | | 70.5 | 223.4 | 87.9 | 317.4 | 249.7 | 301.4 | 66.6 | 136.2 | 85.6 | 103.5 | 211.7 | 63.9 | 6.8 | |

⁹Pour une liste complète des codes alimentaires nationaux (énumérés A-M ci-dessus) voir <http://www.who.int/foodsafety/chem/gems/en/index1.html>

¹⁰Food Standards Australia and New Zealand, 2002

¹¹Cuit (60% passe dans l'eau de cuisson).

¹²Tonaacchera, et al., 2004

¹³OMS, 1993

¹⁴Cuit (1% de cru)

¹⁵OMS, 1993

¹⁶Cuit (1% de cru)

¹⁷Introduction 1.1 du document CAC/GL 13-1991 (CAC, 1991b)

La lactoperoxydase est une enzyme présente à l'état naturel dans le lait. Son activation en présence de peroxyde d'hydrogène et de thiocyanate, deux enzymes naturellement présentes dans le lait à des concentrations diverses, a un effet bactériostatique sur le lait cru et prolonge effectivement la durée de conservation de ce lait pendant 7 ou 8 heures à des températures ambiantes d'environ 30°C ou plus longtemps à des températures plus basses. Grâce à cette conservabilité accrue, notamment lorsque la température est élevée, il est possible de transporter le lait du point de collecte jusqu'au centre de transformation sans réfrigération.

Le Codex a adopté en 1991 les « Directives pour la conservation du lait cru par le système lactoperoxydase » afin de faciliter son application dans des situations où, pour des raisons techniques, économiques et/ou pratiques, il n'est pas possible d'utiliser des installations de refroidissement. Toutefois, à ce moment là, la Commission du Codex Alimentarius est aussi venue de souligner que le système ne devrait pas être utilisé pour les produits destinés au commerce international. Par la suite, de nombreux pays ont fait part de leur inquiétude, se demandant pourquoi le système peut être appliqué à des produits commercialisés au niveau national mais ne peut l'être aux produits faisant l'objet d'un commerce international. Afin que le Codex puisse réexaminer cette question, ces pays ont demandé à la FAO et à l'OMS de convoquer une réunion technique chargée d'examiner les informations scientifiques les plus récentes sur les risques et les avantages du système lactoperoxydase. Le présent rapport contient les résultats de cette réunion, y compris un résumé des toutes dernières informations concernant l'utilisation du système lactoperoxydase pour la conservation du lait cru, ainsi que les discussions et recommandations des experts techniques.

ISBN 978-92-5-205577-8



TC/M/A0729F/1/11.06/500