



**HAL**  
open science

# Faisabilité de la production au Mexique de fromages de chèvre additionnés de piment : aspects technologiques, sensoriels, sanitaires et économiques

Dora Angélica Avalos de La Cruz

## ► To cite this version:

Dora Angélica Avalos de La Cruz. Faisabilité de la production au Mexique de fromages de chèvre additionnés de piment : aspects technologiques, sensoriels, sanitaires et économiques. Autre. Institut National Polytechnique de Lorraine, 2007. Français. NNT : 2007INPL015N . tel-01752838

**HAL Id: tel-01752838**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01752838>**

Submitted on 29 Mar 2018

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

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



## AVERTISSEMENT

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

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

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

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE**  
**Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires**  
**Laboratoire de Science et Génie Alimentaires**

**Thèse**

Présentée à l'Institut National Polytechnique de Lorraine

Par

**Dora Angélica AVALOS DE LA CRUZ**

Pour obtenir le grade de Docteur de l'INPL

Spécialité : Procédés Biotechnologiques et Alimentaires

Ecole Doctorale : Sciences et Ingénierie des Ressources, Procédés, Produits,  
Environnement

***Faisabilité de la production au Mexique de fromages de chèvre  
additionnés de piment : aspects technologiques, sensoriels,  
sanitaires et économiques***

Soutenue publiquement le 6 mars 2007 devant le jury :

Mme. Catherine DACREMONT, Professeur à l'ENSBANA, Dijon	Rapporteur
M. Jean Louis LAMBERT, Professeur à l'ENITIAA, Nantes	Rapporteur
M. Joël HARDY, Professeur à l'ENSAIA-INPL, Nancy	Directeur
Mme. Muriel JACQUOT, Maître de Conférences à l'ENSAIA-INPL, Nancy	Co-directrice
M. Jean Bernard MILLIERE, Professeur à l'ENSAIA-INPL, Nancy	Encadrant/Examinateur



A Dieu

A mes parents

A mon frère et mes sœurs

A mes nièces et mes neveux

A mes grands parents

A mes amis

*Quand tu prendras le chemin, souhaite que la route soit longue, pleine d'aventures, riche d'enseignements... (« d'après C.C. », le Zahir, Paulo Coelho)*



## REMERCIEMENTS

Ce travail de thèse a été réalisé au Laboratoire de Science et Génie Alimentaires (LSGA) de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, sous la direction du Professeur Joël HARDY, la co-direction de Mme Muriel JACQUOT, Maître de Conférences et l'encadrement du Professeur Jean Bernard MILLIERE.

J'ai eu la chance de bénéficier d'une bourse de mon pays le Mexique, grâce au CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) et au soutien du CP (Colegio de Postgraduados), institution où je travaille et que remercie en particulier.

J'exprime mes sincères remerciements au Professeur Joël HARDY pour sa disponibilité, ses conseils, sa confiance, qui a su être présent quand il le fallait et surtout de m'avoir accueillie au sein du LSGA.

Je remercie également Mme Muriel JACQUOT pour sa disponibilité, ses conseils, ses commentaires et pour avoir suivi ce travail de près.

Je tiens à remercier le Professeur Jean Bernard MILLIERE pour son encadrement, ses conseils, sa patience et sa disponibilité.

Je remercie sincèrement les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail en qualité de rapporteurs : Mme Catherine DACREMONT, Professeur à l'ENSBANA, Dijon et Mr Jean Louis LAMBERT, Professeur à l'ENITIAA, Nantes.

Je remercie le Professeur Stéphane DESOBRY, directeur du LSGA et tous les professeurs pour leur accueil au sein du Laboratoire.

Je voudrais également remercier le personnel du LSGA et des laboratoires voisins pour leur gentillesse, leur collaboration et leur accueil et particulièrement l'aide et les conseils de Mme Maucourt, Carole, Mr Gillet, Mr Jacquot, Mme Colas, Anne, Delfine, Mlle Turban, Catheine, Mme Revol et Cédric.

Ce travail aurait été plus difficile à réussir sans l'intervention de certaines personnes et amis très chers, que je remercie le plus sincèrement : Mme Elizabeth Becker, Lynn, Flavio et Damien.

Je remercie mes amis et collègues du laboratoire qui ont été présents tout au long de ce travail sous différents aspects : Rawaa, Lili, Stefanie, Albarin, Hilaire, Kassem, Atmane, Ali, Elmira, Carole, Nizar, Laetitia, Mireille, Agnieszka, Anna Maria, Suzana, Charbel, Sandrine, Reine, Virgine, Claire, Khaoula, Ghazelène, Olivier, Marie, Eli, Aboubacar et tous ceux que je ne mentionne pas, mais qui m'ont aussi soutenue à leur façon.

Je remercie particulièrement mes amis et compatriotes pour leur soutien, amitié et conseils : Irma, Juan P., Désirée, J. Manuel, Ramón, Luis M., Manuel A., Noé, Rosebet, Rubén, Paula, Yahir, Sinuhé, Oscar et Guille, Gabriel et Viki, Brian et Corina, Luis Camacho, Hugo et Rebeca, Pedro et Silvia, Joel, Luis Martínez, Giovanni, Laura, Carlos, César, et les proches des mexicains : Monique, Aldo et Rocío, Sergio et

Casiana, Carlos, Jaime, Yolanda, Diego, Andrea, et tous ceux que je peux oublier de citer.

Je remercie également les professeurs et amis du Colegio de Postgraduados pour leur soutien inconditionnel, spécialement Mr Benjamín F., Chelo, Jaime G., Claudia, Anita et tous ceux que je ne cite pas mais à qui je pense.

Je tiens à remercier aussi mes professeurs de toujours pour leurs conseils et leur soutien : Cheli, Herlinda (+), Enrique et tous les autres qui ont contribué à ma vie professionnelle.

Je remercie spécialement mes amies pour leur soutien, pour être toujours présents, pour leurs encouragements : Natalio, Magda, Lupita, Gaby, Merino, Neto, Martha, Dolores, Lourdes, Irma, Myrna, Miguel, Marco Antonio, Faustino, Jorge, Javier, et tous ceux que je ne cite pas car heureusement la liste est très longue, mais à qui je pense.

Je remercie très particulièrement les membres des jurys de dégustation Français et Mexicains, qui ont contribué de façon très importante à ce travail, pour leur gentillesse et leur collaboration.

Je termine en remerciant très chaleureusement ma famille pour leur soutien, leur écoute, leur compréhension et leurs encouragements tout au long de mes expériences professionnelles et personnelles : mon cher papa Guadalupe ; ma très aimée maman Rosario ; mes sœurs aimées Lupita, Yadira, Amada et María de Jesús ; mon très aimé frère Juan Antonio ; mes nièces aimées Karen Yunué, María Fernanda, Emily et Sofía Mariel ; mes très adorables neveux Luis Angel, Diego, Adrián, Oscar Tadeo, Mario Iván, Eric Ulises, Nicolás Antonio et Omar Alessandro ; ma belle-sœur Noemí ; mes beaux-frères Mario, Enrique et Francisco ; mes grands parents Manuel, Amada, Gregorio (+) et Antonia ; mes oncles, mes tantes, mes cousins et mes cousines.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont toujours soutenue à leur façon.

## RESUME

Le lait de chèvre est peu valorisé économiquement au niveau mondial, mais constitue une ressource de grande potentialité pour les pays sous développés. Au Mexique, l'espèce caprine a un intérêt commercial régional important, mais les fromages ne sont pas très consommés en dehors des zones de production, ceci probablement dû à un manque de communication sur ce produit.

Les objectifs de cette étude étaient, premièrement, de déterminer si l'ajout de piment (*Capsicum annuum* var. jalapeño), pouvait rendre les fromages de chèvre plus populaires auprès de consommateurs Mexicains, tout en conservant les caractéristiques organoleptiques appréciées des consommateurs Français. Deuxièmement, l'effet antibactérien d'un extrait aqueux de piment a été évalué sur des bactéries d'intérêt alimentaire. Enfin, la faisabilité économique d'une exploitation laitière intégrant la fabrication de fromage de chèvre pimenté a été analysée.

Une technologie simple de fabrication de fromages frais de lait de chèvre additionnés de piment a été mise au point, ainsi que la caractérisation physico-chimique du lait, des fromages pimentés fabriqués, du piment et d'un extrait aqueux de piment. Onze fromages, deux sans piment et neuf avec trois concentrations de capsaïcinoïdes (5, 10 et 15 ppm) apportés par du piment jalapeño rouge, vert et des capsaïcinoïdes (capsaïcine et dihydrocapsaïcine) ont été évalués par deux jurys d'évaluation sensorielle non experts, natifs Mexicains et natifs Français.

Les fromages sans piment et peu pimentés (5 ppm) avec jalapeño rouge et capsaïcinoïdes ont été bien acceptés par les sujets Français. Ces fromages ainsi que les moyennement pimentés (10 ppm), quelle que soit la provenance du caractère brûlant, ont été les plus appréciés des Mexicains. L'étude de l'influence de l'intensité de la couleur rouge (apportée par du paprika) et du caractère brûlant sur l'appréciation de huit fromages pimentés avec jalapeño rouge (0, 5, 10 et 15 ppm de capsaïcinoïdes) a montré une diminution de l'appréciation des fromages avec l'augmentation de l'intensité du rouge et aussi une diminution de l'appréciation des fromages avec la hausse de la concentration de capsaïcinoïdes, en ce qui concerne les Français.

Les souches de yaourt (*S. thermophilus* et *Lb. delbrueckii*) se sont révélées être plus sensibles à l'extrait aqueux de piment jalapeño rouge ; un faible pouvoir inhibiteur a pu être mis en évidence sur les souches pathogènes de *L. monocytogenes* et *B. subtilis*, et aucun effet n'a pu être montré sur les bactéries Gram négatives étudiées : *E. coli*, *S. enterica* et *Ps. fluorescens*.

Enfin, l'étude économique a montré qu'une exploitation caprine intégrant la production de lait jusqu'à la fabrication de fromage pimenté est financièrement attractive. Le projet est peu sensible à une variation de 15% des coûts de l'alimentation du troupeau, de la main d'œuvre, de la somme des deux et de 8% sur le taux de rentabilité. Il est sensible mais faisable à une variation (15%) du prix de vente du produit principal (fromage) et il n'est pas économiquement intéressant si l'entreprise produit seulement du lait.

**Mots clés** : *fromage pimenté, capsaïcinoïdes, caractère brûlant, analyse sensorielle, effet antibactérien, faisabilité économique.*



## ABSTRACT

Goat's milk is not well developed economically worldwide, but constitutes a resource of great potential for underdeveloped countries. In Mexico, the goat's species have an important regional commercial interest, but cheeses are not very much consumed outside production zones. We attribute this aversion to the lack of communication about this product, its poor accessibility and "taste of goat".

The objectives of this study were, firstly, to determine if the addition of chilli pepper (*Capsicum annuum* var. jalapeño) could make goat's milk cheeses more acceptable/popular to the Mexicans consumers while preserving the organoleptic characteristics so appreciated by the French. Secondly, the antibacterial effect of an aqueous chilli pepper extract was evaluated. Lastly, the economic feasibility of a dairy exploitation integrating the manufacture of goat's milk cheese spiced was analyzed.

A simple manufacturing process of fresh goat milk cheeses added with chilli pepper was developed. The physicochemical characterization of milk, spiced cheeses manufactured, chilli pepper and an aqueous pepper extract was also carried out. Eleven cheeses, two without chilli pepper and nine with three concentrations of capsaicinoids (5, 10 and 15 ppm) brought by red and green jalapeño chilli pepper and capsaicinoids (capsaicin and dihydrocapsaicin) were evaluated by two untrained sensory evaluation groups: natives Mexicans and native French.

Cheeses without chilli pepper and lightly spiced (5 ppm) with red jalapeño and capsaicinoids were well appreciated by French subjects. These cheeses as well as fairly spiced ones (10 ppm), whatever the source of spiciness, were appreciated by Mexicans. The study of influence of red colour intensity (brought by paprika) and of spiciness on the appreciation of eight cheeses spiced with red jalapeño (0, 5, 10 and 15 ppm of capsaicinoides) showed a decrease in the appreciation of cheeses with the increase in red colour intensity and also a fall in the appreciation of cheeses with the rise in capsaicinoids concentration in the case of French subjects.

Yoghurt bacteria (*S. thermophilus* and *Lb. delbrueckii*) appeared more sensitive to the aqueous red pepper jalapeño extract; a weak inhibiting capacity could be highlighted on the pathogenic bacteria of *L. monocytogenes* and *B. subtilis*, and no effect could be shown on the studied negative Gram bacteria: *E. coli*, *S. enterica* and *Ps. fluorescens*.

Lastly, the economic survey showed that a goat's exploitation integrating milk production and spiced cheese manufacture is profitable. The project is not very sensitive to a variation of 15% in cost of food, labour, sum of both and to 8% of profit rate. It is sensitive but feasible with a variation (15%) of the selling price of the principal product (cheese) and it is not economically interesting if the company produces only milk.

Key words : *spiced cheese, capsaicinoids, pungency, sensory evaluation, antibacterial effect, economic profits.*



## RESUMEN

La leche de cabra es poco valorizada a nivel mundial, pero constituye un recurso de un gran potencial para los países en vías de desarrollo. En México, la especie caprina tiene un gran interés comercial a nivel regional pero fuera de las zonas de producción los productos derivados de la cabra, como el queso, no son muy consumidos e incluso son desconocidos, debido probablemente a la poca información et accesibilidad de estos productos.

Los objetivos de este trabajo fueron, primero, de determinar si la adición de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L. var. jalapeño) podría hacer mas agradable el sabor de los quesos para el consumidor mexicano y conservar las características organolépticas agradables al consumidor francés. Segundo, fue evaluado el efecto antibacterial de un extracto acuoso de chile jalapeño sobre bacterias de interés alimenticio. Finalmente, se realizó la evaluación financiera de una empresa productora de leche de cabra integrando la fabricación de queso con chile.

Una tecnología sencilla de fabricación de queso fresco de cabra con chile jalapeño fue adaptada, así como una caracterización fisico-química detallada de la leche, los quesos con chile fabricados, del chile jalapeño y del extracto acuoso de chile. Once quesos, de los cuales dos sin chile y nueve con tres concentraciones de capsaicinoides (5, 10 y 15 ppm), condimentados con chile jalapeño rojo o chile jalapeño verde (madurez fisiológica) o capsaicinoides (capsaicina y dihydrocapsaicina) fueron evaluados sensorialmente por dos grupos de degustadores, uno de nacionalidad francesa y el otro de nacionalidad mexicana.

Los quesos sin chile y los poco picosos (5 ppm) con jalapeño rojo y con capsaicinoides fueron bien aceptados por los degustadores franceses. Esos quesos así como los medianamente picosos (10 ppm) sin importar el tipo de condimento fueron los más apreciados por los mexicanos. El estudio de la posible influencia de la intensidad del color rojo (adicionando p prika) sobre la percepción del sabor picante de ocho quesos con chile jalapeño rojo (0, 5, 10 y 15 ppm de capsaicinoides); muestra que la preferencia de los quesos disminuye cuando la intensidad del color rojo aumenta y en el caso de los franceses, la preferencia también disminuye cuando aumenta la concentración de chile.

Las bacterias mas sensibles al extracto acuoso de chile jalapeño rojo fueron, *S. thermophilus* y *Lb. delbrueckii* (del yogurt), un efecto menos importante fue obtenido sobre las bacterias patógenas *L. monocytogenes* y *B. subtilis*, y ningún efecto se observ  sobre las bacterias Gram negativo estudiadas: *E. coli*, *S. enterica* y *Ps. fluorescens*.

La evaluación financiera muestra que una empresa que integra la producción de leche a la fabricación de queso con chile es económicamente factible. El proyecto es poco sensible a variaciones (15%) en los costos de alimentación, de la mano de obra y a la suma de ambos, así como de 8% de la tasa de rentabilidad; es sensible pero aun factible a una variación de 15% en el precio de venta del queso (producto principal) y no es económicamente atractivo si la empresa solo produce leche.

Palabras clave : *queso con chile, capsaicinoides, picoso, evaluación sensorial, efecto antibacterial, factibilidad económica.*



## SOMMAIRE

Liste de Tableaux .....	viii
Liste de Figures .....	xii
<b>Introduction générale .....</b>	<b>1</b>
Travaux relatifs à cette étude.....	4
<b>CHAPITRE I. Production et valorisation du lait de chèvre, des fromages et du piment .....</b>	<b>7</b>
1 Production et valorisation du lait de chèvre .....	7
1.1 Production mondiale caprine.....	8
1.1.1 Inventaire caprin, une analyse des deux dernières décennies .....	8
1.1.2 Production du lait de chèvre en comparaison avec autres espèces .....	9
1.1.3 Le lait dans les pays en voie de développement .....	10
1.1.4 Le lait dans les pays développés .....	12
1.2 Le lait de chèvre en France .....	13
1.3 Production caprine au Mexique .....	13
1.3.1 Production, marché et consommation du lait de chèvre au Mexique .....	15
1.3.2 Production et marché de la viande de chèvre au Mexique.....	17
2 Composition physico-chimique du lait de chèvre .....	18
2.1 Composition protéique.....	20
2.1.1 Les caséines .....	20
2.1.2 Les protéines du lactosérum.....	22
2.2 Matières grasses .....	23
2.2.1 Les triglycérides.....	24
2.2.2 Les phospholipides.....	24
2.2.3 Les acides gras .....	24
2.3 Les glucides du lait.....	25
2.4 La composition minérale du lait de chèvre .....	26
2.5 Les vitamines .....	27
2.5.1 Vitamines liposolubles.....	28
2.5.2 Vitamines hydrosolubles.....	28
2.6 Les nucléotides.....	28
2.7 Qualité nutritionnelle du lait de chèvre.....	29

3	Production et valorisation du fromage.....	29
3.1	Production et consommation de fromage de chèvre .....	30
3.2	Classification des fromages de chèvre en France .....	31
3.3	Fromages de chèvre au Mexique.....	33
4	Production et valorisation du piment.....	35
4.1	Production mondiale de piment .....	35
4.2	Production et importance du piment au Mexique .....	37
4.2.1	Le piment jalapeño.....	38
4.3	Importance commerciale du piment.....	38
4.3.1	Usages des piments .....	39
4.4	Caractéristiques des fruits de piment .....	43
4.4.1	Couleur.....	43
4.4.2	Arôme .....	44
4.4.3	Caractère brûlant.....	45
4.5	Anatomie et composition chimique des piments .....	46
4.6	Les capsaïcinoïdes.....	47
4.6.1	Caractéristiques de la capsaïcine .....	50
4.6.2	Propriétés, usages et effets de la capsaïcine.....	51
4.6.3	Consommation de capsaïcine.....	53
4.6.4	Les capsaïcinoïdes synthétiques .....	53
4.6.5	Méthodes de détermination des capsaïcinoïdes .....	54
5	Les fromages pimentés .....	56
6	L'effet culturel sur l'appréciation des produits alimentaires.....	57
6.1	Influence de la couleur sur le choix d'un produit .....	60
7	Les objectifs de l'étude.....	62
	<b>CHAPITRE II. Caractéristiques physicochimiques et technologiques du lait, du piment et des fromages.....</b>	<b>65</b>
	Introduction .....	65
1	Matériel.....	65
1.1	Le lait de chèvre .....	65
1.1.1	Origine du lait .....	65
1.1.2	Composition du lait.....	65
1.2	Le piment jalapeño.....	67
1.2.1	Origine du piment jalapeño.....	67
1.2.2	Composition du piment jalapeño .....	67
1.3	Les capsaïcinoïdes.....	68

1.3.1	Origine des capsaïcinoïdes.....	69
2	Méthodes.....	69
2.1	Caractérisation du lait de chèvre et des fromages pimentés .....	69
2.1.1	Détermination de l'acidité et de la densité.....	69
2.1.2	Détermination de la matière sèche.....	70
2.1.3	Détermination de la matière grasse.....	70
2.1.4	Détermination de la matière azotée et des protéines.....	70
2.1.5	Dosage du lactose .....	70
2.1.6	Détermination des cendres totales .....	70
2.1.7	Détermination des sels minéraux.....	71
2.1.8	Dosage du Phosphore.....	71
2.1.9	Dosage des chlorures .....	72
2.1.10	Mesure de la couleur des fromages intensifiée en rouge .....	72
2.2	Caractérisation du piment jalapeño et des extraits aqueux .....	73
2.2.1	Détermination de la matière sèche.....	74
2.2.2	Détermination de la matière grasse.....	74
2.2.3	Détermination de la matière azotée et des protéines.....	74
2.2.4	Détermination des cendres totales .....	74
2.2.5	Détermination des sels minéraux.....	75
2.2.6	Détermination des sucres totaux et des sucres réducteurs .....	75
2.2.7	Détermination des capsaïcinoïdes.....	76
2.2.8	Calcul des Unités Scoville du piment jalapeño.....	79
2.3	Mise au point de la technologie de fabrication des fromages frais au lait de chèvre pasteurisé et pimentés.....	81
2.3.1	Méthode de fabrication du fromage.....	81
2.3.2	Evolution de l'acidité et du pH pendant la coagulation.....	82
2.3.3	Courbe d'égouttage du caillé .....	83
2.3.4	Rendement du fromage .....	83
2.3.5	Types des fromages pimentés .....	83
2.3.6	Types des fromages pimentés et intensifiés en rouge avec du paprika.....	84
3	Résultats et Discussion .....	85
3.1	Acidité, rendement et composition des fromages pimentés.....	85
3.1.1	Développement de l'acidité pendant la coagulation.....	85
3.1.2	Rendement .....	86
3.1.3	Coefficient G.....	87
3.1.4	Composition des fromages pimentés .....	88

3.1.5 Composition et couleur des fromages intensifiés en rouge avec du paprika	90
Conclusion	92
<b>CHAPITRE III. Propriétés sensorielles des fromages de chèvre au piment et optimisation de la formulation</b>	<b>93</b>
Introduction	93
1 Matériels et Méthodes	94
1.1 Les jurys	95
1.2 Les échantillons	95
1.3 Le test de préférence et l'échelle hédonique	95
1.3.1 Le test de préférence	95
1.3.2 L'échelle hédonique	96
1.3.3 Les descripteurs évalués	97
1.4 Analyses statistiques	98
1.4.1 L'analyse en composantes principales (ACP)	98
1.5 Evaluation de l'interaction couleur-caractère brûlant	99
1.5.1 Les jurys	100
1.5.2 Échantillons	100
1.5.3 Échelle hédonique	100
1.5.4 Test de préférence	100
1.5.5 Analyse statistique des résultats	100
2 Résultats et Discussion	101
2.1 Différences d'appréciation entre fromages	101
2.2 Influence des descripteurs sur le choix des fromages	104
2.2.1 Préférence par groupe de fromages	107
2.2.2 Préférence par concentration des capsaïcinoïdes et par couleur	108
2.3 Corrélation entre les descripteurs et la préférence des jurys	110
2.4 Différences de préférence entre le jury Français et le jury Mexicain	111
2.5 Concentration optimale de capsaïcinoïdes préférée par les jurys	112
2.6 Influence et corrélation de l'intensité de la couleur rouge sur la perception du caractère brûlant	114
2.6.1 Appréciation des fromages pimentés selon l'intensité de la couleur rouge	115
2.6.2 Appréciation des fromages pimentés et intensifiés en rouge selon leur goût	118
2.6.3 Appréciation des fromages pimentés et intensifiés en rouge selon l'intensité du piment	121
Discussion	124

Conclusion.....	128
<b>CHAPITRE IV. Activité antibactérienne d'un extrait aqueux de piment jalapeño et de capsaïcinoïdes commerciaux .....</b>	<b>131</b>
Introduction.....	131
1 Matériels et Méthodes.....	132
1.1 Recherche d'une activité antibactérienne dans des préparations de piment ....	132
1.1.1 Préparation des extraits aqueux de piment jalapeño mûr.....	132
1.1.2 Préparations des solutions à partir de poudres commerciales de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine .....	134
1.2 Détermination de la CMI par la méthode des dépôts en gouttes.....	134
1.3 Modèles bactériens et conditions de croissance.....	135
1.3.1 Modèles bactériens.....	135
1.3.2 Préparation de l'inoculum.....	136
1.3.3 Milieux de culture et conditions de croissance .....	136
1.4 Analyse statistique .....	137
2 Résultats.....	137
2.1 Composition chimique des extraits aqueux de piment.....	137
2.2 Effet antibactérien des extraits aqueux de piment jalapeño mûr L1 et L2 et de la poudre commerciale de capsaïcine .....	138
2.3 CMI de l'extrait aqueux L2 et des capsaïcinoïdes commerciaux .....	141
CMI de l'extrait aqueux de piment L2 .....	141
CMI des suspensions alcooliques de capsaïcinoïdes commerciaux .....	142
2.4 Influence d'un traitement thermique sur l'activité inhibitrice de l'extrait aqueux de piment L2 .....	142
2.5 Comportement de <i>Lc. lactis</i> INRA 115 dans du lait additionné de piment en poudre .....	143
Discussion .....	144
Conclusion.....	146
<b>CHAPITRE V. Faisabilité économique au Mexique d'une exploitation de chèvres laitières intégrée à la production de fromage pimenté.....</b>	<b>149</b>
Introduction .....	149
1 Méthodologie.....	151
1.1 Localisation du projet.....	151
1.2 Caractéristiques de la production caprine .....	152
1.2.1 Races .....	152
1.2.2 Inventaire et mode d'élevage .....	152
1.2.3 Infrastructure.....	153

1.2.4	Activités de production et sanitaires .....	153
1.2.5	Alimentation .....	156
1.2.6	Produits .....	157
1.3	Caractéristiques de l'aire de transformation .....	158
1.3.1	Infrastructure de la fromagerie.....	158
1.3.2	Produits proposés.....	158
1.3.3	Réglementation .....	159
1.4	Frais légaux .....	159
1.4.1	Organisation et aspects légaux.....	159
1.4.2	Management et personnel .....	160
1.5	Analyse économique .....	160
1.5.1	Horizon d'Evaluation.....	160
1.5.2	Aspects productifs du troupeau.....	161
1.5.3	Investissement.....	163
1.5.4	Coûts Unitaires.....	165
1.5.5	Coûts, Revenus, Marge Brute et Flux Net de Trésorerie .....	168
1.5.6	Evaluation de la rentabilité du capital.....	169
1.5.7	Analyse de sensibilité .....	172
2	Résultats et Discussion .....	172
2.1	Productivité et structure des coûts et revenus .....	172
2.2	Flux d'effectif et coût financier.....	174
2.3	Résultats des critères d'évaluation de la rentabilité financière du projet.....	175
2.4	Sensibilité du Projet .....	176
2.4.1	Sensibilité du projet à une variation du coût de l'alimentation du troupeau 176	
2.4.2	Sensibilité du projet à une variation du coût de la main d'oeuvre.....	177
2.4.3	Sensibilité du projet à la variation de 15 % des coûts d'alimentation et de main d'oeuvre.....	177
2.4.4	Sensibilité du projet à une variation de 15 % du prix de vente du fromage 178	
2.4.5	Sensibilité du projet à une variation de 8 % du taux de rentabilité.....	179
2.4.6	Sensibilité du projet au type de produit vendu : lait cru ou fromage.....	180
2.4.7	Sensibilité du projet à une diminution de 50 % du rendement fromager... 182	
	Conclusion.....	182
	<b>Conclusions générales et perspectives .....</b>	<b>187</b>
	Conclusions générales .....	187

Perspectives .....	190
<b>Références Bibliographiques .....</b>	<b>193</b>
ANNEXE 1. Analyses physico-chimiques : lait et fromages.....	213
ANNEXE 2. Analyse sensorielle : questionnaires .....	223
ANNEXE 3. Evaluation financière : données et matrices des calculs .....	227

## Liste de Tableaux

<b>Tableau 1.</b> Production totale du lait de différentes espèces pour les années 1985 et 2005 (milliers de tonnes) et variations .....	9
<b>Tableau 2.</b> Production du lait de chèvre et de vache en milliers de tonnes, 2005 .....	10
<b>Tableau 3.</b> Production de lait et de viande de chèvre (1985 et 2005) en milliers de tonnes.....	11
<b>Tableau 4.</b> Inventaire caprin (têtes) 2003, production de lait et de viande (tonnes) 2004 au Mexique .....	14
<b>Tableau 5.</b> Composition moyenne du lait de différentes espèces.....	19
<b>Tableau 6.</b> Caractéristiques des caséines caprines et bovines .....	21
<b>Tableau 7.</b> Classes de lipides (% des MG totales) <sup>(1)</sup> du lait de trois espèces .....	24
<b>Tableau 8.</b> Composition minérale moyenne du lait de différentes espèces. Eléments minéraux majeurs en mg par litre .....	26
<b>Tableau 9.</b> Composition minérale moyenne du lait de différentes espèces. Principaux oligo-éléments indispensables en µg par litre .....	27
<b>Tableau 10.</b> Compositions vitaminiques du lait de différentes espèces par 100 g.....	27
<b>Tableau 11.</b> Production de fromages (tonnes) en 2005 de diverses espèces par continent .....	31
<b>Tableau 12.</b> Production mondiale de piment par continent et principaux pays producteurs 1995 et 2005 (tonnes) .....	36
<b>Tableau 13.</b> Principaux états producteurs de piment jalapeño en 2004 (tonnes) .....	38
<b>Tableau 14.</b> Principaux pays exportateurs et importateurs de piment, 2003 (tonnes)...	39
<b>Tableau 15.</b> Niveau de «brûlant» des principales capsaicinoïdes en millions d'Unités Scoville (US) .....	50
<b>Tableau 16.</b> Consommation de piment et son équivalence en capsaicinoïdes (cap) en divers pays.....	53
<b>Tableau 17.</b> Constituants du lait de chèvre pasteurisé par 100 ml .....	66
<b>Tableau 18.</b> Composants du piment jalapeño rouge et vert pour 100 g de matière sèche et données extrêmes de la littérature.....	68
<b>Tableau 19.</b> Préparation de la gamme étalon et dosage du phosphore du lait.....	72
<b>Tableau 20.</b> Etalonnage du glucose et dosage des sucres réducteurs et des sucres totaux .....	76
<b>Tableau 21.</b> Concentration de capsaïcine (C), de dihydrocapsaïcine (DC) et des capsacinoides (Cap) du piment jalapeño rouge (Pr) et vert (Pv) et de l'extrait aqueux de piment rouge (EApr), pour 100 g de MS.....	80
<b>Tableau 22.</b> Formulations fromagères et quantités ajoutées de piment jalapeño rouge (Pr) et vert (Pv) et de capsaicinoïdes (CD) par 100 g de caillé .....	84

<b>Tableau 23.</b> Formulations des fromages intensifiés en rouge avec du paprika et pimentés avec du piment jalapeño rouge, par 100 g de caillé .....	84
<b>Tableau 24.</b> Composition des fromages de lait de chèvre au piment par rapport à la matière sèche (MS).....	89
<b>Tableau 25.</b> Composition des fromages pimentés avec piment jalapeño rouge et colorés au paprika (diverses intensités de rouge), par rapport à la matière sèche (MS).....	90
<b>Tableau 26.</b> Différence de préférence du jury Français pour les fromages pimentés à un seuil de 0,05 .....	101
<b>Tableau 27.</b> Différence de préférence du jury Mexicain pour les fromages pimentés à un seuil de 0,05.....	102
<b>Tableau 28.</b> Classement des groupes non significativement différents pour le jury Français, pour la variable piment (tests de Fisher et Duncan).....	108
<b>Tableau 29.</b> Classement des groupes non significativement différents pour le jury Mexicain, pour la variable piment (tests de Fisher et Duncan).....	109
<b>Tableau 30.</b> Jury Français : classement des groupes non significativement différents, pour la variable couleur (tests de Fisher et Duncan) .....	109
<b>Tableau 31.</b> Jury Mexicain : classement des groupes non significativement différents, pour la variable couleur (tests de Fisher et Duncan) .....	110
<b>Tableau 32.</b> Corrélation entre les six descripteurs et deux composés ajoutés, et la préférence globale du jury Français .....	110
<b>Tableau 33.</b> Corrélation entre les six descripteurs et deux composés ajoutés, et la préférence globale du jury Mexicain .....	111
<b>Tableau 34.</b> Différence de préférence entre les jurys Français (F) et Mexicain (M) (seuil de 0,05).....	112
<b>Tableau 35.</b> Différence de préférence du jury Français selon l'intensité de la couleur rouge des fromages pimentés .....	115
<b>Tableau 36.</b> Différence de préférence du jury Mexicain selon l'intensité de la couleur rouge des fromages pimentés .....	115
<b>Tableau 37.</b> Différence de préférence du jury Français, par rapport au goût des fromages intensifiés en rouge.....	118
<b>Tableau 38.</b> Différences de préférence du jury Mexicain, par rapport au goût des fromages pimentés et intensifiés en rouge.....	119
<b>Tableau 39.</b> Différences de préférence du jury Français pour les fromages pimentés et intensifiés en rouge selon l'intensité du piment .....	121
<b>Tableau 40.</b> Différences de préférence du jury Mexicain entre les fromages pimentés et intensifiés en rouge en fonction de l'intensité du piment.....	121
<b>Tableau 41.</b> Composition des deux extraits aqueux (L1 et L2) de piment jalapeño mûr pour 100 g de matière sèche .....	133
<b>Tableau 42.</b> Caractéristiques et conditions de culture des 13 souches bactériennes d'intérêt alimentaire et du levain lactique Flora Danica® .....	135

<b>Tableau 43.</b> Spectre d'activité antibactérienne des deux extraits aqueux de <i>Capsicum annuum</i> var. jalapeño (L1 et L2) non dilués et de la poudre commerciale de capsaïcine .....	138
<b>Tableau 44.</b> Diamètres de la zone d'inhibition de <i>S. thermophilus</i> INRA 302 et <i>Lb. delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i> DSM 20081 par l'extrait aqueux de piment L2 après deux traitements thermiques (80 ou 100 °C pendant 15 min).....	142
<b>Tableau 45.</b> Composition de l'aliment concentré, en base sèche .....	156
<b>Tableau 46.</b> Plan d'alimentation par tête selon l'étape physiologique des animaux...	157
<b>Tableau 47.</b> Exemple de calcul de la productivité mensuelle du troupeau .....	162
<b>Tableau 48.</b> Coûts unitaires/jour de l'alimentation par rapport à l'étape physiologique .....	166
<b>Tableau 49.</b> Valeur des principaux critères d'évaluation du projet d'investissement qui montrent la rentabilité de l'entreprise sur une période de vie de 3 ans .....	175
<b>Tableau 50.</b> Valeur des critères d'évaluation du projet d'investissement quand les coûts de l'alimentation varient en 15 %.....	176
<b>Tableau 51.</b> Valeur des critères d'évaluation du projet quand les coûts de la main d'œuvre varient de 15%.....	177
<b>Tableau 52.</b> Valeur des critères d'évaluation du projet quand les coûts de l'alimentation et de la main d'œuvre varient de 15% .....	178
<b>Tableau 53.</b> Valeur des critères d'évaluation du projet quand le prix de vente du fromage varie de 15%.....	178
<b>Tableau 54.</b> Valeur des critères d'évaluation du projet qui montrent une variation de 8% du taux de rentabilité (CETES + 8%) .....	179
<b>Tableau 55.</b> Valeur des principaux critères d'évaluation du projet quand l'entreprise est une exploitation laitière .....	180
<b>Tableau 56.</b> Valeur des critères d'évaluation du projet si l'entreprise achète le lait et fabrique le fromage comme produit final.....	181
<b>Tableau 57.</b> Valeur des principaux critères d'évaluation du projet quand l'entreprise diminue de 50 % le rendement de fromage .....	182
<b>Tableau 58.</b> Dosage du lactose .....	219
<b>Tableau 59.</b> Gamme étalon et dosage du phosphore .....	221
<b>Tableau 60.</b> Valeur des paramètres productifs par période (année 3) .....	227
<b>Tableau 61.</b> Développement mensuel et productivité du troupeau .....	228
<b>Tableau 62.</b> Concepts d'investissement (pesos).....	231
<b>Tableau 63.</b> Calendrier mensuel d'investissement (pesos).....	232
<b>Tableau 64.</b> Dépréciation annuelle, mensuelle et valeur résiduelle des actifs à l'année 3 (pesos).....	233
<b>Tableau 65.</b> Coûts Unitaires des activités d'entretien de l'aire caprine (pesos).....	234
<b>Tableau 66.</b> Prix des médicaments et coûts pour traitement (pesos).....	235
<b>Tableau 67.</b> Prix du matériel d'entretien, nettoyage et protection (pesos).....	236

<b>Tableau 68.</b> Fromagerie: prix unitaire de la matière première (pesos).....	237
<b>Tableau 69.</b> Coûts de maintenance et main d'œuvre (pesos).....	238
<b>Tableau 70.</b> Revenus, coûts totaux et marge brute (sans coût financier) (pesos).....	239
<b>Tableau 71.</b> Profit après amortissement des crédits (pesos).....	242

## Liste de Figures

<b>Figure 1.</b> Evolution de l'inventaire caprin par continent de 1985 à 2005, en millions de têtes. D'après la FAO (2006).....	8
<b>Figure 2.</b> Etats avec le plus grand inventaire caprin et Etats producteurs de lait de chèvre au Mexique.....	16
<b>Figure 3.</b> Principales variétés de piments produits au Mexique et part dans la production nationale .....	37
<b>Figure 4.</b> Coupe longitudinale d'un piment fort (Jolicoeur, 2001).....	46
<b>Figure 5.</b> Structure de la capsaïcine et des quatre homologues naturels, indiquant leur masse moléculaire. D'après (Maga, 1975, Heresch et Jurenitsch, 1979, Monsereenusorn <i>et al.</i> , 1982, Wahab, 1984, Govindarajan, 1986a, Cordell et Araujo, 1993) et références citées. PM = poids moléculaire .....	49
<b>Figure 6.</b> Représentation colorimétrique de l'espace chromatique CIELAB (A) et de l'écart de couleur $\Delta E^*$ (B). D'après <a href="http://www.kleocolor.com">www.kleocolor.com</a> .....	73
<b>Figure 7.</b> Chromatogramme qui présente le temps de rétention de la capsaïcine (39,45 min) et de la dihydrocapsaïcine (66 min), pour la concentration 0,1 mg/ml de méthanol-eau (80 : 20).....	78
<b>Figure 8.</b> Courbes d'étalonnage de la capsaïcine et de la dihydrocapsaïcine montrant l'écart-type, l'équation de la régression linéaire et le coefficient de régression .....	79
<b>Figure 9.</b> Chromatogrammes qui présentent le temps de rétention et la concentration de la capsaïcine et de la dihydrocapsaïcine du piment jalapeño rouge (A) et vert (B) .....	80
<b>Figure 10.</b> Schéma de la technologie de fabrication de fromage frais du lait de chèvre pasteurisé au piment jalapeño.....	81
<b>Figure 11.</b> Développement du pH et de l'acidité °Dornic pendant la coagulation .....	85
<b>Figure 12.</b> Perte de poids du caillé pendant l'égouttage.....	86
<b>Figure 13.</b> Fromages témoins et pimentés avec les différentes concentrations de piment rouge, vert et capsainoïdes.....	89
<b>Figure 14.</b> Fromages pimentés et intensifiés en rouge, classés de C1 à C5 pour l'intensité du rouge et de P0 à P3 pour la concentration des capsainoïdes. A) Fromages avec la même couleur et différents brûlants. B) Fromages avec différentes couleurs et même brûlant.....	90
<b>Figure 15.</b> Ecart de couleur ( $\Delta E^*$ ) et des paramètres de l'espace couleur ( $\Delta L^* \Delta a^* \Delta b^*$ ) des fromages avec le même brûlant (0,5 mg de cap/100 g de caillé) et différentes intensités de rouge (A), et avec différents brûlants et même intensité du rouge (B).....	91
<b>Figure 16.</b> Echelle hédonique à six points pour les juges Français et Mexicains, respectivement en français et en espagnol.....	97
<b>Figure 17.</b> Fromages préférés (1 à 11) par les sujets ( $j_1$ à $j_{36}$ ) Français (A) et Mexicains (B) représentés sur 2 composantes principales.....	103

<b>Figure 18.</b> Relation entre les descripteurs de qualité et les fromages préférés par le jury Français (A) et le jury Mexicain (B) .....	105
<b>Figure 19.</b> Influence de chaque descripteur sur le choix des fromages pimentés pour le jury Français et Mexicain : A) couleur, B) intensité du piment, C) texture, D) « goût de chèvre », E) salinité, F) acidité. Une valeur positive indique une influence favorable du descripteur sur le choix, une valeur négative montre une influence défavorable et la valeur zéro n'a pas d'influence sur le choix d'un fromage. B = blancs (témoin), R = fromages avec piment rouge, V = piment vert et CD = capsaïcinoïdes .....	106
<b>Figure 20.</b> Moyennes des préférences par groupe des fromages et par jury : A) Fromages avec jalapeño rouge ; B) Fromages avec jalapeño vert ; et C) fromages pimentés avec capsaïcinoïdes .....	107
<b>Figure 21.</b> Courbes quadratiques ajustées aux moyennes de préférence normalisées des jurys Français (1) et Mexicain (2), pour les fromages pimentés avec jalapeño rouge (A-A'), jalapeño vert (B-B') et capsaïcinoïdes : C+DC (C-C').....	113
<b>Figure 22.</b> Moyennes de préférence des fromages pimentés selon leur intensité du rouge, données par les jurys Français et Mexicain. C1 à C5 indiquent l'intensité du rouge et P0 à P3 la concentration de capsaïcinoïdes .....	116
<b>Figure 23.</b> Appréciation des fromages pimentés par les sujets ( $j_1$ à $j_{12}$ ) Français (A) et Mexicains (B), selon leur couleur, composantes 1 et 2. C1 à C5 indiquent l'intensité du rouge et P0 à P3 la concentration de capsaïcinoïdes .....	117
<b>Figure 24.</b> Appréciation des fromages pimentés et intensifiés en rouge, par rapport à leur goût, pour les jurys Français et Mexicain. C1 à C5 indiquent une intensité croissante du rouge et P0 à P3 une concentration croissante de capsaïcinoïdes .....	119
<b>Figure 25.</b> Appréciation des fromages pimentés par les sujets ( $j_1$ à $j_{12}$ ) Français (A) et Mexicains (B), selon leur goût, composantes 1 et 2. C1 à C5 indiquent l'intensité du rouge et P0 à P3 la concentration de capsaïcinoïdes .....	120
<b>Figure 26.</b> Appréciation de l'intensité du piment des fromages pimentés et intensifiés en rouge pour les jurys Français et Mexicain. C1 à C5 indiquent une intensité croissante du rouge et P0 à P3 une concentration croissante de capsaïcinoïdes .....	122
<b>Figure 27.</b> Appréciation des fromages pimentés par les sujets ( $j_1$ à $j_{12}$ ) Français (A) et Mexicains (B), selon leur intensité du piment, composantes 1 et 2. C1 à C5 indiquent l'intensité du rouge et P0 à P3 la concentration de capsaïcinoïdes .....	123
<b>Figure 28.</b> Appréciation des fromages pimentés, selon les trois descripteurs (couleur, goût et intensité du piment), jurys Français et Mexicain. C1 à C5 indiquent une intensité croissante de la couleur et P0 à P3 une concentration croissante de capsaïcinoïdes....	124
<b>Figure 29 :</b> Chromatogramme de l'extrait aqueux de piment L1 dilué au 1/5 dans du méthanol (injection de 50 $\mu$ l à température ambiante). Les temps de rétention sont de 37 min pour la capsaïcine et de 62,5 min pour la dihydrocapsaïcine .....	133
<b>Figure 30 :</b> Représentation schématique des dépôts en gouttes sur la gélose et détermination du diamètre (mm) de la zone d'inhibition des extraits (D - d), D : Diamètre total de la zone d'inhibition, d : diamètre du dépôt de la suspension, D - d : diamètre de la zone d'inhibition .....	134
<b>Figure 31.</b> Spectre d'action des deux extraits aqueux de piment L1 et L2 et de la poudre commerciale de capsaïcine vis-à-vis de a) <i>S. thermophilus</i> INRA 302, b) <i>Lc. lactis</i> 7056 et c) <i>B. subtilis</i> CIP 5265 .....	140

<b>Figure 32.</b> Diamètres des zones d'inhibition de <i>S. thermophilus</i> INRA 302 en fonction des dilutions de raison 1/2 de l'extrait aqueux de piment L2.....	141
<b>Figure 33.</b> Acidification du lait (A) et croissance de <i>Lc. lactis</i> INRA 115 (B) en présence de quatre concentrations de piment en poudre à 30 °C pendant 24 h.....	143
<b>Figure 34.</b> Animaux représentatifs de la race Alpine. ....	152
<b>Figure 35.</b> Cycle de production annuelle et périodes d'application des activités de manèment d'un troupeau de chèvres alpines (Gallegos, 2002. Communication personnelle) .....	154
<b>Figure 36.</b> Courbes de lactation théoriques de deux lots de chèvres (Lot 1 et Lot 2) pendant deux périodes consécutives.....	155



## **Introduction générale**

La chèvre a été le premier animal de ferme domestiqué (8000 ans avant J. C. en Ganj Darech, aujourd'hui Iran) (Boyazoglu *et al.*, 2005). Les chèvres ont joué divers rôles depuis plus de 7000 ans, dans la religion, l'économie, la nutrition, les coutumes et même l'habillement (Peacock, 2005). Les chèvres ont été utilisées pour différentes raisons, comme la production de lait, de viande, de fibres, de cuir, etc. (Lloyd, 1982, Dubeuf *et al.*, 2004).

Diverses informations montrent d'abord, qu'en dehors de quelques régions des pays développés, les filières laitières caprines sont le plus souvent des micro filières positionnées sur des marchés de niche et ne concernent que des volumes de lait limités. Le lait de chèvre participe principalement à l'économie de subsistance des populations rurales de régions défavorisées en dehors des circuits marchands en jouant plusieurs rôles, surtout dans les pays en voie de développement, où elles servent de nourriture, génèrent des revenus et servent de moyen d'échange de divers produits (Ahuya *et al.*, 2005).

Seule la production laitière de quelques espèces de mammifères présente un intérêt immédiat en nutrition humaine, même si le lait d'autres espèces animales possède des qualités nutritives supérieures. L'élevage des animaux laitiers a été orienté vers la production intensive. Les quantités récoltées par tête dépassent souvent de beaucoup les besoins nutritifs des jeunes animaux. La vache assure de loin la plus grande part de la production mondiale (90%) même en pays tropicaux (70%). Ce lait est de loin le plus connu et les données qui le caractérisent sont sans doute les plus exactes. Il est aussi naturellement le produit laitier le plus consommé et étudié en nutrition humaine (FAO, 1998).

Cependant depuis les deux dernières décennies, le secteur caprin a été stimulé par divers aspects, particulièrement la recherche, le développement et la croissance économique ; ainsi, l'appréciation globale de cette espèce depuis longtemps sous-estimée a augmenté.

La composition brute du lait de chèvre ressemble à celle du lait de vache (Knights et Garcia, 1997). Quelques auteurs suggèrent que les chèvres ont divers avantages anatomiques et physiologiques sur les autres bétails, ce qui leur permet d'être une ressource de grand potentiel pour le développement des régions tropicales et de ressources limitées comme dans les pays sous développés et désertiques (Egwu *et al.*, 1995, Knights et Garcia, 1997, Olivier *et al.*, 2005). La chèvre démontre une plus grande résistance que d'autres animaux dans des conditions de sécheresse. De même, son cycle court de reproduction, la forte proportion de naissances multiples, ainsi que sa petite taille et sa maturité précoce font de l'élevage de cette espèce une activité spécialement adaptée pour le démarrage des petites exploitations.

Selon Mowlem (2005), les stratégies de marché sont très différentes entre les fermes des divers pays et dépendent de la culture, des traditions, des coutumes et des valeurs. Il indique que dans les pays développés comme le Royaume Uni, avec des industries alimentaires sophistiquées, les produits caprins s'installent plutôt entre deux niches de marché : les aliments de santé et les produits plaisir ; par contre, dans les pays en voie de développement, les chèvres peuvent être le recours contre la malnutrition.

Au Mexique, la production laitière (vache et chèvre) est un secteur important en raison non seulement de sa valeur, mais aussi du rôle fondamental qu'elle joue dans les secteurs économiques primaire et industriel et du désir des gouvernements d'accroître la production nationale afin de réduire les besoins d'importations. L'importance de ce produit s'est reflétée dans la politique gouvernementale, qui a entraîné une augmentation de la production qui devait surpasser les besoins dus à la croissance démographique ; cependant l'évolution de l'industrie laitière du Mexique a été confrontée au phénomène d'une demande supérieure à l'offre. La reprise de la croissance économique au Mexique et l'accroissement de la population ont amené les consommateurs à augmenter leur consommation de produits laitiers (SEA-AAC, 2004).

Malgré cela, le fromage de chèvre au Mexique reste peu connu et sa consommation est presque négligeable. Les Mexicains, en raison d'un manque d'information sur l'aspect sanitaire des troupeaux caprins, ont lié certaines maladies (brucellose) au lait de chèvre. Ils ont l'habitude de consommer des fromages frais issus principalement de coagulations enzymatiques (utilisation de présure) et les saveurs fortes ne sont pas bien acceptées. Seules quelques régions du Mexique sont habituées à consommer du fromage

de chèvre principalement artisanal, mais un grand pourcentage de mexicains, dehors de zones productrices, n'en ont même jamais consommé et ne tolèrent pas le «goût de chèvre» des fromages.

Les objectifs de cette étude s'articulent autour des points suivants :

- Adapter une technologie fromagère française pour obtenir un fromage de chèvre frais en accord avec les préférences mexicaines.
- Comprendre l'influence des phénomènes culturels, notamment des habitudes alimentaires, qui interviennent dans l'appréciation d'un fromage de chèvre frais pimenté.
- Déterminer si l'intensité de la couleur rouge d'un fromage de chèvre frais pimenté, influence la perception du caractère brûlant.
- Evaluer les propriétés antibactériennes d'un extrait aqueux du piment mûr *Capsicum annuum* L. var. jalapeño, en vue de donner des indications sur le rôle du piment en tant qu'éventuel agent de conservation tout en mesurant les effets indésirables sur la fermentation lactique.
- Apporter les éléments nécessaires pour mettre en évidence la faisabilité financière d'une proposition d'exploitation caprine intégrant la fabrication fromagère comme principale ligne de production.

Cette étude est présentée en cinq chapitres :

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique qui comporte 4 parties : d'abord l'importance de la production laitière caprine au niveau international, et spécifiquement au Mexique, et les caractéristiques des principaux composants du lait de chèvre ; ensuite une description des fromages de chèvre et leur importance, ainsi que certains fromages pimentés ; ensuite, l'importance des piments et des capsaïcinoïdes au niveau mondial et au Mexique, leur composition et usages et enfin l'influence culturelle sur l'appréciation des produits alimentaires.

Dans le deuxième chapitre, les caractéristiques physicochimiques du lait, du piment et des fromages pimentés fabriqués, ainsi qu'une technologie fromagère adaptée pour

fabriquer des fromages au piment ont été étudiées. Les principes des techniques expérimentales suivies sont décrits.

Le troisième chapitre porte sur les propriétés sensorielles des fromages au piment, l'analyse des phénomènes culturels liés aux habitudes alimentaires qui interviennent dans l'appréciation d'un fromage au lait de chèvre pimenté, la détermination des quantités optimales de piment préférées par deux populations : natifs mexicains et natifs français, l'étude de l'effet du piment sur l'appréciation d'un produit et enfin l'évaluation de l'influence de l'intensité de la couleur rouge sur la perception du caractère brûlant de fromages pimentés.

Le quatrième chapitre présente l'effet antibactérien d'un extrait aqueux de piment *Capsicum annuum* var. jalapeño sur treize souches bactériennes d'intérêt alimentaire et du levain lactique Flora Danica.

Le dernier chapitre montre la faisabilité économique au Mexique, d'une production de fromage de chèvre pimenté sous une intégration verticale de l'exploitation laitière et la fabrication de fromage frais. Des analyses de sensibilité à une variation du coût de l'alimentation, de la main d'œuvre, du prix de vente du produit et du taux de rentabilité ont été réalisées.

Enfin, une conclusion générale et les perspectives de ces travaux, sont présentées.

## **Travaux relatifs à cette étude**

Communications affichées avec actes.

- AVALOS, D. A. ; JACQUOT, M. ; HARDY, J. 2005. Différences interculturelles dans l'appréciation sensorielle de fromage frais contenant *Capsicum annuum* var. jalapeño. Séminaire de l'Ecole Doctorale RP2E. Nancy, France, janvier 2005. Avec article dans Actes du Séminaire.
- AVALOS, D. A. ; JACQUOT, M. ; HARDY, J. 2005. Influence de l'intensité de la couleur rouge sur la perception du caractère brûlant des fromages de chèvre

pimentés avec *Capsicum annuum* var. jalapeño. Colloque International IRIS : essence et sens des couleurs. Nancy, France, novembre 2005. Avec article dans Actes du Colloque.

- AVALOS, D.A. ; MILLIÈRE, J. B. ; JACQUOT, M. ; HARDY, J. 2006. Activité antibactérienne d'un extrait aqueux de *Capsicum annuum* var. jalapeño. Séminaire de l'Ecole Doctorale RP2E. Nancy, France, janvier 2006. Avec article dans Actes du Séminaire.
- AVALOS, D. A. ; JACQUOT, M. ; HARDY, J. 2006. Preferred levels of capsaicinoids in goat cheese with jalapeño pepper (*Capsicum annuum* var. jalapeño) among panelists of two ethnic groups. 13th World Congress of Food Science & Technology : Food is Life. Nantes, France, septembre 2006. Avec article dans Actes du Congrès.



## **CHAPITRE I. Production et valorisation du lait de chèvre, des fromages et du piment**

La synthèse bibliographique aborde quatre grands aspects. Dans un premier temps, une analyse de la production et valorisation du lait de chèvre au niveau mondial et au Mexique, ainsi que sa composition physico-chimique et sa qualité nutritionnelle sont présentées. Dans un deuxième temps, nous abordons la production, valorisation et classification du fromage de chèvre. Ensuite, la troisième partie présente la production, l'importance, les usages et la composition des piments, ainsi que les caractéristiques et l'importance globale et alimentaire des capsaïcinoïdes. Enfin, une description générale de quelques fromages pimentés et une synthèse des travaux qui rapportent l'influence culturelle sur l'appréciation des produits alimentaires, sont réalisées.

### **1 Production et valorisation du lait de chèvre**

Le secteur caprin a montré sa grande valeur en tant qu'instrument du développement économique et social des populations rurales défavorisées et a contribué à fortifier la recherche appliquée (Boyazoglu *et al.*, 2005).

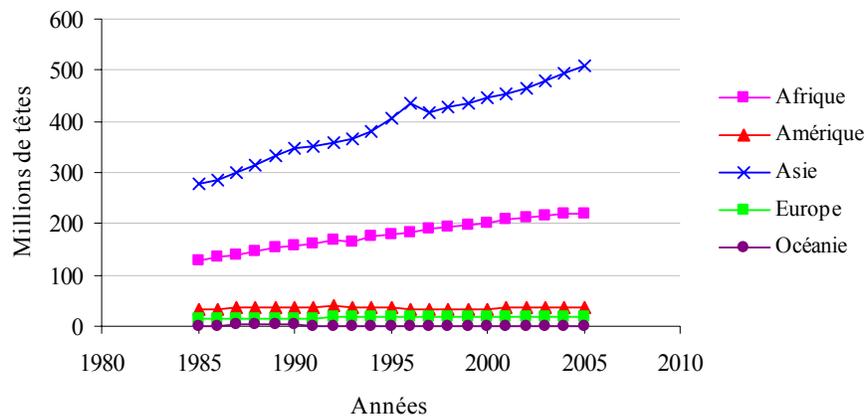
Avant les années 80, une partie importante des informations scientifiques ou technologiques, générées autour du secteur caprin, ont été principalement publiées dans des journaux et des bulletins non référencés et elles ne sont pas considérées comme sérieuses pour divers scientifiques (Boyazoglu *et al.*, 2005). Malheureusement, il n'existe pas d'information précise pour la plupart des pays en voie de développement. C'est en Europe que l'information sur la production du lait de chèvre est la plus structurée et la plus à jour, ce qui n'est pas le cas dans de nombreuses autres régions du monde. Les deux dernières décennies ont été un défi pour le secteur caprin, en particulier, les aspects de la recherche et le développement socio-économique (Boyazoglu *et al.*, 2005).

## 1.1 Production mondiale caprine

Les chèvres sont présentes sur tous les continents (Figure 1) ; par contre le secteur caprin a été considérablement moins soutenu tant sur le plan de la production et sur celui de la recherche que d'autres secteurs des productions animales comme les vaches laitières, les bœufs, les volailles, les porcs ou les chevaux (Dubeuf *et al.*, 2004, Boyazoglu *et al.*, 2005). Pourtant, l'inventaire caprin mondial a montré une croissance de 70 % dans les deux dernières décennies, de 462 millions de têtes en 1985 à 786 millions en 2005, comme l'indiquent les données de la FAO (2006).

### 1.1.1 Inventaire caprin, une analyse des deux dernières décennies

L'évolution du stock caprin par continents, entre 1985 et 2005 est présenté figure 1.



**Figure 1.** Evolution de l'inventaire caprin par continent de 1985 à 2005, en millions de têtes. D'après la FAO (2006).

Dans les deux dernières décennies, l'Asie a montré la croissance la plus active de la population caprine, avec 83 %, due principalement à la participation de la Chine qui a augmenté le stock de plus de 300 %, de 63,4 millions en 1985 à 195,8 millions de têtes en 2005, suivie par l'Inde de 99,5 millions à 120 millions dans le même temps. Le Moyen-Orient, où les produits caprins ont une forte tradition culinaire, est représenté par le Pakistan qui est passé de 29,7 à 56,7 millions de têtes dans la même période.

La part mondiale de l'Afrique est restée à peu près constante, de 27,8 % en 1985 à 28,1% en 2005, bien que l'inventaire caprin ait augmenté de 71 %. Les pays avec

l'inventaire le plus important sont le Soudan, le Nigeria, la Rép. Unie de Tanzanie, le Mali, le Kenya, le Burkina Faso et l'Éthiopie.

L'Amérique, l'Europe et l'Océanie ont vu diminuer leur participation mondiale par rapport à l'inventaire caprin, les dernières 20 années, respectivement de 7,5 à 4,6 % ; de 2,8 à 2,3 % et de 0,2 à 0,1 %.

L'Amérique a maintenu le nombre d'animaux d'une manière à peu près constante de 34,5 millions de têtes en 1985 à 36,1 millions en 2005, avec une croissance d'à peine 4,6 %. Les pays ayant la population caprine la plus importante sont le Brésil, le Mexique, l'Argentine, les États Unis, le Pérou, Haïti et la Bolivie, qui représentent 84%, le Brésil et le Mexique totalisant 50 % de l'inventaire.

Même si la participation mondiale de L'Europe a décliné légèrement, dans l'absolu, l'inventaire a augmenté de 38 %, passant de 12,9 millions à 17,8 millions. Les pays qui ont l'inventaire le plus élevé sont la Grèce, l'Espagne, la Russie, la France, l'Albanie, l'Italie et l'Ukraine, avec une participation de 81 %.

En Océanie, à l'inverse des autres continents, l'inventaire caprin a diminué de 23 %, de 1,1 million à 0,9 million de têtes. Le continent a eu un accroissement d'environ 100 % en 1988 par rapport à 1985. Les pays représentatifs sont l'Australie, les Iles Fidji et la Nouvelle-Zélande avec 93 % de l'inventaire du continent.

### 1.1.2 Production du lait de chèvre en comparaison avec autres espèces

La production totale de lait par espèce de 1985 à 2005 est présentée dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Production totale du lait de différentes espèces pour les années 1985 et 2005 (milliers de tonnes) et variations

Espèce	Années		Variation (%)
	1985	2005	
Chèvre	7 686	11 878	54,5
Vache	456 768	527 798	15,6
Brebis	6 534	7 813	19,6
Bufflonne	36 985	77 056	108,3
Chameau	380	435	14,4
Mondial	508 354	624 980	22,9

FAO (2006)

Pendant ces deux dernières décennies, selon Dubeuf (2005), il y a eu un regain d'intérêt pour le lait et les produits laitiers de chèvre, et c'est dans les pays développés européens que le secteur caprin s'est le mieux organisé.

En accord avec les données de la FAO (2006), la production du lait de chèvre au niveau mondial a vu sa croissance augmenter ces 20 dernières années de 54,5 %, contre 15,6 % pour le lait de vache. Le volume de production de lait de chèvre ne représente que 1,9 % de la production totale du lait en 2005 avec 11.9 millions de tonnes, contre 84,5 % de participation du lait de vache (Tableau 2).

**Tableau 2.** Production du lait de chèvre et de vache en milliers de tonnes, 2005

	<b>chèvre</b>	<b>%</b>	<b>vache</b>	<b>%</b>	<b>total</b>	<b>%</b>
Afrique	2 420	8,9	21 081	77,2	27 291	4,4
Amérique	361	0,2	151 742	99,7	152 138	24,3
Asie	6 560	3,2	119 557	58,5	204 392	32,7
Europe	2 537	1,2	210 575	97,3	216 316	34,6
Océanie	0	0,0	24 844	100,0	24 844	4,0
Total	11 878	1,9	527 798	84,5	624 980	100,0

FAO (2006)

Selon Dubeuf (2005), probablement moins de 5 % de la production mondiale du lait de chèvre entre dans les circuits commerciaux. L'industrie de transformation du lait de chèvre n'est pas organisée contrairement au lait de vache (Dubeuf *et al.*, 2004).

### **1.1.3 Le lait dans les pays en voie de développement**

La consommation du lait dans les pays en voie de développement est assez diverse et déterminée par la situation culturelle, les conditions économiques et le niveau de vie. Le lait et les fromages autoconsommés sont exclus de la production et le surplus est vendu aux industries de pasteurisation, UHT et la production de fromages (Dubeuf, 2005).

Pour le lait de chèvre, la situation est très différente puisque l'essentiel est autoconsommé ou vendu localement à travers un secteur informel. Il est difficile de déterminer la quantité de lait de chèvre produit, autoconsommé ou vendu dans les environs en raison du manque de données mondiales et d'une relative faiblesse des informations nationales (Dubeuf, 2005).

La production de lait et de viande de chèvre d'une sélection de pays est présentée tableau 3.

**Tableau 3.** Production de lait et de viande de chèvre (1985 et 2005) en milliers de tonnes

Pays	Lait		Variation (%)	Viande		Variation (%)
	Années			Années		
	1985	2005	1985	2005		
Afrique	1 193	2 420	102,8	469	809	72,5
Soudan	396	1 295	227,0	30	126	320,0
Tanzanie	70	104	48,6	20	31	55,0
Niger	62	105	69,4	13	25	92,3
Mauritanie	75	110	46,7	8	14	75,0
Mali	120	239	99,2	15	49	226,7
Algérie	147	160	8,8	9	12	33,3
Amérique	481	361	-24,9	104	137	31,7
Brésil	120	135	12,5	26	41	57,7
Pérou	19	21	10,5	8	7	-12,5
Bolivie	11	12	9,1	4	6	50,0
Chili	10	10	0,0	4	5	25,0
Mexique	301	154	-48,8	35	42	20,0
Haïti	17	25	47,1	4	6	50,0
Canada						
États Unis						
Asie	4 031	6 560	62,7	1 263	3 368	166,7
Bangladesh	568	1 416	149,3	52	137	163,5
Chine	141	256	81,6	294	1 902	546,9
Inde	1 320	2 700	104,5	358	475	32,7
Indonésie	152	220	44,7	50	59	18,0
Iran	701	365	-47,9	92	105	14,1
Pakistan	432	660	52,8	210	370	76,2
Europe	1 669	2 537	52,0	96	117	21,9
Bulgarie	77	109	41,6	5	6	20,0
Espagne	371	465	25,3	17	13	-23,5
France	425	587	38,1	9	7	-22,2
Russie		259			18	
Grèce	465	495	6,5	45	43	-4,4
Italie	128	115	-10,2	4	4	0,0
Allemagne	38	28	-26,3			
Océanie				13	19	46,2
Australie				11	17	54,5
Iles Fidji				1	1	0,0
N. Zélande				1	1	0,0
Mondial	7 686	11 878	54,5	1 972	4 479	127,1

FAO (2006)

Toujours selon Dubeuf (2005), la consommation de lait et de viande de chèvre est très différente selon les pays et selon les groupes culturels des pays. Le Moyen-Orient et l'Asie Centrale sont consommateurs traditionnels de lait de chèvre, au contraire des pays de l'Extrême Orient et de l'Afrique Occidentale où il existe des tabous vis-à-vis de ce type de lait.

Dans les pays en voie de développement, la croissance de la production de lait et de viande de chèvre, est marquée par la croissance de la population. L'Asie produit 55,2 % du lait mondial représenté par l'Inde avec 22,7 %, le Bangladesh 11,9 % et le Pakistan 5,6 %. La production de viande est également importante dans ce continent, avec 75,2% du total ; les pays les plus importants sont la Chine et l'Inde avec respectivement 42,5 % et 10,6 % de la production mondiale (Tableau 3).

L'Afrique produit 20,4 % du lait, les principaux producteurs sont le Soudan, le Mali et l'Algérie avec 70 % de la production du continent et 18,1 % de la viande mondiale de chèvre, les pays les plus productifs sont le Soudan, le Nigeria et le Mali avec 39,8 % du continent (Tableau 3).

L'Amérique (hors Canada et États Unis), a diminué sa production de lait de chèvre de 24,9 %, par contre la production de viande a augmenté de 31,7 %. Le continent apporte seulement 3 % de la production du lait et 3,1 % de la viande caprine. Les principaux pays producteurs sont le Mexique et le Brésil qui apportent 80,1 % et 60,6 % de la production du lait et de la viande du continent.

#### **1.1.4 Le lait dans les pays développés**

L'Europe avec seulement 2,3 % de l'inventaire caprin produit 21,4 % du lait de chèvre au niveau mondial, par contre sa participation dans la production de viande est seulement de 2,6 % (Tableau 3). Les principaux pays producteurs sont, par ordre : France, Grèce et Espagne avec 61 % de la production du lait du continent et Grèce, Russie et Espagne les principaux producteurs de viande avec 63,2 %.

L'Europe a enregistré les changements les plus profonds dans ce secteur au cours de ces 10 dernières années, notamment en Espagne avec l'augmentation de la consommation de fromage et surtout, la valorisation et la protection des produits vendus. Ainsi, 70

fromages au lait de brebis et de chèvre bénéficient, en Europe, d'une Appellation d'Origine Protégée (CIRVAL, 2005).

Aux États Unis et au Canada, le lait de chèvre est une niche du marché. Au cours de la décennie 1960-70, le lait de chèvre a été considéré seulement comme un substitut mineur au lait de vache. L'intérêt pour les fromages de chèvre a commencé à augmenter au début des années 80 quand il a été considéré comme un article gourmand (Dubeuf, 2005).

La FAO (2006) ne rapporte que 30 tonnes de lait de chèvre pour l'Océanie en 2005 et 0,4% de la production mondiale de viande.

## **1.2 Le lait de chèvre en France**

La France avec 6,7 % de l'inventaire caprin, produit 23,1 % du lait de chèvre de l'Europe (Tableau 3). Le rendement moyen par chèvre est de 490 l/an, ce qui montre la spécialisation laitière du secteur caprin. Les fromages de chèvre sont positionnés comme des produits de qualité, généralement affinés ou semi affinés et correspondent à un intérêt des consommateurs pour les produits dits traditionnels.

## **1.3 Production caprine au Mexique**

Le Mexique a occupé, en 2005 la 16<sup>ème</sup> place mondiale de l'inventaire caprin avec 9 millions de têtes, mais qui a diminué de 18 % ces 20 dernières années (FAO, 2006). Des facteurs économiques et techniques gênent l'expansion de la production laitière, notamment la disponibilité de l'eau et du fourrage, le manque d'infrastructures et de financement, les conditions sanitaires médiocres, les marges bénéficiaires et prix faibles sur le marché national, le nombre limité d'installations frigorifiques et d'entreposage, le coût élevé de l'entreposage, les taux d'intérêt élevés, l'absence de moyens de transport et le niveau génétique du cheptel. Tous ces facteurs réduisent considérablement la capacité du Mexique à accroître sa production nationale et à atteindre l'autosuffisance (FIRA, 1999, SEA-AAC, 2004).

Les États mexicains qui possèdent le plus grand nombre de caprins (Tableau 4) sont ceux de Puebla (16,6 %), Oaxaca (12,5 %), Guerrero (7,8 %), San Luis Potosí (7,8 %), Coahuila (7,0 %) et Zacatecas (5,7 %).

**Tableau 4.** Inventaire caprin (têtes) 2003, production de lait et de viande (tonnes) 2004 au Mexique

État	Têtes	%	Lait (tonnes)	%	Viande (tonnes)	%
Total National	8 991 752	100,0	160 960	100,0	42 029	100,0
Puebla	1 489 531	16,6	1 489	0,9	3 237	7,7
Oaxaca	1 123 535	12,5	-	0,0	4 270	10,2
Guerrero	699 276	7,8	-	0,0	3 310	7,9
S. L. Potosí	698 045	7,8	3 447	2,1	3 477	8,3
Coahuila	628 265	7,0	52 185	32,4	4 457	10,6
Zacatecas	509 245	5,7	4 893	3,0	3 049	7,3
Michoacán	477 943	5,3	3 522	2,2	2 349	5,6
Guanajuato	470 254	5,2	23 466	14,6	1 813	4,3
Nuevo León	373 452	4,2	4 716	2,9	1 409	3,4
Durango	335 761	3,7	39 897	24,8	1 778	4,2
Hidalgo	295 651	3,3	212	0,1	1 360	3,2
Jalisco	285 593	3,2	6 208	3,9	2 142	5,1
Tamaulipas	276 730	3,1	140	0,1	2 042	4,9
Chihuahua	234 712	2,6	9 794	6,1	1 211	2,9

SIAP-SAGARPA (2006)

La production caprine au Mexique joue un rôle important surtout dans les zones rurales. L'INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (1994) a indiqué qu'il existait un peu plus de 320 000 unités de production rurale caprine (28 têtes en moyenne). Cette production apporte principalement de la viande et du lait.

Les troupeaux caprins y jouent un rôle de sécurisation des producteurs dans des conditions climatiques parfois extrêmes (pluies insuffisantes). Son exploitation apporte, surtout aux secteurs marginaux ruraux, du lait, de la viande, de la peau, des fibres et du fumier (De Lucas et Arbiza, 2001).

Il existe des spécialisations très marquées selon les régions : au nord, dans les États de Coahuila, Nuevo León, Durango et San Luis Potosí, les chevreaux âgés d'un ou deux

mois représentent la principale forme de vente et de consommation de cette viande, et le lait est destiné à la fabrication de fromage frais et un peu à la fabrication de sucreries. Au centre, dans les États de Jalisco, Michoacán, Guanajuato et Querétaro, la viande provient de caprins adultes destinés à la préparation de plats traditionnels comme la « birria » et la « barbacoa (barbecue) » et le lait est destiné à la fabrication de fromages et la traditionnelle « cajeta (lait sucré concentré) ». Dans le sud (États d'Oaxaca, Puebla et Guerrero), la viande est destinée au traditionnel « chito (viande d'animaux adultes salée et séchée au soleil) », et le lait est utilisé pour la fabrication de fromages frais vendus régionalement (De Lucas et Arbiza, 2001).

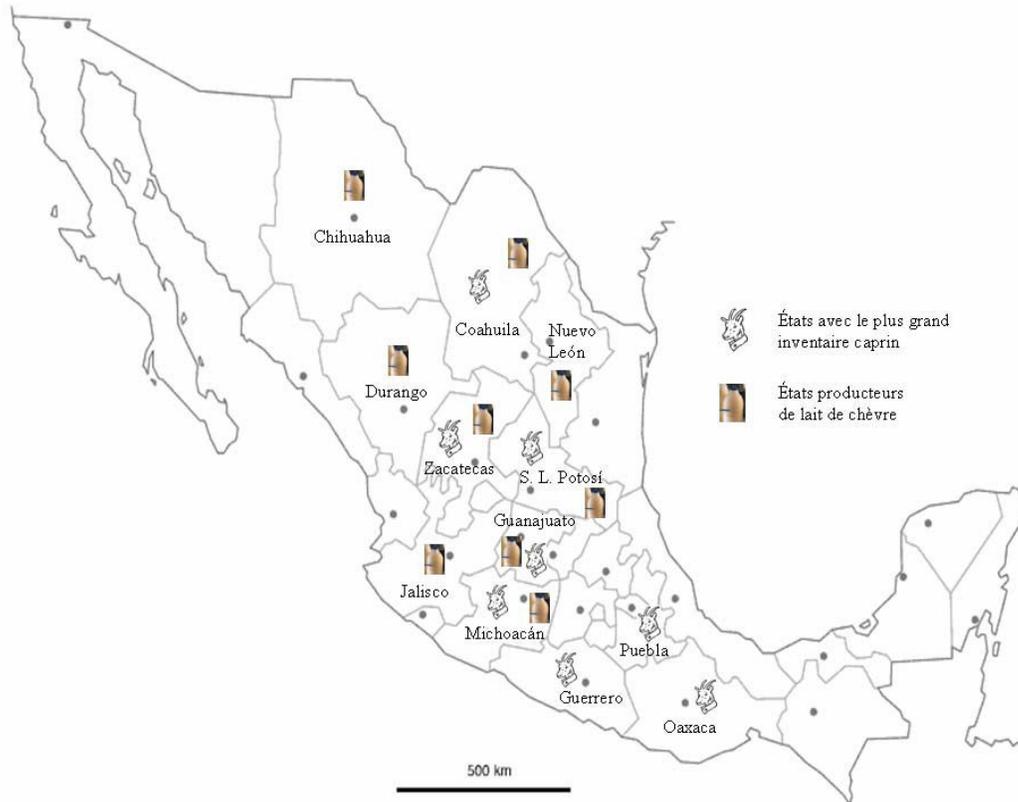
Les exploitations mexicaines peuvent être divisées en trois systèmes d'exploitation distincts : spécialisés (production en milieu confiné), semi-spécialisés (production en milieu semi-confiné) ou mixtes (lait et viande).

### **1.3.1 Production, marché et consommation du lait de chèvre au Mexique**

En accord avec les chiffres de la FAO (2006), le Mexique est le 17<sup>ème</sup> producteur mondial de lait (tous laits confondus) en 2005, mais ne parvient pourtant pas à couvrir la demande intérieure. Sur un peu plus de 10 millions de tonnes produites, seulement 1,5 % correspondent au lait de chèvre avec 154,5 mille tonnes et le restant 98,5 % au lait de vache. Ces 20 dernières années la production de lait de chèvre a diminué de 49%. Des facteurs économiques et techniques, déjà cités auparavant, gênent l'expansion de la production laitière.

Les principaux états mexicains producteurs de lait de chèvre sont : Coahuila (32,4 %), Durango (24,8 %), Guanajuato (14,6 %), Chihuahua (6,1 %) et Jalisco (3,9 %) lesquels ne correspondent pas à ceux où il y a le plus de chèvres (Tableau 4). Le rendement laitier par chèvre est très limité, par exemple à Coahuila est de 83 l/an et au niveau national de 17 l/an, ce qui montre que la spécialisation du secteur caprin au Mexique est principalement la production de viande.

La figure 2 présente les principaux états avec le plus grand inventaire caprin et les producteurs de lait de chèvre au Mexique.



**Figure 2.** Etats avec le plus grand inventaire caprin et Etats producteurs de lait de chèvre au Mexique

La plupart de la production du lait de chèvre est autoconsommée crue par les familles rurales ou commercialisée localement sous forme de lait, de fromages frais et de pâtisseries traditionnelles à base de lait comme les « cajetas, natillas, jamoncillos, etc. ». Du lait qui arrive aux industries, on estime qu'une grande partie est mélangée au lait de vache pour fabriquer des fromages (vendus comme « au lait de vache ») et des pâtisseries, et une proportion mineure est utilisée pour l'élaboration des produits « pur lait de chèvre » comme la « cajeta » et autres pâtisseries (« obleas, natillas, chiclosos, etc. »). Au cours des années 80, des élevages caprins laitiers spécialisés ont commencé à se constituer (80-100 chèvres), dans la région du « Bajío » (Querétaro et Guanajuato, qui produisent 15 % du lait) (Tableau 4) avec l'objectif de vendre leurs produits (fromages à pâte molle), sur les marchés urbains, aux consommateurs disposant de revenus plus élevés des villes comme Mexico, Puebla, Querétaro et Monterrey (FIRA, 1999) (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura en el Banco de México).

L'industrie du lait de chèvre se trouve principalement dans les états du nord : Coahuila et Durango qui produisent 57,2 % du total national (Tableau 4). Deux entreprises sont les plus importantes Chilchota et Coronado. Elles reçoivent la presque totalité de la production ; la première est spécialisée en fabrication de fromage et la deuxième en « cajeta » et pâtisserie (Salinas *et al.*, 1989, FIRA, 1999). La demande industrielle du lait de chèvre est insatisfaite et les entreprises travaillent en dessous de leur capacité (FIRA, 1999). La vente du lait est directe, du producteur à l'entreprise, et son prix se fixe par rapport au lait de vache (Hoyos, 1988).

Le prix du lait de chèvre était, en 1995, inférieur au lait de vache, respectivement 1,32 et 1,47 pesos (monnaie mexicaine) par litre (1 euro équivaut à 13,6 pesos mexicains, au type de change du 16 octobre 2006) ; en 2004 le prix du premier atteint 4,17 pesos contre 3,50 pesos du deuxième (SIAP-SAGARPA, 2006), ce qui montre la valorisation du lait de chèvre.

### **1.3.2 Production et marché de la viande de chèvre au Mexique**

La production mexicaine de viande de chèvre n'est pas très importante et ne participe qu'à hauteur de 0,8 % de la production totale de viande. Néanmoins au contraire de l'inventaire caprin et de la production du lait, elle a augmenté de 20 % ces 20 dernières années (Tableau 3 et 4). La plus grande partie de cette viande est produite dans les États de Coahuila, Oaxaca, San Luis Potosí, Puebla, Guerrero et Zacatecas, qui comptabilisent 51,9 % de la production totale (Tableau 4).

Au Mexique il n'existe pas une classification officielle pour la viande de chèvre. Les principaux produits sont les chevreaux qui se commercialisent de 15-45 jours d'âge (Garza *et al.*, 1994), la viande de chevreau jeune et la chèvre de rebut (FIRA, 1999).

Les principaux centres de consommation de chevreaux (« cabrito ») sont les grandes villes comme Mexico, Guadalajara, Aguascalientes, Saltillo et quelques villes de la frontière avec les États Unis d'Amérique (Nuevo Laredo et Reynosa). Il existe une classification pour les chevreaux en « chevreaux de première catégorie ou suprême, les chevreaux de seconde, les gémeaux, les castrés et les rebuts », mais dans la pratique elle est peu respectée. Le prix des chevreaux, très variable en fonction de la région, est fixé par l'intermédiaire commercial par rapport à la demande, ce qui parfois conduit à une

augmentation jusqu'à cinq fois pour le consommateur final et la participation de l'éleveur au prix est d'environ 17 % (Beltrán et Robles, 1988, Hoyos, 1988, Martínez, 1992, Garza *et al.*, 1994, Trujillo *et al.*, 1998, FIRA, 1999, De Lucas et Arbiza, 2001).

La production des animaux jeunes, adultes et de rebut est destinée, pour une petite partie à l'autoconsommation et à la vente pour être consommés en plats traditionnels comme « la birria, la barbacoa et le chito » dans les états de Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla avec ses traditionnels abattages « matanzas » et Guerrero (Silva et Mora, 1989, Bucardo et Lépiz, 1992, Cruz et Morales, 1992, Hernández et Sierra, 1992, Lépiz *et al.*, 1992, Trujillo *et al.*, 1998, De Lucas et Arbiza, 2001, Campos et Valencia, 2002).

## **2 Composition physico-chimique du lait de chèvre**

Le lait est un liquide physiologique complexe sécrété par les glandes mammaires des femelles des différentes espèces de mammifères afin de nourrir leurs petits (Chilliard et Sauvant, 1987, Mahé, 1996, Alais, 1998).

Le lait est un complexe nutritionnel qui contient plus de 100 substances différentes qui sont en solution, en émulsion ou en suspension dans l'eau (Wattiaux et Howard, 2006). Les laits sécrétés par les différentes espèces de mammifères présentent des caractéristiques communes, et contiennent les mêmes catégories de composantes : eau, protéines, lactose, matières grasses et minérales (Chilliard et Sauvant, 1987). Cependant, les proportions respectives de ces composants varient largement d'une espèce à l'autre selon le stade de lactation, la saison de l'année et de nombreux autres facteurs, et elle reflètent les besoins nutritionnels spécifiques de chaque espèce dont le lait représente la source unique de nutriments pour le nourrisson (Mahé, 1996). La composition moyenne du lait de quelques espèces est présentée dans le tableau 5.

Comme le lait de vache, le lait de chèvre est un liquide blanc composé de lipides en émulsion sous forme de globules, de caséines en suspension colloïdale, de protéines du sérum en solution colloïdale, de lactose et de minéraux en solution. Comparé au lait de vache, il est légèrement plus blanc (FTLQ, 2002).

Les variations entre la composition des divers laits sont très faibles (Tableau 5) pour les teneurs en lactose, en macro-éléments minéraux, en vitamines hydrosolubles et pour les

proportions relatives de différentes protéines. Elles sont par contre très larges pour les teneurs en vitamines liposolubles, en oligo-éléments et pour la teneur et la composition en matières grasses. Elles sont plus limitées, mais non négligeables, pour la teneur en protéines (Chilliard et Sauvart, 1987).

**Tableau 5.** Composition moyenne du lait de différentes espèces

Espèce	Composant (g/100 g)						
	Extrait sec total	Matière grasse	Lactose	Sels Minéraux	Matières azotées		
					totales	Caséines %	A N P %
Femme	11,7	3,5	6,5	0,25	1,4	28	17
Vache	12,5	3,5	4,7	0,8	3,5	78	5
<i>Chèvre</i>	13,8	4,3	4,7	0,8	4,0	75	7
Brebis	19,1	7,5	4,5	1,1	6,0	77	5
Bufflesse	17,8	7,5	4,7	0,8	4,8	80	-
Renne	31,9	17,5	2,5	1,5	10,4	80	-
Jument	10,0	1,5	5,9	0,4	2,2	50	-
Ânesse	10,0	1,5	6,2	0,5	1,8	45	-
Truie	18,3	6,0	5,4	0,9	6,0	50	8
Chatte	20,0	5,0	5,0	1,0	9,0	33	-
Chienne	25,2	10,0	3,0	1,2	11,0	50	-
Lapine	29,3	12,0	1,8	2,0	13,5	70	-
Ratte		10,3	2,6	1,3	8,4	76	-
Marsouin	59,9	46,0	1,3	0,6	12,0	-	-
Baleine	46,3	35,0	0,8	0,5	10,0	-	-
Otarie		53,5	0,1	0,5	8,9	52	-

(Chilliard et Sauvart, 1987, Hadjipanayiotou, 1995, Alais, 1998). ANP : Azote non protéique

Cependant, le rapport entre certains constituants est très stable et peut être utilisé pour identifier une altération de la composition naturelle du lait. Par exemple, un lait normal a une densité spécifique qui varie entre 1,023 et 1,040 (à 20 °C) et son point de congélation (solidification) varie de -0,518 à -0,534 °C. L'addition d'eau dans le lait est facile à détecter parce que ces paramètres deviennent rapidement anormaux à cause de l'excès d'eau qui s'y trouve (Wattiaux et Howard, 2006).

Le lait est un produit très périssable qui doit être refroidi aussi vite que possible et conservé à 4 °C après sa collecte (la traite). Les variations de température, l'acidité (pH)

ou la contamination par des micro-organismes peuvent diminuer sa qualité rapidement et irréversiblement (Wattiaux et Howard, 2006).

## **2.1 Composition protéique**

La fraction protéique du lait se trouve dans la phase aqueuse, soit à l'état « soluble » (protéines de lactosérum), soit à l'état de suspension colloïdale (micelles de caséines), et comporte plus d'une trentaine d'espèces moléculaires différentes qui dans leur grande majorité (95%) proviennent de l'expression de 6 gènes de structure spécifiant 6 chaînes peptidiques : l' $\alpha$ -lactalbumine, la  $\beta$ -lactoglobuline (protéines dites « solubles » ou du lactosérum) et les 4 caséines ( $\alpha$ S1,  $\alpha$ S2,  $\beta$ ,  $\kappa$ ) qui, en présence de phosphate de calcium, s'agrègent pour former des micelles (Martin, 1996).

La fraction protéique du lait diffère qualitativement et quantitativement, selon les espèces (Hadjipanayiotou, 1995). En revanche, dans une même espèce, d'un individu à l'autre, elles sont pratiquement identiques (Martin, 1996, Morgan *et al.*, 2003). A cause du polymorphisme génétique, il existe chez la chèvre, pour la caséine  $\alpha$ S1, 7 formes protéiques (variants), associées à 4 niveaux de synthèse différents (Martin, 1996).

Les micelles de caséine et les globules de matière grasse donnent au lait et aux produits laitiers (beurre, fromage, yoghourt, etc.) leur texture, leur goût et leur saveur (Wattiaux et Howard, 2006).

### **2.1.1 Les caséines**

L'aspect blanc (« laiteux ») du lait, lorsqu'il est écrémé, est dû à de fines particules sphériques appelées « micelles » dont la taille est comprise entre 20 et 300 nm. Elles sont très hydratées et leur matière sèche se compose essentiellement de minéraux (6 %) et de protéines (94 %) : les caséines. Les caséines ont une structure lâche, peu ordonnée ; on les considère généralement comme étant « naturellement » dénaturées (Martin, 1996).

Les caséines représentent environ 80 % des protéines du lait des ruminants d'élevage alors qu'elles ne constituent que 50 % des lactoprotéines humaines. Elles sont de 4 types :  $\alpha$ S1,  $\alpha$ S2,  $\beta$ ,  $\kappa$ , elles sont toutes quatre phosphorylées (Tableau 6). Pour les

trois premières, qui ont des fonctions similaires, les sites de phosphorylation sont regroupés par séries de 4 à 5 résidus de sérine phosphate qui constituent des points d'ancrage intermoléculaire, la liaison entre les chaînes protéiques étant assurée par un sel de calcium (phosphate de calcium colloïdal) (Martin, 1996).

**Tableau 6.** Caractéristiques des caséines caprines et bovines

Caséines c=chèvre et v= vache	$\alpha$ S1		$\beta$		$\alpha$ S2		$\kappa$	
	c	v	c	v	c	v	c	v
Acides aminés	199	199	207	209	208	207	171	169
% de la caséine totale	10*	38	48	38	20	11	22	13
Groupements phosphate	7/9	8/9	5/6	5	9/11	10/13	2/3	1/2
Motifs glucidiques		-		-		-		+

\*La proportion de la caséine  $\alpha$ S1 dans la caséine totale varie, chez la chèvre de 0 à 25 % selon le génotype, la valeur indiquée correspond à une moyenne (Martin, 1996).

Les caséines  $-\alpha$ S1,  $-\alpha$ S2 et  $-\beta$  sont insolubles en présence de phosphate de calcium colloïdal. C'est la caséine  $-\kappa$ , la quatrième, qui ne comporte qu'un (ou 2) groupement(s) phosphate et pas de sites de phosphorylation multiple, qui assure la stabilité et le maintien de l'ensemble de l'édifice micellaire, sous forme d'une suspension colloïdale (Martin, 1996).

La caséine  $\kappa$  possède un caractère amphiphile, c'est à dire que sa chaîne peptidique est formée de deux parties distinctes : la partie N-terminale (la paracaséine  $\kappa$ ), qui s'étend sur une centaine de résidus et qui est très hydrophobe, et le tiers C-terminal (64 résidus) qui présente un caractère hydrophile et une charge négative prononcée, renforcée par une glycosylation plus ou moins étendue. Ce tiers C-terminal, appelé caséinomacropéptide (CMP) « tapisse » la surface de la micelle et c'est lui, qui par sa charge et son caractère hydrophile marqué, empêche la coalescence des particules micellaires (Martin, 1996).

La coagulation du lait, et donc la formation du coagulum ou caillé de fromagerie, est consécutive à la conjonction de 2 types de phénomène : acidification (par les levains lactiques en cuve de fromagerie ou les acides gastriques dans l'estomac) et coupure par des protéases (la présure ou les enzymes coagulantes en fromagerie ou la chymosine et

les pepsines dans l'estomac) d'une liaison peptidique de la caséine  $\kappa$  qui libère le caséinomacropéptide. Cette protéolyse spécifique et limitée a pour conséquence de démasquer des sites par lesquels les micelles modifiées vont pouvoir interagir entre elles, et se réunir pour finalement aboutir, par agrégation-gélification, à la formation d'un coagulum (Martin, 1996).

La caséine  $\beta$ , qui est le constituant protéique majeur du lait de chèvre, a longtemps été considérée comme étant monomorphe, mais diverses études ont montré qu'ils existent 4 allèles différents. La caséine  $\alpha$ S2, comme la caséine  $\beta$ , est également polymorphe chez la chèvre. Trois variants génétiques ont été dénombrés qui se différencient par de simples substitutions d'acides aminés. La diversité génétique des caséines observée dans l'espèce caprine, se rencontre également dans les espèces bovine et ovine ; mais, la grande originalité de l'espèce caprine réside dans l'existence d'une variabilité quantitative associée. Cette situation offre la possibilité, par la sélection, d'influencer la composition protéique et par conséquent, les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques qui peuvent être ainsi modulées (Martin, 1996).

### **2.1.2 Les protéines du lactosérum**

Le lait contient un ensemble de protéines dites « solubles » car elles restent en solution dans le lactosérum après emprésurage et coagulation des caséines. Ces protéines solubles représentent, dans le lait de chèvre (comme dans le lait de vache) environ 20 % des lactoprotéines. Ces protéines ont une structure globulaire. Deux d'entre elles sont majoritaires : l' $\alpha$ -lactalbumine et la  $\beta$ -lactoglobuline. Cette dernière est présente dans le lait sous forme de dimères. Elle est absente du lait de femme. Elle serait impliquée dans le transport du rétinol, précurseur de la vitamine A, vers des récepteurs localisés sur la bordure en brosse duodénale (Martin, 1996).

L' $\alpha$ -lactalbumine constitue l'une des deux sous unités de la lactose synthétase (l'autre étant l'UDP-galactosyl transférase). Elle assure la dernière étape de la biosynthèse du lactose, dans la cellule épithéliale mammaire. Il existe également un nombre important d'espèces quantitativement mineures, dont certaines jouent un rôle essentiel dans la protection du petit. C'est le cas des immunoglobulines de type G (IgG) très abondantes dans le colostrum de vache, de type A (IgA) qui assurent avec d'autres protéines telles

la lactoferrine, la lactopéroxydase, et le lysozyme, une protection locale au niveau des muqueuses mammaires (chez la mère) et buccales et intestinales (chez le jeune). La lactoferrine, dont la quantité dans le lait humain est sensiblement plus importante, exerce, par sa capacité à chélater les ions  $Fe^{3+}$ , une activité bactériostatique. Elle jouerait également un rôle dans le transport du fer vers l'intestin où elle assurerait son absorption par l'intermédiaire de récepteurs spécifiques (Martin, 1996).

## 2.2 Matières grasses

La matière grasse du lait et les vitamines qui y sont solubles, sont sous forme d'émulsion: une suspension de globules liquides qui ne se mélangent pas avec l'eau du lait (Wattiaux et Howard, 2006). La teneur en matière grasse du lait peut varier largement avec l'espèce, la race ou le génotype des animaux, leur stade de lactation et leur alimentation. Le lait de chèvre contient en moyenne entre 35 et 40 g/L de matière grasse. C'est le constituant le plus variable du lait. La matière grasse du lait se compose principalement de glycérides (99 %) et de phospholipides, des cérebrosides, du cholestérol et des acides gras libres (FTLQ, 2002).

Le lait de chèvre est très pauvre en tocophérols et en carotène, ce qui explique sa faible coloration. Les globules gras du lait de chèvre ont un diamètre moyen comparable à ceux du lait de vache, mais un pourcentage plus important de globules de petite taille et ne contient pas d'agglutinine qui favorise la formation de la crème dans le lait de vache. Ces deux particularités peuvent expliquer que le lait de chèvre soit plus difficile à écrémer à froid, et peut être contribue à sa bonne digestibilité (Chilliard, 1996).

Les lipides représentent 50 à 60 % de l'apport énergétique du lait. Les produits laitiers constituent 12 à 25 % des apports en lipides. Les deux acides gras les plus abondants sont l'acide palmitique et l'acide oléique. La fraction lipidique est importante pour son apport en acides gras essentiels (Mahé, 1996).

Les lipides du lait de chèvre sont une composante importante de la qualité technologique et diététique des produits laitiers caprins. Ils peuvent modifier les rendements de transformation (fromage), la texture, la couleur et le goût des produits laitiers. Les différents lipides : cholestérol, acides gras saturés, à courte chaîne, ramifiés, de structure *trans*, polyinsaturés ; peuvent jouer un rôle qualitatif positif ou négatif pour

la santé des consommateurs (Chilliard, 1996). La composition des matières grasses du lait de trois espèces est présentée tableau 7.

**Tableau 7.** Classes de lipides (% des MG totales)<sup>(1)</sup> du lait de trois espèces

	Chèvre	Vache	Humain
Triglycérides	95,0	98,0	97,0
Glycérides partiels	3,0	0,5	1,0
Cholestérol <sup>(2)</sup>	0,4	0,3	0,6
Phospholipides	1,0	0,9	1,1
Acides gras libres	0,6	0,4	0,5

(1) d'après Jenness, 1974, 1980 ; Arora *et al.*, 1976 ; Cerbulis *et al.*, 1982 ; Harzer *et al.*, 1984 ; Jensen *et al.*, 1990 (Chilliard, 1996).

(2) Principalement sous forme libre.

### 2.2.1 Les triglycérides

Les triglycérides représentent de 95 à 98 % des lipides totaux (Tableau 7). La teneur en glycérides partiels du lait de chèvre est influencée par les conditions de conservation, de séparation et de dosage (Chilliard, 1996).

### 2.2.2 Les phospholipides

Les teneurs en cholestérol et en phospholipides, des lipides du lait de chèvre, sont faibles, respectivement de 0,3-0,6 % et de 1 %. Le cholestérol du lait se présente en grande majorité sous forme libre (Chilliard, 1996).

### 2.2.3 Les acides gras

Les teneurs en acides gras libres peuvent être très variables selon le degré de lipolyse des laits, qui dépend des conditions de récolte et de conservation. Le lait de chèvre est un peu plus riche en acides gras à chaîne moyenne (C6, acide caproïque, C8, acide caprylique, C10, acide caprique) que le lait de vache. Ce dernier est, en revanche, un peu plus riche en acides butyrique (C4), palmitique (16:0) et oléique (C:18). Le lait de ruminant est plus riche que le lait humain en acides gras à chaîne ramifiée en position

iso ou anteiso, en particulier à nombre impair de carbone. Ceci résulte du métabolisme microbien des acides aminés à chaîne ramifiée dans le rumen. En outre, le lait de chèvre contient des acides gras ramifiés particuliers, en faible quantité, portant un groupement méthyle sur d'autres carbones (principalement 4 et 6), et provenant d'un métabolisme du propionate d'origine ruminal qui diffère de celui de la vache (Chilliard, 1996).

Une partie des acides gras insaturés du lait ont une ou plusieurs doubles liaisons de configuration *trans*. L'acide vaccénique (C18:1, n-7) est le principal représentant de plusieurs acides gras monoinsaturés de structure *trans*, dont l'ensemble représente de 7 à 13 % du C18:1 total (*cis* et *trans*). Le lait de chèvre contient des quantités importantes de lipoprotéine lipase (LPL), comme le lait de vache et le lait humain. Celle-ci est liée aux globules gras chez la chèvre, son rôle est l'hydrolyse des triglycérides en acides gras libres. Une lipolyse excessive entraîne le rancissement du lait, mais il est probable qu'une lipolyse modérée contribue au goût « chèvre » par l'intermédiaire des acides gras libres à 6, 8 et 10 atomes de carbone (Chilliard, 1996).

### **2.3 Les glucides du lait**

Les glucides du lait sont essentiellement constitués de lactose et de quelques autres sucres en faible quantité, dont le glucose. Le lactose est un disaccharide qui comprend le glucose et le galactose. La teneur moyenne en lactose d'un lait normal de chèvre est d'environ 50 g/L (FTLQ, 2002).

L'absorption du lactose dépend de la présence de lactase (non absorbée sous forme native par la muqueuse intestinale) qui hydrolyse le lactose en glucose et galactose. Le lactose sert ainsi de source d'énergie et d'apport de galactose pour le développement du système nerveux central. Une fraction non absorbée est utilisée par la microflore intestinale, notamment les bifides, qui produit des acides organiques ayant un rôle protecteur de l'hôte. Le lactose non absorbé est fermenté par la flore qui produit de l'acide lactique, des acides gras à courte chaîne, de l'hydrogène et pour certains du méthane. Lorsque les capacités de fermentation de la flore sont dépassées, apparaissent des douleurs et des diarrhées, c'est ce que l'on appelle « l'intolérance au lactose ». Environ 70 % des individus perdent l'activité lactase intestinale durant leur développement (Mahé, 1996).

## 2.4 La composition minérale du lait de chèvre

Le lait est une bonne source de minéraux et d'oligo-éléments. La quantité d'oligo-éléments varie en fonction de la période de lactation, de la saison et de la nourriture. Un des minéraux présent en grande quantité dans le lait est le calcium essentiellement lié aux caséines sous forme de phosphocaséinate. Chez l'adulte, la consommation moyenne de produit laitier assure 60 à 80 % des apports journaliers recommandés en calcium, environ 20 % de l'apport en magnésium et en potassium, 25 % de l'apport en zinc, 15 à 35 % de l'apport en iode, 21 % de l'apport en chrome et 36 % de l'apport en molybdène (Mahé, 1996).

La composition minérale du lait de chèvre est proche de celle du lait de vache. Le lait de chèvre est légèrement plus riche en Ca et P et nettement plus riche en Mg, K et Cl (Tableau 8) (Guéguen, 1996).

**Tableau 8.** Composition minérale moyenne du lait de différentes espèces. Eléments minéraux majeurs en mg par litre

	<b>Humain</b>	<b>Vache</b>	<b>Chèvre</b>	<b>Brebis</b>
Calcium	320	1200	1260	1950
Phosphore	150	920	970	1500
Potassium	550	1500	1900	1400
Sodium	200	450	380	460
Chlore	450	1100	1600	1100
Magnésium	40	110	130	180
Rapport Ca : P	2,1	1,3	1,3	1,3

(Guéguen, 1996)

La composition en oligo-éléments du lait de chèvre est proche de celle du lait de vache. Le lait est une source importante de zinc, d'iode et de sélénium dans l'alimentation humaine ; par contre, il est pauvre en fer et en cuivre (Tableau 9) (Guéguen, 1996).

**Tableau 9.** Composition minérale moyenne du lait de différentes espèces. Principaux oligo-éléments indispensables en µg par litre

	<b>Humain</b>	<b>Vache</b>	<b>Chèvre</b>	<b>Brebis</b>
Zinc	3000	3800	3400	5000
Fer	600	460	550	700
Cuivre	360	220	300	400
Manganèse	30	60	80	90
Iode	80	70	80	100
Sélénium	20	30	20	30

(Guéguen, 1996).

## 2.5 Les vitamines

Les compositions vitaminiques des laits caprin et bovin (Tableau 10) rapportées dans la littérature diffèrent parfois par la nature de l'échantillon ; lait entier ou écrémé ; lait cru ou lait chauffé. La sensibilité de certaines vitamines à la chaleur et à la lumière est connue. Les teneurs en vitamines liposolubles d'un lait dépendent de son taux de matière grasse (Jaubert, 1996).

**Tableau 10.** Compositions vitaminiques du lait de différentes espèces par 100 g

<b>vitamine</b>		<b>Chèvre</b>	<b>Vache</b>	<b>Humain</b>
<i>Vitamines liposolubles</i>				
A rétinol	mg	0,040	0,035	0,060
A carotène	mg	0,000	0,021	0,025
D	µg	0,060	0,080	0,055
E tocophérol	mg	0,040	0,110	0,230
<i>Vitamines hydrosolubles</i>				
B1 thiamine	mg	0,050	0,040	0,020
B2 riboflavine	mg	0,140	0,170	0,035
B3 niacine (PP)	mg	0,270	0,090	0,160
B5 acide pantothénique	mg	0,310	0,340	0,180
B6 pyridoxine	mg	0,050	0,040	0,010
B8 biotine	µg	2,000	2,000	0,700
B9 acide folique	µg	1,000	5,300	5,200
B12 cobalamine	µg	0,060	0,350	0,040
Acide ascorbique (vit. C)	mg	1,300	1,000	4,000

(Jaubert, 1996)

### **2.5.1 Vitamines liposolubles**

Le lait de chèvre présente une teneur en vitamine A (rétinol) supérieure à celle du lait de vache, mais se caractérise par l'absence de précurseur carotène, ce qui est à l'origine de sa couleur blanche caractéristique. La teneur en vitamine D et E du lait caprin est inférieure à celle du lait de vache. La vitamine D est connue pour son action essentielle dans l'absorption digestive et l'utilisation du Ca et du P dans la formation des os (Jaubert, 1996).

### **2.5.2 Vitamines hydrosolubles**

Le lait de chèvre contient autant de vitamine B1, B2, B5, B6, B8 et B12 que le lait de vache; et trois fois plus de niacine (B3 ou PP) qui est un des constituants fondamentaux de 2 coenzymes (NAD-NADP) nécessaires au métabolisme des glucides, des protéines et des lipides (Jaubert, 1996).

## **2.6 Les nucléotides**

Les laits de chèvre, de vache et du lait humain diffèrent par leur composition quantitative et qualitative en nucléotides. Les concentrations en nucléotides sont les plus élevées dans le colostrum, puis diminuent progressivement au cours de la lactation, indépendamment de l'espèce (Jaubert, 1996).

Les nucléotides sont des métabolites importants jouant un rôle essentiel dans de nombreuses fonctions biologiques. Ils constituent le support de l'information génétique (ADN, ARN) et ont un rôle de réserve énergétique (AMP, GMP). Ils peuvent servir d'intermédiaire par action hormonale ou participer à l'immunité. Le lait de chèvre se caractérise par la part prépondérante de dérivé d'uridine, notamment d'uridine monophosphate (UMP), d'uridine diphosphate hexoses (UDP hexoses) dont l'UDP G (UDP Glucose) et l'UDP Ga (UDP Galactose) et d'uridine diphosphate-acétylhexosamines (UDP Ac-hexosamines) (Jaubert, 1996).

## **2.7 Qualité nutritionnelle du lait de chèvre**

Le lait de chèvre a certains attributs qui ont des particularités significatives pour la nutrition humaine. Les globules gras sont plus petits et la coagulation se développe plus tôt en comparaison avec les laits de vache, buffle et brebis. Ce facteur le rend plus facilement digestible (Aganga *et al.*, 2002).

Le niveau de sélénium du lait de chèvre est comparé au lait humain et se révèle significativement supérieur à celui du lait de vache ; le lait de chèvre contient plus d'acide caprique, caprylique et autres acides gras de chaîne moyenne. Ces avantages permettent de recommander le lait de chèvre aux personnes ayant des problèmes métaboliques et qui tolèrent mal les autres laits (Knights et Garcia, 1997).

Des études réalisées (Touhami, 1996), sur l'effet du lait de chèvre chez des enfants souffrant de malnutrition, ont montré que même dans les conditions extrêmes, ce lait peut contribuer à maintenir l'état nutritionnel des enfants. Des analyses sur le coefficient d'absorption intestinale des graisses du lait de chèvre, ont montré que la digestibilité du lait de chèvre est supérieure à celle du lait de vache et que l'acceptabilité est identique. Mais il n'est pas recommandé de l'utiliser tel quel à cause du taux important de protéines, il est nécessaire de le diluer et de le sucrer, comme pour le lait de vache.

Lloyd (1982) indique que l'augmentation récente du marché caprin dans les pays occidentaux a été associée particulièrement à l'intérêt croissant pour les aliments de santé et l'autosuffisance.

## **3 Production et valorisation du fromage**

Il est généralement admis que le fromage a commencé à être élaboré au Moyen Orient, spécifiquement entre le croissant fertile entre les fleuves Tigre et Euphrate. Le grand nombre de noms différents de fromages a résulté de la longue histoire de la fabrication des fromages, l'utilisation des laits de divers animaux et le développement de technologies uniques habituellement par accident, mais aussi imposées par les conditions de l'environnement. Ces différences ont été influencées par l'isolement des régions productrices et les différences de langages, dont il a résulté que des fromages

similaires avaient différents noms. L'orgueil régionaliste et nationaliste a institutionnalisé et conservé plus de 1000 noms de fromages (Caballero *et al.*, 2003). Les variétés de fromages les plus consommés résultent du commerce entre les régions, vraisemblablement basé sur des caractéristiques organoleptiques acceptables, mais aussi pour le maintien de leurs qualités pendant le transport.

Divers produits, comme le fromage, sont dérivés de fermentations, mais le fromage ne peut être défini facilement à cause de la complexité de cet aliment. Selon la FAO (1998), la norme FAO/OMS n° A-6 (1978, modifiée en 1990) donne la définition suivante : « le fromage est le produit frais ou affiné, solide ou semi-solide, dans lequel le rapport protéines de lactosérum/caséine n'excède pas celui du lait, obtenu : 1) par coagulation du lait, lait écrémé, lait partiellement écrémé, crème de lactosérum ou babeurre, seul ou en combinaisons, grâce à l'action de la présure ou d'autres agents coagulants appropriés, et par égouttage partiel du lactosérum résultant de cette coagulation ; 2) par l'emploi de techniques de fabrication entraînant la coagulation du lait et/ou des matières obtenues à partir de lait, présentant des caractères physiques, chimiques et organoleptiques similaires à ceux du produit défini plus haut ».

Selon la même norme, le fromage « affiné » est celui qui n'est pas prêt à la consommation immédiatement après la fabrication, qui doit être maintenu pendant un certain temps à la température et dans les conditions nécessaires pour que s'opèrent les changements biochimiques et physiques caractéristiques du fromage. Le fromage « affiné aux moisissures » est celui dont l'affinage est provoqué essentiellement par la prolifération de moisissures caractéristiques dans la masse et/ou sur la surface du fromage. Le fromage « frais ou non affiné » est du fromage qui est prêt à la consommation peu de temps après la fabrication.

### **3.1 Production et consommation de fromage de chèvre**

Selon la FAO (2006), la production de fromage au niveau mondial en 2005, a été de 118,4 millions de tonnes (Tableau 11), dont seulement 2 % correspondent aux fromages de chèvre et 92 % aux fromages de vache. Les États Unis sont le principal producteur de fromages, suivis de l'Allemagne, de la France et de l'Italie ; l'ensemble de tous ces pays produisent 53 % du total mondial. Le Mexique occupe la 27<sup>ème</sup> place avec 0,8 % de la production mondiale (146,5 mille tonnes).

**Tableau 11.** Production de fromages (tonnes) en 2005 de diverses espèces par continent

	<b>Total</b>	<b>vache</b>	<b>chèvre</b>	<b>brebis</b>	<b>buffle</b>	<b>Autres*</b>
Afrique	930 205	549 071	122 950	19 424	238 750	10
Amérique	5 790 121	5 765 116	17 976	6 479	-	550
Asie	1 116 354	783 836	83 581	237 035	11 000	902
Europe	9 921 169	9 276 162	197 055	380 117	14 330	53 505
Océanie	673 000	673 000	-	-	-	-
Mondial	18 430 849	17 047 185	421 562	643 055	264 080	54 967

(FAO, 2006). (\*Autres = fromages de petit lait)

La production de fromages de chèvre, bien quelle soit modeste, a une place non négligeable tant pour la consommation que pour l'économie des pays producteurs, en considérant qu'un pourcentage important de la production dans les pays en voie de développement n'est pas quantifié, parce que autoconsommée ou vendue sur les marchés locaux.

L'Europe est le continent qui produit le plus de fromage de chèvre (Tableau 11) avec 47% de la production totale, suivi par l'Afrique (29 %), l'Asie (20 %) et l'Amérique (4%). Les principaux pays producteurs de fromage de chèvre sont par ordre d'importance : le Soudan avec 25,3 %, la France 19,1 %, la Grèce 11,4 %, l'Iran 10,8%, l'Espagne 8,9 % et le Mexique 3,3 %.

Le français est le deuxième amateur de fromages au monde, après le Grec, avec 24,6 kg de fromages consommés par an (CNIEL, 2006). Au Mexique, la consommation de fromage n'est pas très représentative, selon les données de la FAO (2006) ; en 2003 elle a été de 217 mille tonnes, ce qui représente un peu plus de 2 kg/personne/an. Pour le fromage de chèvre, cette quantité se réduirait significativement par personne.

### **3.2 Classification des fromages de chèvre en France**

Le fromage de chèvre est le plus ancien de tous les fromages. La chèvre était un élément indispensable dans l'alimentation des populations vivant en climat sec.

En France on compte plus de 400 variétés de fromage (des diverses espèces laitières), qui, en général, sont classés en huit familles : les fromages fondus, les fromages frais, les pâtes molles à croûte fleurie, les pâtes molles à croûte lavée, les pâtes persillées, les pâtes pressées cuites, les pâtes pressées non cuites et les fromages de chèvre (CNIEL, 2006).

En France, selon le CNIEL (2006), il existe trois grandes sortes de fromages de chèvre, différenciées selon leur mode de fabrication : 1) Les fromages de chèvre frais, leur texture est souple, tranchable, non collante, et leur goût est neutre. Le caractère frais est renforcé pour le cendré ; 2) les fromages de chèvre "lactiques" : sont des fromages affinés, de texture cassante, légèrement fondante et leur goût est typé ; et 3) les fromages de chèvre "présure" : sont des fromages affinés de type camembert, ont une texture souple, fondante et onctueuse ; leur goût est peu typé, sauf s'ils sont au lait cru. Dans la grande famille des chèvres, on trouve essentiellement des pâtes molles à croûte naturelle ou fleurie et des pâtes fraîches ; les pâtes pressées non cuites et les pâtes persillées sont plus rares. Comme les fromages de vache, les fromages de chèvre peuvent provenir de lait cru, pasteurisé ou thermisé.

Favier (1987), a proposé une classification des fromages de chèvre en quatre grandes catégories, selon leur teneur en eau : 1) fromages frais avec plus de 80 % d'eau ; 2) fromages frais moulés avec 60 à 80 % d'eau ; 3) fromages demi-secs avec 35 à 60 % d'eau ; et 4) fromages secs avec moins de 35 % d'eau.

Selon la nature du lait utilisé, les fromages au lait de chèvre sont classés en deux catégories : 1) les « fromages de chèvre » ou « pur chèvre » (l'appellation est réservée aux fromages exclusivement fabriqués au lait de chèvre) ; et 2) les « mi-chèvre » (l'appellation s'applique à des fromages obtenus à partir d'un mélange de lait de vache et de chèvre, mais la proportion de ce dernier doit au minimum s'élever à 50 %). L'appellation « fromages au lait de mélange » désigne des fromages fabriqués à partir du lait de deux ou plusieurs espèces animales (CNIEL, 2006).

La France compte une multitude de variétés de fromages de chèvre ; parmi elles, douze AOC (Appellations d'Origine Contrôlée) : Chabichou du Poitou, Crottin de Chavignol, Pouligny-Saint-Pierre, Banon, Pélardon, Picodon, Rocamadour, Sainte Maure de Touraine, Selles sur Cher, Chevrotin, Valençay et Maconnais (CNIEL, 2006).

### 3.3 Fromages de chèvre au Mexique

Au Mexique, contrairement au reste de l'Amérique Latine, l'immense surface constituée par des régions arides, est à l'origine de conditions de vie particulières ; pour cette raison, l'animal laitier, qui s'est développé après la conquête espagnole, fut d'abord la chèvre et non la vache. La production de fromages fut moins importante que la production des pâtisseries à base de lait. La première industrie agro-alimentaire de la Nouvelle Espagne (Mexique, après l'arrivée des Espagnols) était liée à la production de sucre. La production de divers types de pâtisseries à base de lait comme les « cajetas, natillas, jamoncillos, etc. », se diffuse largement dans le pays. La température élevée dans l'ensemble du pays, rend la conservation des fromages difficile, ce qui a conduit la population à plutôt utiliser le lait pour la production de desserts (Peraza, 2001).

Une des principales caractéristiques des fromages artisanaux est d'être toujours broyés et frais (par exemple, le fromage « Ranchero ». Ainsi au Mexique, aux autres opérations de fabrication le broyage du caillé doit être ajouté. Au Mexique on distingue 5 types de fromages artisanaux (Peraza, 2001) : Ranchero, Panela, De Hebra ou Asadero, Adoberas et Añejo (affiné). Le fromage de lactosérum, la Ricotta et le Jocoque (fromage frais très typique avec un pourcentage assez élevé d'humidité) sont également consommés dans tout le pays. Le climat et l'environnement ont une grande influence sur les techniques de fabrication du fromage. Il existe des fromages d'influence européenne comme le Chihuahua (proche du « cheddar »), le Manchego Mexicano (pressé à pâte non cuite) et l'Oaxaca et l'Asadero (pâte filée). La saumure et l'affinage long se sont également développés pour permettre aux fromages de résister à la chaleur, comme pour le Parmesan et le Pecorino. D'autres exemples sont le Cotija de Michoacán et le fromage de chèvre de la Baja California du Sud.

Les fromages typiques au lait de chèvre, les plus connus au Mexique sont, selon Peraza (2001) :

- 1) Queso añejo (fromage affiné) de l'Oasis de Baja California Sud : fromage salé, sec, affiné, peu pressé, commercialisé en pièces de 4-6 kg. Une grande partie de cette production est achetée par la société Chambourcy, filiale de Nestlé, en tant que Parmesan.

- 2) Panelas de Coahuila de Cabra : l'État de Coahuila produit des fromages frais de type panela.
- 3) Cuajada de cabra de San Luis Potosí : dans l'État de San Luis Potosi, il y a deux zones fromagères importantes, la Huasteca potosina et la zone caprine de l'Altiplano Potosino (Matehuala). A Matehuala, on produit des fromages frais appelés « cuajadas ». Leur destination est « l'enchilada potosina » plat à base de maïs et piment.
- 4) Queso de Cofre de Perote : provenant de Perote ou de la zone caprine orientale de l'État de Puebla, voisine à celle de l'État de Veracruz, est un fromage au lait cru de chèvre, un de plus traditionnels du pays, proche du Majorero des Canaries. Il est légèrement acide, moulé à la main dans des moules multiples de bois semblables à ceux de l'archipel espagnol. Au printemps, on produit jusqu'à 30 000 fromages par jour. Vendu dans la région et dans la ville de Puebla.
- 5) Queso de cabra de Queretaro : fromage salé produit dans une région semi désertique.
- 6) Queso de cabra de Guanajuato (fromage broyé), dans cette région la production de lait de chèvre est abondante. Depuis 18 ans, on produit également dans la région de Guanajuato du fromage de chèvre à coagulation lactique sur le modèle français comme la bûche. Les principales unités de fabrication de ce type de fromage transforment aujourd'hui plus de 2,5 millions de litres de lait chaque année, ce qui permet de le considérer comme un fromage de chèvre artisanal mexicain.
- 7) Queso Sierra de Sinaloa : fromage d'un mélange de lait de vache et de chèvre produit dans l'État de Sinaloa.

Jusqu'à la fin des années 70, la production des fromages de chèvre était une tradition, et représentait une part importante de l'économie du Mexique. Un des industriels laitiers les plus importants du pays, de l'État de Coahuila, raconte qu'à une époque, à Coahuila on produisait une sorte de feta qui s'exportait en barils de bois vers les Etats Unis.

## 4 Production et valorisation du piment

Les piments sont originaires d'Amérique Latine. Des vestiges de piment de plus de 7000 ans avant J. C. ont été trouvés dans des sites archéologiques du Sud-est du Mexique (Coon, 2003). Colomb et d'autres explorateurs, après la découverte de l'Amérique, les apportent en Europe, d'où ils ont été ensuite exportés en Asie et moins d'un siècle après son introduction dans le vieux monde, les piments sont devenus une importante culture d'exportation de l'Inde (Ensminger *et al.*, 1994).

Les piments appartiennent au genre *Capsicum*, de la famille *Solanaceae*, laquelle inclut les tomates, les pommes de terre et les aubergines (Ensminger *et al.*, 1994, Jolicoeur, 2001, CIRAD-GRET, 2002, Caballero *et al.*, 2003, Coon, 2003). Le genre *Capsicum* comprend vingt-trois espèces (Jolicoeur, 2001), dont cinq sont cultivées: *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. chinense*, *C. baccatum* et *C. pubescens* (Caballero *et al.*, 2003, Coon, 2003). Généralement, on distingue deux sortes de piments : les poivrons doux de jardin et les piments forts. Comme les cinq espèces s'hybrident facilement entre elles, il existe un très grand nombre de sous-espèces et de variétés de poivrons et de piments sur le marché horticole (Jolicoeur, 2001). L'espèce *C. annuum* est maintenant la plus répandue et économiquement la plus importante de toutes les autres espèces cultivées de *Capsicum*, et comprend les variétés bell pepper, les paprikas, les pimientos ainsi que la plupart des piments mexicains (Caballero *et al.*, 2003), entre autres le piment variété jalapeño.

Les fruits de *Capsicum* sont consommés comme un condiment ou une épice brûlante (piment ou cayenne), ou comme un végétal non brûlant ou source de couleur et de flaveur (piments doux, poivron, bell pepper, paprika, pimento). Les fruits ont une valeur nutritionnelle significative ainsi que des propriétés médicinales.

### 4.1 Production mondiale de piment

Actuellement, les piments sont mondiaux, trouvés et cultivés dans presque tous les pays du monde (Tableau 12). Les piments sont des produits de base de cuisines ethniques comme la Thaïlandaise, la Chinoise, la Coréenne, l'Indienne, la Hongroise, l'Africaine, la Mexicaine, etc. Néanmoins, les piments sont devenus une partie de la cuisine

mondiale et une passion pour des millions de jardiniers. Il y a plusieurs variétés, couleurs, formes, tailles et encore plus de noms, mais quand on parle de la plante *Capsicum* ou de ses fruits, le nom correct est *chile*, qui provient du dialecte Nahuatl, langage des Aztèques ; ils sont aussi appelés *aji* dans quelques pays du centre et du sud de l'Amérique ; cependant, il existe différents noms dans le monde, comme *chilli* pour les britanniques, *chilie* pour l'Asie et l'Inde, ainsi que des termes tels que hot peppers, chile peppers, chiles, etc. (Coon, 2003).

**Tableau 12.** Production mondiale de piment par continent et principaux pays producteurs 1995 et 2005 (tonnes)

Continent/pays	1995		2005		Variation %
	Production	% de part.	Production	% de part.	
Total	15 017 652	100	24 997 498	100	66,5
Afrique	1 457 554	9,7	2 204 652	8,8	51,3
Nigeria	612 000	42,0	720 000	32,7	17,6
Égypte	250 551	17,2	460 000	20,9	83,6
Ghana	100 500	6,9	270 000	12,2	168,7
Amérique	1 911 582	12,7	3 463 756	13,9	81,2
Mexique	918 491	48,0	1 853 610	53,5	101,8
États Unis	642 800	33,6	977 760	28,2	52,1
Argentine	84 000	4,4	125 000	3,6	48,8
Asie	9 058 151	60,3	16 386 553	65,6	80,9
Chine	5 492 178	60,6	12 531 000	76,5	128,2
Turquie	1 080 000	11,9	1 745 000	10,6	61,6
Indonésie	1 589 978	17,6	871 080	5,3	-45,2
Europe	2 561 142	17,1	2 880 307	11,5	12,5
Espagne	790 500	30,9	953 200	33,1	20,6
Italie	325 116	12,7	377 598	13,1	16,1
Pays Bas	244 300	9,5	315 000	10,9	28,9
Océanie	29 223	0,2	62 230	0,2	112,9
Australie	27 662	94,7	56 319	90,5	103,6
N. Zélande	1 000	3,4	5 000	8,0	400,0
Îles Fidji	400	1,4	700	1,1	75,0

(FAO, 2006)

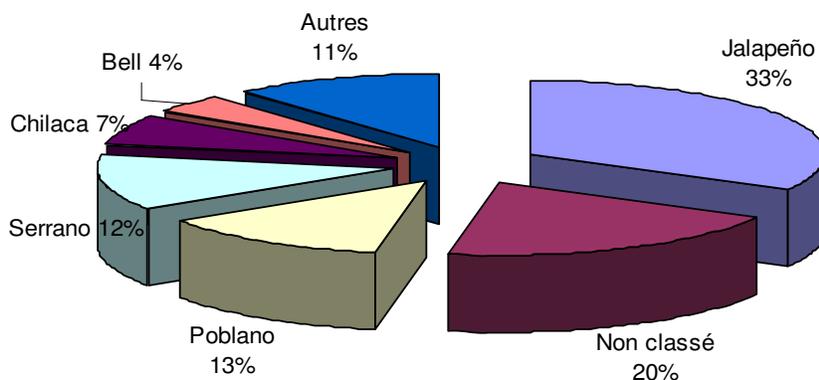
Selon la FAO, qui considère la production de l'ensemble des piments (doux et forts), en 2005 la production mondiale de piment atteint 25 millions de tonnes. L'Asie en produit 65,6 %, suivie de l'Amérique avec 13,9 % (Tableau 12). La Chine est le plus grand

producteur de piment avec 50,1 %, suivie par le Mexique, la Turquie, les États Unis, l'Espagne, l'Indonésie et le Nigeria, avec respectivement 7,4 ; 7,0 ; 3,9 ; 3,8 ; 3,5 et 2,9% de la production mondiale.

## 4.2 Production et importance du piment au Mexique

Après la tortilla (crêpe de farine de maïs épaisse servant de base à la cuisine mexicaine), les piments sont le deuxième ingrédient de base au Mexique; et représentent une tradition et une identité culturelle. Les piments forts sont les principaux éléments qui ont caractérisé la cuisine et la culture mexicaine pendant les huit derniers siècles. Ce fruit occupe une place très importante, due à l'énorme quantités et aux diverses variétés utilisées (Contreras et Yahia, 1998). Il existe plus de 200 variétés de piments, des plus forts aux plus doux, dont plus de 150 sont utilisés au Mexique contre une dizaine seulement en Asie. On les trouve sous différentes formes : Frais, sec, entier, broyé, moulu, au vinaigre, en conserve, et de toutes les couleurs, du rouge au vert en passant par le jaune et le violet, chaque variété ayant son propre goût : fruité, boisé, fleuri, fumé, sucré, etc. Ils sont connus pour leur « caractère brûlant » et leur teneur en vitamine C.

Selon la FAO, la production de piment au Mexique en 2005 a atteint les 1,9 million de tonnes. Les variétés les plus importantes sont représentées dans la figure 3, et les principaux états producteurs de piment « jalapeño », qui est la variété la plus produite, commercialisée, et transformée ; elle participe à hauteur de 33 % de la production nationale, suivi par le piment non classé (20 %), comme indiqué dans le tableau 13.



**Figure 3.** Principales variétés de piments produits au Mexique et part dans la production nationale

### 4.2.1 Le piment jalapeño

Le piment jalapeño, l'un des plus connus au Mexique et au niveau international, est originaire de l'état de Veracruz et son nom rappelle la capitale de cet état : Jalapa. La production de piment jalapeño au Mexique, par état, est présentée tableau 13.

**Tableau 13.** Principaux états producteurs de piment jalapeño en 2004 (tonnes)

État	tonnes	% national
Total	503 246	100
Chihuahua	289 251	57,5
Sinaloa	57 446	11,4
Nuevo León	37 000	7,4
Michoacán	32 221	6,4
Chiapas	21 665	4,3
Tamaulipas	19 683	3,9
Campeche	11 411	2,3
Colima	10 134	2,0
Autres	24 435	4,9

(SIACON-SAGARPA, 2006)

Le piment jalapeño est normalement piquant. Il doit être vert et brillant quand il est frais, puis il fonce lorsqu'il vieillit. De nos jours, la demande de piment jalapeño est en forte hausse. Ces dernières années, un des pays les plus friands a été les Etats-Unis, où l'un des condiments les plus vendus n'est pas la sauce tomate (ketchup) mais de la sauce avec des morceaux de piment jalapeño. Lorsqu'ils sèchent, les piments jalapeño s'appellent « chipotles ».

### 4.3 Importance commerciale du piment

L'industrie alimentaire est le plus grand consommateur de *Capsicum*, où l'épice est utilisée comme agent colorant et sapide des sauces, des soupes, des viandes préparées, de la nourriture rapide, des bonbons, des confitures, des boissons non alcoolisées et alcoolisées (Mathew *et al.*, 1971, Castro-Ramos, 1981, Nosti-Vega *et al.*, 1982, Aczel, 1986, Bajaj et Kaur, 1986, Govindarajan *et al.*, 1987). On utilise le fruit soit complet, soit en poudre ou comme oléorésine (extrait concentré). Selon les données de la FAO,

en 2003 (Tableau 14), les exportations mondiales de piment ont atteint à 368 950 tonnes.

**Tableau 14.** Principaux pays exportateurs et importateurs de piment, 2003 (tonnes)

Pays	Importation		Pays	Exportation	
	tonnes	% mondial		tonnes	% mondial
Total	384 653			368 950	
États-Unis	85 490	22,2	Chine	119 865	32,5
Malaisie	61 926	16,1	Inde	85 879	23,3
Sri Lanka	27 723	7,2	Espagne	27 982	7,6
Espagne	21 980	5,7	Malaisie	17 562	4,8
Mexique	20 063	5,2	Pérou	14 926	4,0
Thaïlande	19 042	5,0	Mexique	14 237	3,9
Allemagne	17 372	4,5	Zimbabwe	8 297	2,2
Bangladesh	14 418	3,7	États-Unis	7 588	2,1
Rep. Corée	12 107	3,1	Birmanie	7 398	2,0
Japon	11 194	2,9	Afrique du Sud	6 685	1,8
Pays-Bas	7 120	1,9	Brésil	6 503	1,8
Indonésie	6 596	1,7	Hongrie	5 443	1,5

(FAO, 2006)

L'Asie a été exportateur net avec 66 %, suivie de l'Amérique 15 %, l'Europe 13 % et l'Afrique 6 %. La Chine a contribué pour un peu plus de 49 % des exportations de l'Asie et l'Inde pour 35 %. Les importations mondiales ont atteint 384 653 tonnes, représentées par l'Asie avec 44 %, l'Amérique 30 %, l'Europe 22 % et l'Afrique 3 %. Les principaux pays importateurs sont les États Unis, la Malaisie, le Sri Lanka, l'Espagne et le Mexique qui totalisent 56,5 % du total.

#### 4.3.1 Usages des piments

Les fruits de *Capsicum* ont été probablement un des premiers additifs alimentaires utilisés et sont les premières cultures du Mexique et au nord de l'Amérique du sud qui se sont rendu compte de sa contribution à la couleur et au goût des aliments, d'où la sélection des variétés pour des usages spécifiques. Les civilisations anciennes connaissaient le grand potentiel et l'action stimulante des piments qui augmentent la saveur des aliments, généralement les viandes et céréales fades, en augmentant la

salivation et la sensation de chaleur dans la bouche, peut être même un confort post-digestion (Govindarajan et Sathyanarayana, 1991).

Il existe une grande diversité d'usages des piments. Ils peuvent être commercialisés frais (une fois qu'ils atteignent la maturité physiologique), pour leur consommation directe dans la nourriture. Ils peuvent également bénéficier d'un conditionnement ou d'une transformation dont le but est de prolonger la période de conservation, de stockage et de faciliter le transport et la commercialisation. La qualité des produits à base de *Capsicum* dépend de sa couleur, de sa flaveur et de son « caractère brûlant », tout ceci influencé par la manière dont les fruits ont été stockés et conservés.

Quelques usages des piments :

- 1) **A l'état frais.** Ils accompagnent la nourriture de manière directe ou en sauces. Exemple : poivrons (piment doux), diverses variétés consommées seules ou préparées en mélange avec divers légumes comme les tomates, les oignons, l'ail, les avocats, d'autres piments, etc.
- 2) **A l'état déshydraté.** Les piments se déshydratent et sont vendus entiers ; ou préparés en morceaux, en enlevant la tige, les calices, les placentas et les graines (Caballero *et al.*, 2003) ; ou broyés, vendus en poudre. Les variétés les plus utilisées sont les rouges et les plus foncés, même si actuellement une grande diversité est utilisée de cette manière. C'est une manière très courante de préserver les piments à bas coût. Les fruits mûrs ont un prix plus élevé que les piments verts. Le piment de cayenne est un exemple de piments déshydratés, lequel est obtenu à partir des fruits séchés et broyés de piments forts de divers pays. Le nom de Cayenne ou *Capsicum* viendrait d'ailleurs d'un mot grec kopto qui signifie « mordre » et qui fait référence aux propriétés irritantes de ses fruits (Jolicoeur, 2001).
- 3) **Conserves et sauces formulées.** Les principaux procédés utilisés sont : le fumage ; les sauces, existe une grande diversité où les principaux ingrédients sont les mélanges des piments moyennement forts (ajoutant divers autres ingrédients comme tomates, ail, oignons et des épices) ; les conserves dans les saumures acides (utilisation de vinaigre) et les piments dans l'huile.

4) **Usage comme colorant alimentaire.** Sont principalement obtenus des paprikas, commercialement appelés les oléorésines paprikas, qui seront aussi décrites dans le paragraphe des oléorésines. Les paprikas sont toujours faits de variétés rouges fruitées et non brûlantes. La variété influence la qualité du pigment et sa rétention après la récolte. Traditionnellement, les fruits sont récoltés quand ils sont complètement mûrs et séchés à ciel ouvert pendant 3 semaines ou avec de l'air chaud, mais la température ne doit pas dépasser 80 °C parce que la couleur commence à se détériorer. Les tiges, les calices, les placentas et les graines sont séparés des fruits secs parce qu'ils diluent la couleur ; mais à la fin, environ 5 % des graines sont ajoutées pour faciliter le broyage (le pourcentage ajouté dépend de la qualité du produit final). Les graines contiennent de la graisse et les caroténoïdes étant solubles dans la matière grasse, ainsi en ajoutant des graines, la couleur est uniformément dispersée mais elle peut rancir pendant le stockage. Le paprika vient principalement de Hongrie, Espagne et États Unis (Caballero *et al.*, 2003).

5) **Extraits de piment et capsaïcinoïdes.**

a). **Les oléorésines.** Elles sont extraites des fruits secs et moulus ; si les graines sont moulues avec les fruits, la graisse dilue la couleur et le caractère brûlant, ce qui détermine la qualité de l'oléorésine. Cependant, si les graines sont enlevées, le coût de production augmente et le rendement diminue. L'acétone et le dichloréthylène sont utilisés fréquemment comme solvants et retirés par distillation en laissant les oléorésines concentrées (Caballero *et al.*, 2003). La variété de piments utilisés et les conditions culturales font varier la concentration de capsaïcinoïdes, c'est pourquoi, chaque lot d'oléorésine doit être dosé pour obtenir le taux exact d'ingrédients actifs. En plus des capsaïcinoïdes, les oléorésines contiennent également un mélange complexe d'huiles essentielles, de cires, d'acides et d'esters de résines, de terpènes ainsi que des produits d'oxydation et de polymérisation de ces terpènes (Jolicoeur, 2001). L'oléorésine brute de *Capsicum* contient plus de 100 composants volatils (Cordell et Araujo, 1993).

Les oléorésines sont évaluées comme toute nourriture par rapport à l'hygiène : faible contamination microbienne, mais le plus important est la standardisation du caractère brûlant. Elles sont utilisées principalement aux États Unis et au Royaume

Uni ; par ailleurs, il semble que les oléorésines pourraient être remplacées par du piment en poudre.

Trois différentes oléorésines sont produites commercialement : l'oléorésine paprika, l'oléorésine red pepper ou oléorésine chilli et l'oléorésine *Capsicum* (Caballero *et al.*, 2003). L'oléorésine *Capsicum* est utilisée principalement dans l'industrie pharmaceutique, dans la production de quelques aliments et boissons et dans la fabrication des aérosols de défense (Jolicoeur, 2001, Caballero *et al.*, 2003). Environ 18 à 20 kilos de piment de Cayenne produisent un kilogramme d'oléorésine *Capsicum*, qui compte habituellement moins de 20 % de capsaïcinoïdes (Jolicoeur, 2001). L'oléorésine red pepper est faite de piments moins forts, tels que les longs et minces d'Asie ; un kilo de ce produit remplace 10 kg de red pepper (Caballero *et al.*, 2003). L'oléorésine paprika a été récemment commercialisée et est un des produits, dérivé de sources naturelles, avec la plus haute concentration de pigments caroténoïdes. Le paprika est défini comme la poudre des piments (*Capsicum annuum*) rouges secs (Jarén *et al.*, 1999) ; elle s'utilise principalement comme colorant de divers produits ; un kilo de cette oléorésine remplace de 12 à 15 kg de paprika (Caballero *et al.*, 2003).

b). **Les capsaïcinoïdes.** Les piments sont la source exclusive pour l'extraction de la capsaïcine et des capsaïcinoïdes, qui sont des molécules principalement utilisées dans des applications médicales ou non alimentaires. Elles seront discutées dans le paragraphe 4.6.

6) **Spray de défense.** Les aérosols utilisés comme moyen de défense personnelle, comme arme policière et comme chasse-ours sont tous les trois à base d'oléorésine *Capsicum*. Seuls les capsaïcinoïdes d'origine naturelle doivent entrer dans la composition des aérosols utilisés comme moyen de défense contre les ours (Jolicoeur, 2001).

7) **Usages en médecine.** L'idée du pouvoir guérissant des plantes date de la préhistoire, les gens de tous les continents ont longtemps appliqué des cataplasmes et ont ingéré des infusions de centaines ou de milliers de plantes pour traiter diverses maladies (Cowan, 1999, Ríos et Recio, 2005). Une grande quantité de plantes parmi les épices, particulièrement l'ail, le clou de girofle, le poivre noir, le

gingembre, le cumin, etc. sont utilisés de manière considérable dans la médecine indienne (Daljit et Jasleen, 1999). Diverses espèces de *Capsicum* ont actuellement un niveau important d'applications à travers le monde. Il est à remarquer que les fruits sont les plus réputés comme agent alimentaire et médicinal, par exemple l'important rôle que la plante et son fruit ont joué dans la culture Maya (Cichewicz et Thorpe, 1996).

- 8) **Utilisation comme antimicrobien.** Une partie importante des études sur le piment comme antimicrobien se sont basées sur l'information de son utilisation en médecine.
- 9) **Propriétés nutritives et de santé.** Diverses sources d'informations indiquent que la présence de capsaïcine dans les piments sert dans les régimes alimentaires, que manger du piment fort accélère le métabolisme de 25 % ce qui provoque une consommation de 45 calories en plus, que les piments devrait en être inclus dans les régimes pour perdre du poids en mangeant ; des informations indiquent que manger pimenté ne provoque pas d'ulcères à l'estomac ; sinon qu'améliore la digestion, la production de salive et de suc gastrique ; que la capsaïcine forme un film sur les parois de l'estomac ce qui atténue les effets de l'alcool et des sucs gastriques. On peut ajouter que, selon la rumeur, le piment aurait un effet aphrodisiaque!...
- 10) **Autres usages.** On peut citer divers autres usages du piment, par exemple leur utilisation comme insecticide ou en application sur les doigts pour éviter que les enfants têtent leur pouce, etc.

## 4.4 Caractéristiques des fruits de piment

La qualité d'un piment et de ses produits dérivés dépend de sa couleur, son arôme et son caractère brûlant. Nutritionnellement, les piments doux comme les piments forts sont une source importante de vitamines.

### 4.4.1 Couleur

La paroi du mésocarpe est responsable de la couleur des fruits mûrs et non mûrs. Les cellules du mésocarpe contiennent des plastides parmi lesquels la chlorophylle des fruits

non mûrs. La quantité de chlorophylle varie selon les différentes variétés. Les fruits non mûrs, parfois dépourvus de chlorophylle deviennent blanc crémeux et ils peuvent contenir de la sève soluble et des anthocyanines (pigments pourpres). Quand les fruits mûrissent, la chlorophylle et l'anthocyanine normalement disparaissent et les chloroplastes sont convertis en chromoplastes ; parallèlement des chromoplastes supplémentaires apparaissent. La qualité et la quantité des pigments sont contrôlées par des gènes produits par les chloroplastes. Les fruits non mûrs qui manquent de chlorophylle peuvent devenir rouges quand ils mûrissent, mais le rouge est plus prononcé dans ceux qui étaient vert foncé (Caballero *et al.*, 2003).

Pendant la maturité, les caroténoïdes totaux augmentent (35 fois), à peu près la moitié du taux à travers la synthèse de nouveaux pigments rouges comme les ketocaroténoïdes, dont la capsanthine (30-60 % du total des caroténoïdes), la capsorubine (5-15 %) et la cryptocapsine (environ 5 %) ; ils contiennent rarement du cyclopentanol (caroténoïde de la tomate, qui accumule du lycopène) ; on pense que le lycopène peut être un intermédiaire à la biosynthèse de la capsanthine et de la capsorubine. Les fruits jaunes ne peuvent pas synthétiser les caroténoïdes rouges, impliquant une suppression du DNA où se synthétise l'enzyme capsanthine-capsorubine, responsable finale de la production de la capsanthine et de la capsorubine, si bien que la synthèse supplémentaire de la réduction des pigments n'est pas bien connue. Les fruits chocolat-marron (utilisés dans une fameuse sauce Mexicaine appelée « mole »), sont des homozygotes récessives pour un allèle d'un autre gène nucléaire, lequel empêche la dégradation de la chlorophylle dans le fruit mûr ; la combinaison des caroténoïdes rouges et de la chlorophylle verte produit du marron (Caballero *et al.*, 2003).

La couleur se trouve presque entièrement dans le péricarpe (95 %). Dans l'industrie de la poudre de paprika, les graines sont obtenues comme sous-produit et les principaux composants sont la matière grasse (26 %) et la protéine (21 %) ; elles sont utilisées dans l'alimentation des animaux (Govindarajan, 1985).

#### **4.4.2 Arôme**

L'arôme caractéristique des piments est produit par les gouttelettes d'huile essentielle des cellules du mésocarpe, lesquelles augmentent pendant la maturité. L'huile est un mélange de méthoxy-pyrazines, des alcools aliphatiques et des esters, où le 2-méthoxy-

3-isobutylpyrazine est le plus important constituant, lequel a un seuil le plus bas d'odeur que les autres composants, et est détectable au niveau de 2 parties dans 10<sup>12</sup> parties d'eau. Les alcools aliphatiques et les esters semblent être les responsables des arômes fruités et floraux. Si bien que l'arôme et la saveur sont des attributs appréciés des piments frais et bien connus par les consommateurs habituels, les différences sur la composition de l'huile essentielle dans et entre les espèces de *Capsicum* sont peu connues (Caballero *et al.*, 2003).

#### 4.4.3 Caractère brûlant

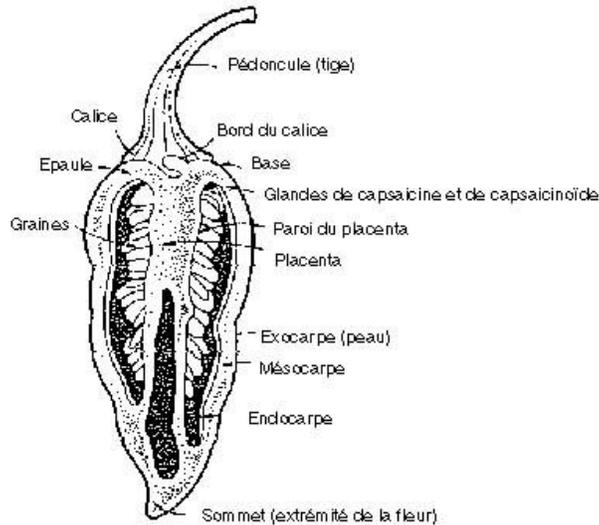
Le terme « brûlant », est le terme retenu pour exprimer la propriété spécifique aux piments forts qui se caractérise par une sensation brûlante ou irritante des tissus mis en contact. Dans la suite du texte, on utilisera systématiquement le substantif « brûlant ».

L'effet sensoriel du « brûlant » est produit par un groupe de vanillyl amides connu comme les capsaïcinoïdes parmi lesquels la capsaïcine et la dihydrocapsaïcine sont prédominantes. Les capsaïcinoïdes sont synthétisés par des glandes situées à la jonction du placenta (partie blanche supportant les graines au centre du fruit) et de la paroi de la gousse. La concentration de capsaïcine change selon la variété des piments, l'origine géographique et les conditions climatiques sous lesquelles les piments sont cultivés. La capsaïcine est aussi disponible sous forme synthétique (Jolicoeur, 2001).

Ces alcaloïdes, responsables du goût piquant et de la sensation de brûlure, n'existent dans aucune autre famille de plantes (Jolicoeur, 2001). La capsaïcine est un des plus brûlants composés connus, détectable pour des tests à dilution de 1 partie dans 15 à 17 millions (Caballero *et al.*, 2003). Les composés piquants sont aussi présents dans quelques autres plantes comme les gingembres (gingérols, paradols, shogaols), les poivres (pipérine) et les moutardes (sinalbine et sinigrine), mais la capsaïcine est environ 100 fois plus puissante que les composés des deux premières (Richard, 1992). Les capsaïcinoïdes sont capables d'activer les récepteurs sensibles à la chaleur. Elles sont discutées ensuite dans le paragraphe 4.6.

## 4.5 Anatomie et composition chimique des piments

Le *Capsicum* est composé de 58 % de péricarpe, de 34 % de graines et de 7 % de tige et de calice (Govindarajan, 1985, Zarc International, 2003). La figure 4 présente les parties qui composent un piment fort.



**Figure 4.** Coupe longitudinale d'un piment fort (Jolicœur, 2001)

Les hydrates de carbone, les protéines, la matière grasse et la fibre, sont les constituants principaux, lesquels augmentent rapidement de l'étape verte à l'étape de maturité. La teneur en fibre varie en fonction de leur provenance et reflète la quantité de pédicelle incluse dans l'échantillon. Les *Capsicum* sont une source de minéraux. Ils sont pauvres en extraits volatils qui ont un impact important dans quelques variétés (Govindarajan, 1985).

Le fructose et le glucose totalisent environ 70 % des sucres réducteurs, mais on trouve aussi du galactose et du saccharose ; les sucres libres sont plus abondants dans les graines que dans le péricarpe et le placenta. L'acide citrique est le plus important, suivi des acides succinique, fumarique, malique et quinique (Govindarajan, 1985).

La teneur en matière grasse est plus importante dans les graines et représente entre 9 et 16 % du total. Selon des analyses, la composition de la matière grasse dans les différentes parties du paprika est : le péricarpe 6,8 % ; les graines 25,4 % et la tige et le

calice 1,7 %. La graisse de *Capsicum* est une des plus riches en acide linoléique avec 52,2 à 79,8 %, les graines de paprika en possèdent la teneur la plus élevée parmi les diverses graisses végétales (Govindarajan, 1985).

La valeur nutritionnelle importante des piments est sa teneur en vitamine C. La vitamine C a été premièrement isolée à partir du paprika par Szent Györgi, scientifique hongrois qui obtint le Prix Nobel en 1937 pour cette découverte. Le paprika a plus de vitamine C que les agrumes et représente jusqu'à 340 mg/100 g dans certaines variétés de paprika, le contenu est de l'ordre de 30 à 60 % des vitamines dans les *Capsicum* secs. Les *Capsicum* sont aussi une bonne source de vitamine A et de complexes B ; la première peut atteindre de 3350 à 4915 UI en paprika et de 3530 à 6165 dans les autres variétés. Le contenu en vitamine E est aussi important, de 3-10 mg/100 g (Govindarajan, 1985).

Un total de 14 aminoacides dans le *Capsicum* vert et 16 dans le paprika ont d'abord été identifiés, dont l'asparagine et la proline sont prédominants. Puis Keheyoglow et Monoussopoulos (1977), cité par Govindarajan (1985), ont identifié 19 aminoacides mais 3 n'ont pas été identifiés dans des variétés douces et fortes de piment, observant que les graines avaient une composition différente de celle du péricarpe.

#### **4.6 Les capsaïcinoïdes**

Les capsaïcinoïdes sont un groupe de composants qui donnent au piment sa saveur brûlant (Batchelor et Bradley, 2000). Pour la plupart des variétés de *Capsicum*, produites et commercialisées, le caractère brûlant est un attribut de qualité important (Cordell et Araujo, 1993).

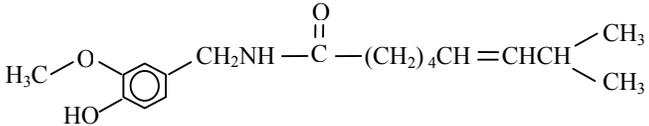
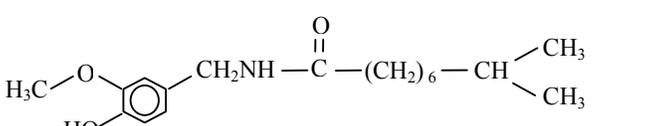
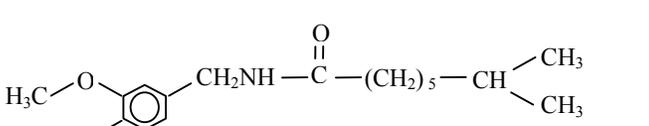
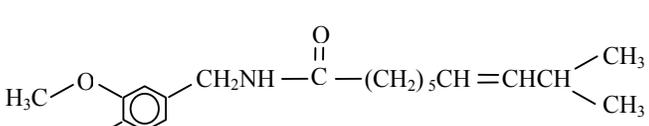
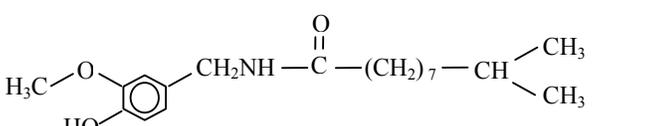
Thresh (1846), cité par Govindarajan (1986a), a rapporté la cristallisation des composants actifs et les a nommés capsaïcine. Kosuge et Inagaky (1959), avec des analyses élémentaires et un spectre infrarouge ont conclu que ce qu'ils croyaient être un simple composé, la capsaïcine, était en réalité un mélange de deux composés apparentés : N-(4-hydroxy-3-méthoxy benzyl)-8-méthyl-non-*trans*-6-enamide et N-(4-hydroxy-3-méthoxy benzyl)-8-méthyl-nonamide, respectivement capsaïcine et dihydrocapsaïcine, (Govindarajan, 1986a).

Pour divers auteurs (Bennett et Kirby, 1968, Masada *et al.*, 1971, Todd *et al.*, 1977), le caractère brûlant des *Capsicum* est dû à 5 composants principaux, 2 homologues

saturés : la capsaïcine (C) et l'homocapsaïcine (HM), et 3 insaturés, la dihydrocapsaïcine (DC), la nordihydrocapsaïcine (NDC) et l'homodihydrocapsaïcine (HDC). Avec diverses méthodes de séparation, il a été démontré l'existence dans la nature de 2 homologues mineurs (homocapsaïcine II «HC-II» et homodihydrocapsaïcine II «HDC-II») et 3 analogues alkyl vanillylamides de chaîne branchée (octanoyl vanillylamide OV, nonoyl vanillylamide NV, decyl vanillylamide DV) (Heresch et Jurenitsch, 1979, Govindarajan, 1986a, Govindarajan et Sathyanarayana, 1991). Récemment, il a été relevé la présence de traces d'autres composants (Govindarajan, 1986a). Ce mélange est maintenant appelé capsaïcinoïdes.

Nelson et Dawson (1923), ont établi la structure de la capsaïcine, le 8-méthyl-trans-6-nonenoyl vanillylamide et ont synthétisé la dihydrocapsaïcine et autres alkylvanillylamides apparentés. Par des tests sensoriels empiriques comparés avec des déterminations de concentration, a été conclu que le brûlant stimulé par les différents alkylvanillylamides varie grandement (Nelson, 1919b, Nelson et Dawson, 1923, Todd *et al.*, 1977) ; le mélange suscite une réponse à la dilution de  $16 \times 10^6$  ml/g. Des tests ciblés ont révélé que la capsaïcine et la dihydrocapsaïcine suscitent un caractère brûlant identique, alors que des homologues et des analogues varient de 30 à 70 % de la valeur des composants majeurs (Govindarajan et Sathyanarayana, 1991). La structure et le poids moléculaire de la capsaïcine et des homologues naturels sont présentés dans la figure 5, et le niveau de brûlant est rapporté tableau 15.

La concentration et la composition des capsaïcinoïdes varient grandement entre les espèces, sous-espèces et variétés de *Capsicum* ; de 0,001 à 0,01 % dans les paprikas et de 0,1 à plus de 1 % dans les piments forts. La composition moyenne des vanillylamides dans les variétés de piments les plus commercialisées (*C. annum*) est la capsaïcine, 33 à 59 %, la dihydrocapsaïcine, 30 à 51 %, la nordihydrocapsaïcine, 7 à 15 % et 0 à 5 % pour le reste. Pour les espèces de *C. frutescens*, plus brûlants et utilisés principalement dans l'industrie pharmaceutique, la concentration de capsaïcine est de 63 à 77 %, de dihydrocapsaïcine de 20 à 32 % et pour les autres homologues et analogues d'environ 10 %. La relation capsaïcine-dihydrocapsaïcine varie de 2 : 1 à 1 : 1, respectivement pour les *C. frutescens* L. et les *C. annum* (Govindarajan *et al.*, 1987).

Structure	nom	PM
 <p>(E)-N-(4-hydroxy-3-methoxybenzyl)-8-méthylnon-6-enamide</p>	Capsaïcine $C_{18}H_{27}NO_3$	305
 <p>8-méthyl N-vanillyl nonamide</p>	Dihydrocapsaïcine $C_{18}H_{29}NO_3$	307
 <p>7-méthyl N-vanillyl octamide</p>	Nordihydrocapsaïcine $C_{17}H_{27}NO_3$	293
 <p>Trans-9-méthyl N-vanillyl 7-décénamide</p>	Homocapsaïcine $C_{19}H_{29}NO_3$	319
 <p>9-méthyl N-vanillyl décamide</p>	Homodihydrocapsaïcine $C_{19}H_{31}NO_3$	321

**Figure 5.** Structure de la capsaïcine et des quatre homologues naturels, indiquant leur masse moléculaire. D'après (Maga, 1975, Heresch et Jurenitsch, 1979, Monsereenusorn *et al.*, 1982, Wahab, 1984, Govindarajan, 1986a, Cordell et Araujo, 1993) et références citées. PM = poids moléculaire

Todd *et al.* (1977) ont trouvé, en utilisant une méthode organoleptique, que le seuil de «brûlant» des capsaïcinoïdes dépend de leur solubilité, de l'aire de réception du stimulus et de la longueur de la sensation. La C, DC et NDC, plus solubles en solvants polaires, donnent une plus rapide sensation du caractère brûlant détecté dans l'arrière palais et la gorge, et les jurys ont trouvé une flaveur épicée, comparée à l'HC et l'HDC

qui sont moins solubles et détectés par la moitié de la bouche et le palais. Le seuil de brûlant des principales capsaïcinoïdes est présenté tableau 15.

**Tableau 15.** Niveau de «brûlant» des principales capsaïcinoïdes en millions d'Unités Scoville (US)

<b>Capsaïcinoïdes</b>	<b>Brûlant (millions US)</b>
Capsaïcine	16,1 ± 0,6
Dihydrocapsaïcine	16,1 ± 0,6
Nordihydrocapsaïcine	9,3 ± 0,4
Homocapsaïcine	6,9 ± 0,5
Homodihydrocapsaïcine	8,1 ± 0,7

(Todd *et al.*, 1977)

L'échelle de Scoville est une échelle de mesure de la force des piments inventée en 1912 par le pharmacologue Wilbur Scoville. Son but est de renseigner sur la teneur en capsaïcinoïdes des piments (description de la méthode, paragraphe 4.6.5).

#### 4.6.1 Caractéristiques de la capsaïcine

La capsaïcine est la molécule qui prédomine et est la plus brûlante parmi les capsaïcinoïdes ; ses propriétés chimiques ont été considérablement étudiées (Nelson, 1919b, Nelson, 1919a, Nelson, 1920, Nelson et Dawson, 1923, Bennett et Kirby, 1968, Maga, 1975, Monsereenusorn *et al.*, 1982, Govindarajan, 1986a, Cordell et Araujo, 1993).

Hormis le caractère brûlant, la capsaïcine et les autres substances apparentées, sont pratiquement dépourvues d'odeur et de saveur (Nelson, 1919b). Elle est solide, en forme de plaquettes, et a un goût intensément brûlant (seuil de 10 à 16 ppm). Elle fond à 63-65°C et bout à 210-220°C ; elle est modérément soluble dans l'eau froide et peu soluble dans l'eau bouillante, mais solubilise facilement dans les solvants organiques comme le benzène de pétrole, l'éthanol, l'éther, l'acide acétique glacial, le disulfide de carbone chaud et les huiles. La molécule de capsaïcine a trois caractéristiques distinctives : un groupe vanillyl, l'acide aminé associé et une chaîne alkyl (Caballero *et al.*, 2003). La capsaïcine a une absorption UV maximale à 227 et à 281 nm. Elle est faiblement acide (Monsereenusorn *et al.*, 1982).

#### 4.6.2 Propriétés, usages et effets de la capsaïcine

La capsaïcine a une vaste utilisation, cependant, l'usage plus important est dans la pharmaceutique, dans des préparations toniques et crèmes pour le traitement de la douleur causée par l'arthrite, les rhumatismes, l'ostéoarthrite, le lumbago, etc (Cordell et Araujo, 1993); ainsi que dans les cosmétiques. La capsaïcine produit divers effets physiologiques et pharmacologiques. Elle est un irritant grave en contact avec la peau, les yeux, les muqueuses des voies digestives et respiratoires ; elle cause différentes réactions en fonction de la zone de contact et de la quantité de produit : irritation, chaleur, rougeurs, sudation, éternuement, larmes, gêne respiratoire et même douleur (Anon, 1986, Govindarajan et Sathyannarayana, 1991).

Diverses études sur les effets positifs et négatifs des capsaïcinoïdes ont été faites, concernant le mécanisme d'action, d'absorption, de distribution, le métabolisme et l'excrétion (Nopanitaya, 1973, Nopanitaya, 1974, Johnson *et al.*, 1982, Miller *et al.*, 1983, Kawada *et al.*, 1984, Sambaiah *et al.*, 1984, Kawada et Iwai, 1985, Kawada *et al.*, 1986, Salimath et Satyanarayana, 1987, Surh *et al.*, 1995, Surh et Lee, 1995, Salam *et al.*, 1997, Blackshaw *et al.*, 2000, Reilly *et al.*, 2003). Kawada *et al.* (1984), ont déterminé que la capsaïcine était absorbée rapidement au niveau de l'estomac et du petit intestin et métabolisée au niveau de la muqueuse gastro-intestinale la diffusant dans le sang pour la distribuer aux différents organes.

Son effet toxicologique et pharmacologique a aussi été testé par administration à des souris, rats et hamsters, etc (De Lille et Ramirez, 1935, Buck et Burks, 1986, Seze *et al.*, 1999, Creppy *et al.*, 2000, Chanda *et al.*, 2004). Kawada et Iwai (1985), ont montré que le degré de toxicité de la capsaïcine dépend du mode d'administration, de la sensibilité et des habitudes ; par voie orale, la toxicité est plus faible que par voie parentérale. Parmi les espèces traitées, le rat est plus sensible que le cochon d'Inde ; un important pourcentage de la capsaïcine consommée est rejeté selon l'espèce ; chez l'homme les quantités de capsaïcinoïdes utilisées sont faibles.

Quelques études indiquent que la capsaïcine a un potentiel carcinogène. Ces études sont cependant limitées et de plus récentes indiquent l'absence de ces effets sur les souris. Des études sur des humains grands consommateurs de piments ont rapporté qu'il est un facteur de risque de cancer gastro-intestinal, peut être dû à l'effet irritant des

capsaïcinoïdes (Surh et Lee, 1996, Akagi *et al.*, 1998, Surh *et al.*, 1998, Surh, 1999, Han *et al.*, 2001, Archer et Jones, 2002, Surh, 2002). D'autres études indiquent que la consommation de ces derniers pourrait être un moyen de protection contre la formation d'ulcères chez le rat quand ils sont utilisés à faible dose.

La sensibilisation et la désensibilisation causées par la capsaïcine dépendent du temps d'exposition, de la continuité et de la concentration de capsaïcine utilisée. Diverses études ont été faites pour déterminer le seuil de désensibilisation et de sensibilisation et les mécanismes impliqués (Fitzgerald, 1983, Green, 1986, Green, 1989, Green et Flammer, 1989, Green, 1990, Nasrawi et Pangborn, 1990b, Nasrawi et Pangborn, 1990a, Green, 1991, Karrer et Bartoshuk, 1991, Craft et Porreca, 1992, Dray, 1992, Gilmore et Green, 1993, Green, 1993, Green et Shaffer, 1993, Karrer et Bartoshuk, 1995, Cliff et Green, 1996, Green, 1996, Prescott et Stevenson, 1996b, Prescott et Stevenson, 1996a, McBurney *et al.*, 1997, Dessirier *et al.*, 1998, Green et Rentmeister-Bryant, 1998, Liu et Simon, 1998, Prescott, 1999, Dessirier *et al.*, 2000, Fuchs *et al.*, 2000, Green et McAuliffe, 2000, Dessirier *et al.*, 2001, Millqvist et Bende, 2001, Brand et Jacquot, 2002, Furuse *et al.*, 2003, Mandadi *et al.*, 2004, Szolcsanyi, 2004).

Diverses recompilations bibliographiques ont été faites autour de la capsaïcine, en considérant ses propriétés physiologiques, pharmacologiques, nutritives et métaboliques telles que leur structure, leur intensité du «caractère brûlant», leurs effets et mécanismes d'action sur la douleur, la sensibilisation et la désensibilisation et ses propriétés sensorielles (Maga, 1975, Monsereenusorn *et al.*, 1982, Szolcsanyi, 1983, Anon, 1986, Govindarajan et Sathyanarayana, 1991, Cordell et Araujo, 1993, EC, 2002), entre autres aspects métaboliques, pharmacologiques et thérapeutiques (Sambaiah et Satyanarayana, 1989, Szallasi et Blumberg, 1996, Cruz *et al.*, 1999, Johnston *et al.*, 2002).

Globalement, les résultats concernant les effets de la capsaïcine sont partagés entre des conclusions positives et négatives. Récemment, on a montré que la capsaïcine semble avoir un avenir prometteur dans le traitement des douleurs chroniques à cause de sa capacité anesthésiante et des effets sur la diminution du cholestérol et la reprise de poids.

### 4.6.3 Consommation de capsaïcine

La consommation de piment varie d'un pays à l'autre mais aussi d'un individu à un autre. Le tableau 16 montre la consommation moyenne de piment par personne, par jour et par kilo de poids corporel, et sa correspondance en capsaïcinoïdes pour divers pays.

**Tableau 16.** Consommation de piment et son équivalence en capsaïcinoïdes (cap) en divers pays

Pays	Source de cap	Contenu en cap (%MS)	Consommation/personne/jour		
			Piment (g)	Équivalence en cap (mg)	Consommation mg/kg de poids corporel
Mexique	Diverse	0,1-1,0	15	15-150	0,25-2,5
Corée	Piment	0,7-1,0	8	56-80	1,1-1,6
Thaïlande	Piment	0,7-1,0	5	35-50	0,7-1,0
Inde	Piment	0,1-0,5	2,5	2,5-12,5	0,05-0,25
E. U.	Piment doux	0,05-0,3	0,05-0,5	0,025-1,5	max. 0,025
Europe	Paprika	0,01-0,1	0,05-0,5	0,005-0,5	max. 0,025

D'après Govindarajan et Sathyannarayana (1991)

Les valeurs maximales sont à considérer avec réserve car la population consomme diverses variétés de piments avec différentes concentrations en capsaïcinoïdes en divers produits. La consommation/kg/jour est calculée en considérant un poids de 60 kg/personne pour l'Europe, E. U. et le Mexique et de 50 kg/personne pour les pays Asiatiques.

### 4.6.4 Les capsaïcinoïdes synthétiques

Certains des capsaïcinoïdes synthétiques peuvent être utilisés pour dénaturer les extraits de *Capsicum*. Il existe des recommandations qui indiquent que les échantillons des extraits contenant plus de 3% de nonoyl vanillylamide (nonivamide) du total de capsaïcinoïdes peuvent être considérés comme dénaturés par l'addition de composants synthétiques, dans le cas où cette substance n'est pas clairement indiquée sur le produit (Govindarajan, 1986a, Cordell et Araujo, 1993).

#### 4.6.5 Méthodes de détermination des capsaïcinoïdes

Wilbur Scoville a été le premier à quantifier le «brûlant» des aliments en 1912, en utilisant une méthode organoleptique (Scoville, 1912). Ce test considère un jury qualifié de 5 personnes qui évaluent un échantillon de piment et donnent une valeur à son niveau de «brûlant» (Rhyu, 1978, Collins *et al.*, 1995). Il consiste à ajouter une quantité spécifique de *Capsicum* dans un volume déterminé d'alcool dilué avec une solution de sucre jusqu'au seuil du test ; la dilution la plus grande en ml/g, est la mesure du «brûlant» en unités de chaleur Scoville (Scoville Heat Value : SHV) (Govindarajan *et al.*, 1987, Caballero *et al.*, 2003) ; 150 000 unités Scoville correspondent à 1% de capsaïcinoïdes (Caballero *et al.*, 2003).

Pendant longtemps, le brûlant de *Capsicum* a été évalué par le test organoleptique de Scoville, lequel était simple et convenable mais ni précis ni reproductible, et influencé par la sensibilité des jurys, divers facteurs environnementaux, la fatigue et le manque de validité statistique (Suzuki *et al.*, 1957, Gillette *et al.*, 1984, Govindarajan *et al.*, 1987, Quinones-Seglie *et al.*, 1989, Cooper *et al.*, 1991).

Diverses modifications de la méthode de Scoville ont été proposées (Govindarajan *et al.*, 1977, Todd *et al.*, 1977, Rhyu, 1978, Gillette *et al.*, 1984), mais historiquement, la méthode organoleptique a été préférée par l'industrie alimentaire, due au fait que celle-ci est une estimation directe des niveaux du «brûlant» des produits de *Capsicum* (Gillette *et al.*, 1984, Cooper *et al.*, 1991). Actuellement, pour l'industrie alimentaire, il est essentiel d'avoir des méthodes plus précises, fiables, répétables et analytiquement comparables.

Après la méthode organoleptique de Scoville, une grande variété de techniques pour isoler, déterminer et quantifier la concentration des capsaïcinoïdes, ont été proposées, comme:

- a) Les méthodes colorimétriques (North, 1949, Balbaa *et al.*, 1968, Awasthi et Singh, 1979, Maurya *et al.*, 1984).
- b) La chromatographie sur papier (Trejo-González et Wild-Altamirano, 1973, Nagin et Govindarajan, 1981, Nagin et Govindarajan, 1985).

c) Les méthodes spectrophotométriques (Suzuki *et al.*, 1957, Tirimanna, 1972, Ramos-Palacio, 1977, Sass *et al.*, 1977, DiCecco, 1979, Ramos-Palacio, 1979, Narayanan *et al.*, 1980, Yuste *et al.*, 1980, Rymal *et al.*, 1984, Ogbadu *et al.*, 1989, Gbolade *et al.*, 1997).

Actuellement, il existe des techniques plus précises pour séparer et quantifier les capsaïcinoïdes comme :

d) La chromatographie en phase gazeuse (Todd et Perun, 1961, Hartman, 1970, DiCecco, 1976, Todd *et al.*, 1977, Harrison et Harris, 1985) ;

e) La chromatographie liquide d'haute performance (Iwai *et al.*, 1979, Saria *et al.*, 1981, Hoffman *et al.*, 1983, Law, 1983, Sanna et Swientek, 1984, Weaver *et al.*, 1984, Weaver et Awde, 1986, Edwards *et al.*, 1990, Cooper *et al.*, 1991, Jinpin *et al.*, 1994, Collins *et al.*, 1995, Estrada *et al.*, 1999, Sato *et al.*, 1999, Batchelor et Bradley, 2000, Gnayfeed *et al.*, 2001, Alpizar *et al.*, 2002, Daood *et al.*, 2002, Kaale *et al.*, 2002, Kirschbaum-Titze *et al.*, 2002a, Kirschbaum-Titze *et al.*, 2002b).

f) La chromatographie de couche mince à haute performance (Spanyar et Blazovich, 1969, Todd *et al.*, 1975, Kozma-Kovács *et al.*, 1977, Cserháti *et al.*, 2000).

g) La chromatographie capillaire, électrocinétique micellaire (Laskaridou-Monnerville, 1999).

h) L'utilisation de deux ou plusieurs de ces méthodes (Kosuge et Furuta, 1970, Masada *et al.*, 1971, Lee *et al.*, 1976, Heresch et Jurenitsch, 1979, Suzuki *et al.*, 1980, Rowland *et al.*, 1983, Games *et al.*, 1984, Wahab, 1984, Quinones-Seglie *et al.*, 1989, Perucka et Oleszek, 2000, Reilly *et al.*, 2001a, Reilly *et al.*, 2001b, Korel *et al.*, 2002, Reilly *et al.*, 2002, Jarret *et al.*, 2003, Duarte *et al.*, 2004, Schwigert *et al.*, 2006) ;

i) Dernièrement des déterminations enzymatiques (Jarret *et al.*, 2003) et les marqueurs génétiques (Lee *et al.*, 2004) sont proposés.

Alors que plusieurs méthodes de couche mince et de chromatographie de gaz ont été décrites pour la séparation des capsaïcinoïdes majeurs et deux ou trois composants mineurs apparentés, seulement deux méthodes parmi celles-ci ont montré une séparation compréhensive de 8 composants (Todd *et al.*, 1977). Si bien que ces méthodes donnent des résultats répétables pour la quantification, demandent une quantité considérable

d'échantillons, les mesures exigent une grande habilité et le risque de pertes des composants actifs, principalement les composants mineurs est élevé.

La technique de séparation de chromatographie liquide d'haute performance (HPLC) est plus simple et donne des séparations efficaces des mélanges complexes, dues à la taille fine des particules, les matériaux de la colonne et l'usage de haute pression pour déplacer les éluents. L'échantillon préliminaire n'est pas nécessaire, la séparation des extraits se fait à température ambiante, ce qui évite une éventuelle dégradation thermique et la perte des matériaux, l'équipement est généralement automatisé, avec des instruments optiques sensibles qui permettent une bonne quantification et identification. Cette technique a été très utilisée ces dernières années pour la séparation des mélanges de capsaïcinoïdes (Govindarajan, 1986a).

## 5 Les fromages pimentés

L'information formelle sur la production et les caractéristiques des fromages pimentés est rare. Dans cette section des images et une description de quelques fromages pimentés trouvés dans les diverses sources d'information sont présentées.



Fromage français : Brebis au piment d'Espelette (AOC)



Fromage portugais : fromage entouré de piment



Fromage mexicain («queso enchilado») : fromage sec entouré de paprika

**Fromage Français :** Brebis au piment d'Espelette (AOC) : C'est un fromage typiquement artisanal, le caillé est brassé, moulé et pressé à la main ou à l'aide de presses mécaniques, puis salé au gros sel, il sera ensuite frotté avec de la poudre de

piment d'Espelette. Le long affinage en cave (au moins trois mois) permet au fromage d'atteindre sa pleine maturité. Il a un goût caractéristique typé, une pâte ferme, un peu craquante mais fondante et une couleur dorée sous sa croûte rouge brique. La saveur douce est accentuée par un parfum d'épice et de poivrons. Ce fromage est de forme cylindrique, un diamètre d'environ 25 cm et 9 à 15 cm de hauteur, son poids peut atteindre 6 à 7 kg.

**Fromage Portugais** : Fromage frais entouré de piment. Il a été trouvé au Portugal, mais on ignore le type de lait et de piment utilisés ainsi que le temps d'affinage.

**Fromage Mexicain** : Fromage sec de lait de vache, pimenté («queso enchilado»). Dans les dernières années, l'impact des hispaniques sur la culture et la cuisine des Etats-Unis a augmenté, et les fromages, principalement fabriqués au Mexique, font partie des principaux produits d'un marché hispanique en expansion. Les fromages hispaniques sont basés sur le procédé de fabrication européen qui a été modifié à travers les années sous l'influence de l'environnement et la culture, qui ont donné une façon unique des combinaisons des saveurs, textures et propriétés culinaires. Le fromage frais pimenté fait parti de ces produits hispaniques de succès aux Etats-Unis (Van Hekken et Farkye, 2003). Le fromage pimenté est un fromage pressé et entouré du paprika ; il est facile de le râper et très utilisé dans la préparation des « enchiladas, burritos et tacos ».

## 6 L'effet culturel sur l'appréciation des produits alimentaires

Les caractéristiques sensorielles des aliments sont déterminantes pour la consommation et leur mesure correcte est très importante pour les producteurs, ainsi que pour la fabrication d'un produit agréable et compétitif sur le marché (Paz *et al.*, 2002). Les préférences alimentaires semblent être liées aux caractéristiques des sujets comme l'âge, le sexe, le poids, la recherche de nouvelles sensations ou goûts, la cuisine primaire dans laquelle le sujet a baigné. Cependant, des schémas des préférences alimentaires peuvent être identifiés entre les divers types d'aliments (Logue et Smith, 1986).

L'analyse sensorielle au début des années 1940, était réalisée par des experts spécialisés dans certains produits comme le café, le thé ou les boissons alcoolisées. Si bien que l'emploi de non experts a été toujours considéré dans les évaluations hédoniques mais ne contribuant pas à la standardisation des méthodes. Actuellement, l'analyse

sensorielle ne se limite pas au secteur alimentaire, divers secteurs sont actuellement concernés : papier, tissu, parfum, entre autres (Schutz, 1998).

Les facteurs culturels sont, peut-être, les plus forts déterminants des aliments que nous consommons. Cependant, la recherche s'est limitée à déterminer comment la perception, le goût, les composants de la flaveur peuvent déterminer la préférence des aliments, mais les aspects culturels n'ont pas été assez étudiés. Les aspects culturels sont les facteurs les plus importants qui motivent l'industrie alimentaire internationale dans le but de produire des aliments pour l'exportation, production spécifiquement élaborée compte tenu de la grande croissance des marchés asiatiques (Prescott et Bell, 1995).

Diverses études ont montré qu'il n'existe pas de différences significatives entre les capacités discriminatives des sujets de différentes nationalités (USA, Suédois, Polonais, Pays Bas), pour les différentes concentrations de solutions simples (sucré, salé, amer, acide, etc.); mais les aliments sont des systèmes complexes dans lesquels les perceptions, les préférences et les caractéristiques sensorielles sont indépendantes, et les études sur l'influence culturelle reflètent cette complexité (Prescott et Bell, 1995). La perception et les préférences comme caractéristiques sensorielles ont besoin d'être évaluées en groupe et non isolées, comme un facteur important qui détermine le comportement du consommateur.

Les différences individuelles, telles que l'âge, le genre, les différences génétiques et autres associées à la personnalité, sont considérées comme variables gênantes. Si elles sont ignorées, elles peuvent affecter la validité des descriptions des effets et leurs généralisations, pouvant réduire le pouvoir des tests statistiques. Cette situation est sous-modulée en identifiant des groupes dans un groupe afin d'identifier des variables produisant des différences individuelles. Dans des études de goût, odeur et irritation orale, des différences individuelles ont été trouvées sur la sensibilité absolue et différentielle, la qualité perçue, les rangs hédoniques, l'identification, le taux de salivation et la sensibilité relative (Stevens, 1996).

Actuellement, il a été établi qu'il est possible de discriminer les bases affectives et les bases cognitives des attitudes alimentaires (Letarte *et al.*, 1997, Dubé et Cantin, 2000). Dans le contexte alimentaire, les bases affectives sont relatives aux sensations, aux

sentiments et aux émotions des expériences en réponse aux aliments, comme le goût plaisant, la sensation en bouche, le plaisir de partager avec les amis, ou les émotions qui résultent de la consommation. Les bases cognitives sont relatives aux attributs positifs et négatifs et les conséquences d'une nature plus fonctionnelle et symbolique, la valeur nutritionnelle, le confort ou les conséquences pour la santé (Cervellon et Dubé, 2005). Ces aspects sont importants à déterminer, particulièrement dans le domaine des aliments, où il a été suggéré que la culture peut être un facteur très important et déterminant des attitudes et comportements des consommateurs (Rozin et Schiller, 1980, Zellner *et al.*, 1999).

Rozin *et al.* (1999), dans leur étude, ont trouvé que les attitudes des Français envers les aliments étaient principalement basées sur les aspects sensoriels, alors que les attitudes des Américains ont été plutôt basées sur des convictions de santé.

Les connaissances sur les différences culturelles des acceptations sensorielles, sont essentielles pour le développement de produits à succès pour les marchés internationaux. Cervellon et Dubé (2005), ont analysé les raisons des préférences des aliments et les différences culturelles entre les Français et des Chinois habitant en Chine ou étant acculturés au Canada. Ils ont conclu dans leur étude, que les Français montrent une dominante à base affective, alors que l'attitude des Chinois vers les aliments reflète plus un équilibre entre l'affect et la cognition. Les Chinois acculturés ont montré un léger changement de leur équilibre vers une prédominance des bases affectives (Hrboticky et Krondl, 1984).

Prescott *et al.* (1997), ont comparé les réponses de Japonais et Australiens sur trois aliments, jus d'orange, corn-flakes et glace, avec 4 concentrations de saccharose. Ils ont trouvé peu de différences culturelles sur la perception de l'intensité sensorielle. Pour le classement hédonique, les éléments de réponse, en augmentant la douceur, varient par rapport à l'aliment et à la culture. Des réponses similaires ont été trouvées (Prescott *et al.*, 1998), pour d'autres sujets Japonais et Australiens, en évaluant quatre aliments manipulés pour produire quatre niveaux différents de leur goût principal, à savoir, jus d'orange (acide citrique), jus de pamplemousse (caféine), assaisonnement de salade (acide citrique) et corn-flakes (chlorure de sodium), où les deux cultures ne révèlent pas de différence sur le niveau optimal de l'attribut testé, mais une analyse des attributs additionnels explique la variance du goût général des produits pour les deux

nationalités. Il est nécessaire de développer des méthodes permettant d'analyser la complexité des préférences alimentaires, et de déterminer les influences sensorielles ou non sensorielles sur l'acceptabilité des nouveaux produits, surtout pour le marché international (Prescott, 1998).

Malgré la complexité des facteurs qui influencent l'acceptation des aliments, l'information sur la sensibilité et la réaction hédonique aux goûts primaires (sucré, salé, acide, amer) entre les divers groupes culturels, peut être inestimable pour le marché international.

Des recherches, qui ont été peu abordées, sont le rôle du caractère brûlant sur la préférence des aliments dans les différentes cultures. Le piment est l'un des ingrédients alimentaires les plus utilisés et consommés dans le monde, bien que son rôle sur la préférence des aliments ait été ignorée (Prescott et Bell, 1995).

Une étude sur les différences culturelles concernant la préférence pour le piment (Rozin et Schiller, 1980) a révélé que les mexicains trouvent les aliments sans piment fades, contrairement aux Etats-Uniens. Cet aspect est important, car le caractère brûlant est un composant important de la flaveur principale des cuisines de différentes ethnies : asiatiques, africaines, latino-américaines, etc.

## **6.1 Influence de la couleur sur le choix d'un produit**

Les cinq sens sont utilisés dans l'évaluation et l'appréciation d'un aliment. Les aspects sensoriels d'un aliment qui impactent directement la cavité buccale (la saveur et la sensation en bouche) sont souvent jugés prépondérants, mais d'autres caractéristiques sensorielles d'un aliment contribuent aussi significativement à nos réponses aux aliments. Le signal visuel permet l'identification d'un aliment, et à travers l'expérience alimentaire répétée, suscite une série de sensations orales anticipées (Christensen, 1983).

Une dimension sensorielle est souvent affectée par l'information d'autres dimensions sensorielles, même si elles n'ont pas une interaction physique ou physiologique. Des exemples de tels effets dans le contexte psychologique, sont l'augmentation des effets de la couleur et de l'odeur sur les jugements du goût sucré. Lavin et Lawless (1998), ont conclu, pour des groupes d'âges différents, que l'intensification du goût sucré grâce à

L'ajout de saveur vanille dans le lait, peut être plus fortement associé aux caractéristiques d'arôme sucré chez les enfants, qu'une couleur spécifique, et les différences entre adultes et adolescents peuvent résulter de diverses sources qui incluent leurs expériences sur les produits, leur développement, leurs connaissances, entre autres.

La couleur est l'un des principaux attributs considérés pour évaluer la qualité des paprikas. L'American Spice Trade Association (ASTA) considère l'extraction de la couleur rouge, comme la principale mesure de qualité de la couleur des oléorésines de paprika (Krajayklang *et al.*, 2000). Pour le jus d'orange, la couleur est aussi l'un des principaux attributs de qualité ; la USDA (United States Department of Agriculture) assigne 40 points sur une échelle de 100 à cet attribut ; dans l'industrie du jus d'orange, il est recommandable d'utiliser la mesure instrumentale de la couleur, pour déterminer de possibles altérations, car les dilutions les plus concentrées, ne sont pas différenciables visuellement (Meléndez *et al.*, 2005).

Christensen (1983), a trouvé un effet significatif de la couleur sur les jugements de l'arôme et la saveur d'aliments normalement colorés, non colorés et mal colorés, évalués par des sujets sous des conditions de faim, de satiété et avec les yeux bandés. L'état de faim a influencé significativement les jugements de la saveur, mais non ceux de l'arôme, et il ne semble pas qu'il y ait un rapport avec la couleur. Les jugements de la texture n'ont pas été affectés par les manipulations des aliments évalués.

Zellner et Durlach (2002), ont déterminé, en appliquant un questionnaire à des étudiants, que les couleurs claires, le rouge, l'orange, le jaune et le blanc, sont les plus probables pour un aliment ou boisson rafraîchissants, et les couleurs noir, brun, vert gris et violet sont les moins probables pour ces produits. Les résultats obtenus par ces auteurs ont pu être influencés par les souvenirs des gens, au moment de répondre et par les produits qu'ils sont habitués à consommer. Enfin, dans cette étude, la caractéristique considérée comme la plus importante pour un produit rafraîchissant a été la température (froid, frais, glacé).

L'influence de la couleur sur la perception de la valeur désaltérante des breuvages a été étudiée par Guéguen (2003). Il a fait goûter la même boisson dans des verres de couleur différente (bleu, vert, jaune, rouge), distribués au hasard. Des différences significatives ont été révélées entre les quatre couleurs, le verre bleu étant jugé comme contenant la

boisson la plus désaltérante, suivie par le vert (couleurs appelées froides) et le rouge et le jaune (couleurs chaudes) ont été considérés les moins désaltérants. Ces résultats confirment l'influence de la couleur sur la perception du goût.

Carpenter *et al.* (2001), ont déterminé que les préférences du consommateur pour la couleur de la viande de bœuf et son emballage influence la probabilité d'achat, mais elle n'a pas un préjugé sur la satisfaction quand elle est mangée.

L'usage des couleurs dans les annonces publicitaires d'affaires diffère entre les pays, et leur sélection peut être influencée pour la culture ; par exemple au Venezuela, on utilise significativement plus les couleurs rouge, orange et vert, tandis qu'en France et aux États Unis, on utilise plus les couleurs noir et brun (Clarke et Honeycutt, 2000).

Des études sur l'influence de la couleur sur la perception d'avertissement des étiquettes, ont montré que celles en couleur rouge (danger), orange (avertissement) et jaune (prudence), ont été remarquées comme plus risquées et plus lisibles que celles présentées en noir et blanc (Braun *et al.*, 1995).

La vision de la couleur a un rôle général sur le traitement de la forme visuelle, commençant aux premiers étages de l'analyse : la couleur nous aide à reconnaître plus rapidement les choses et à mieux se souvenir d'elles (Gegenfurtner et Rieger, 2000, Tanaka *et al.*, 2001).

## **7 Les objectifs de l'étude**

Cette étude bibliographique, sur la production et valorisation du lait de chèvre et du piment, nous a permis, dans un objectif d'une production adaptée au Mexique, d'envisager la mise au point technologique de fromages de chèvre additionnés de piment. Diverses voies d'introduction du piment ont été testées ainsi que diverses technologies de fabrication du fromage. En définitive, pour des raisons de simplicité du process, c'est une technologie de fromages frais égouttés et additionnés de poudre de piment qui a été retenue.

En outre, la recherche de l'optimisation de la formulation nous a conduit à examiner les propriétés sensorielles de ce produit laitier en recherchant les éventuelles différences

culturelles entre des dégustateurs français et mexicains, pour ce qui concerne l'impact du caractère brûlant et les interactions avec la couleur, permettant ainsi de définir les doses de piment à ajouter.

Il nous a apparu également important, compte tenu des travaux déjà réalisés dans ce domaine, de mesurer l'impact de la présence de piment sur certaines caractéristiques de la conservation des fromages et notamment l'effet du piment ou des capsaïcinoïdes sur la croissance de bactéries utiles en fromagerie ou susceptibles de contaminer les produits.

Enfin, estimant que cette étude serait incomplète sans une approche de faisabilité économique, en s'appuyant sur des données factuelles propres au Mexique, nous avons introduit une analyse financière d'une exploitation théorique d'élevage caprin qui intégrerait une production des fromages au piment utilisant la technologie que nous proposons.

Ces différentes approches nous permettent de conclure sur le potentiel technico économique et, sous réserve d'enquêtes complémentaires qui n'ont pu être réalisées auprès des consommateurs mexicains, l'intérêt de développer au Mexique, une production de fromages de chèvre au piment.



## **CHAPITRE II. Caractéristiques physicochimiques et technologiques du lait, du piment et des fromages**

### **Introduction**

La connaissance des propriétés physicochimiques des aliments est importante pour l'optimisation des procédés de conservation ou de transformation. Ce chapitre est divisé en deux grandes parties : la première partie décrit les matériels utilisés dans cette étude, leurs caractéristiques et leur composition ; la deuxième partie présente les méthodes utilisées pour caractériser la matière première : le lait, le piment et les fromages, et décrit le processus de fabrication des fromages et le calcul du rendement fromager.

### **1 Matériel**

L'origine, les caractéristiques et la composition du lait, du piment et des capsaïcinoïdes sont décrits dans cette partie.

#### **1.1 Le lait de chèvre**

##### **1.1.1 Origine du lait**

Le lait utilisé provient de la ferme expérimentale de l'ENSAIA («La Bouzule») qui récolte le lait de chèvre de la race Alpine.

##### **1.1.2 Composition du lait**

D'après nos résultats et ceux de la littérature, on constate que la composition du lait de chèvre peut être affectée par divers facteurs nutritionnels et non nutritionnels (Hadjipanayiotou, 1995), y compris la race, les différences individuelles, l'alimentation, la saison, le stade de lactation et l'environnement, lesquels déterminent la grande

variabilité de sa composition biochimique, ses propriétés technologiques et sa qualité bactériologique (Abou-Dawood *et al.*, 1980, Anifantakis et Kandarakis, 1980, Garcia *et al.*, 1981, Middleton et Fitz-Gerald, 1981, Cerbulis *et al.*, 1982, Pachauri et Gupta, 1982, Collinge, 1985, Remeuf et Lenoir, 1985, Darnton-Hill *et al.*, 1987, Grandpierre *et al.*, 1988, Espie et Mullan, 1990, Brezina *et al.*, 1993, Zeng *et al.*, 1997, Clark et Sherbon, 2000, Park, 2000, Boyazoglu et Morand-Fehr, 2001, Aganga *et al.*, 2002, Meschy, 2002, Morgan *et al.*, 2003, Greyling *et al.*, 2004, Guo *et al.*, 2004, Iaschi *et al.*, 2004, Soryal *et al.*, 2004, Albenzio *et al.*, 2005, Dimassi *et al.*, 2005, Fekadu *et al.*, 2005, Zan *et al.*, 2005, Herrera *et al.*, 2006, Zeng *et al.*, 2006).

Les principaux constituants obtenus du lait de chèvre pasteurisé (75 °C), utilisé pour la fabrication des fromages pimentés, sont présentés tableau 17.

**Tableau 17.** Constituants du lait de chèvre pasteurisé par 100 ml

Composant	Unité	Valeurs moyennes
pH		6.55
Acidité °D		17.00
Densité		1.030
Matière sèche	g	13.33±0.01
Matière grasse	g	3.53±0.13
Protéines	g	4.83±0.04
Lactose	g	3.84±0.01
Cendres	g	0.76±0.02
Calcium	mg	133±6
Magnésium	mg	21±1
Sodium	mg	45±1
Potassium	mg	157±5
Phosphore	mg	124±1

Le pH, l'acidité, la densité, les solides totaux, la matière grasse, les protéines, les cendres, le calcium, le sodium, le potassium et le phosphore, se trouvent dans la moyenne des valeurs de la littérature. La teneur en lactose est légèrement inférieure et la concentration de magnésium un peu supérieure. Les analyses du lait exigent parfois des techniques complexes et d'une méthode à l'autre, les résultats peuvent varier sensiblement (cas de la mesure des graisses, par exemple) (FAO, 1998). Le lait proposé

à la consommation est toujours un mélange, obtenu de la traite de plusieurs animaux : cette pratique tend à réduire fortement l'importance des variations individuelles.

## **1.2 Le piment jalapeño**

Les diverses expériences ont été réalisées avec du piment jalapeño (*Capsicum annuum* variété jalapeño) à deux états de maturation : mûr (couleur rouge) et en maturation physiologique (couleur verte), lesquels seront nommés régulièrement piment rouge (Pr) et piment vert (Pv).

### **1.2.1 Origine du piment jalapeño**

Le piment jalapeño provient d'Allemagne. Il est acheté en poudre, sous la marque Jalapeño Powder Red (piment jalapeño rouge) et Jalapeño Powder Green (piment jalapeño vert), en lots de 25 kg.

### **1.2.2 Composition du piment jalapeño**

Une quantité importante de l'information relative aux piments est basée sur les diverses méthodes utilisées pour la détermination de la concentration et la caractérisation des capsaïcinoïdes des diverses variétés de piment de différents pays, ainsi que sur l'analyse détaillée des caroténoïdes : ces deux aspects sont les plus importants pour le consommateur et l'industrie.

La littérature considérée comme référence (diverses variétés de piment) pour comparer la composition du piment jalapeño utilisé, est :

- a) Humidité : d'après Govindarajan (1985), Maga (1975), Tandon *et al.* (1964).
- b) Matière grasse (extraits éthers non volatils) : d'après Govindarajan (1985), Maga (1975), Tandon *et al.* (1964).
- c) Protéines : d'après Maga (1975), Tandon *et al.* (1964).
- d) Cendres : d'après Borszéki (1986), Govindarajan (1985), Gurdeep-Kaur *et al.* (1980), Maga (1975), Tandon *et al.* (1964).

e) Glucides : d'après Tandon *et al.* (1964).

f) Sels minéraux : d'après Bajaj et Kaur (1986), Borszéki (1986), Gurdeep-Kaur *et al.* (1980), Khadi *et al.* (1987), Tandon *et al.* (1964).

g) Capsaïcine et dihydrocapsaïcine : d'après Collins *et al.* (1995), Harrison et Harris (1985), Rowland *et al.* (1983), Contreras et Yahia (1998), Yuste *et al.* (1980), Weisenfelder (1978), Quinones-Seglie *et al.* (1989), Mathew *et al.* (1971), Govindarajan (1986b), Marshall et Doperalski (1981).

Le tableau 18 présente la composition du piment jalapeño pour 100 g de matière sèche.

**Tableau 18.** Composants du piment jalapeño rouge et vert pour 100 g de matière sèche et données extrêmes de la littérature

Composant	Piment jalapeño		Littérature
	rouge	vert	
Matière sèche (g)	87,7±0,2	89,6±0,1	
Matière grasse g	12,7±0,2	6,6±0,0	13,0-22,0
Protéines (g)	14,9±0,3	15,8±0,3	11,25-14,4
Cendres (g)	5,9±0,1	5,6±0,1	3,2-8,5
Sucres totaux (g)	38,8±1,9	34,2±1,9	26,99
- Sucres réducteurs (g)	32,8±1,2	32,2±0,9	
Calcium (mg)	496,3±7,3	305,6±36,4	130-340
Magnésium (mg)	210,1±3,2	214,4±8,9	70-300
Sodium (mg)	102,6±0,3	340,2±4,0	10-60
Potassium (mg)	2539,3±57,1	2335,2±199,1	2500-5200
Capsaïcine (mg)	44,3±5,0	114,2±5,2	110-725
Dihydrocapsaïcine (mg)	41,7±4,7	75,5±0,8	60-633
Capsaïcinoïdes (mg)	86,0±0,4	189,7±4,4	
Unités Scoville	13800±100	30500±700	10000-36700

Le pourcentage d'humidité est de 12,2±0,2 % pour le piment rouge et de 10,4±0,1 % pour le piment vert

### 1.3 Les capsaïcinoïdes

Dans cette étude ont été utilisés les deux capsaïcinoïdes majeurs : la capsaïcine (C) et la dihydrocapsaïcine (DC), en considérant qu'elles représentent environ 90 % des capsaïcinoïdes totaux, selon les références bibliographiques.

### **1.3.1 Origine des capsaïcinoïdes**

La capsaïcine (C), N-vanillylnonanamide minimum 97 %, SIGMA (ref. V 9130-1G, St. Louis, USA) et la dihydrocapsaïcine (DC), 8-méthyl-N-vanillylnonanamide d'environ 90 %, SIGMA (ref. 31K7029, St. Louis, USA), ont été utilisées.

## **2 Méthodes**

Cette section est divisée en deux parties. La première partie décrit les méthodes d'analyse du lait, des fromages et du piment (description détaillée Annexe 1). Dans la deuxième partie, la technologie de fabrication des fromages pimentés et le calcul du rendement fromager sont détaillés.

### **2.1 Caractérisation du lait de chèvre et des fromages pimentés**

Les déterminations réalisées sur le lait de chèvre sont le pH, l'acidité titrable, la densité, la matière sèche, les protéines, le lactose, les cendres, les sels minéraux (Ca, Mg, Na, K) et le phosphore. Sur les fromages fabriqués ont été déterminés la matière sèche, les protéines, la matière grasse, les chlorures et la couleur de ceux intensifiés en rouge.

Le lait d'une journée de production de la ferme a été utilisé. Il est pesé et pasteurisé à 75°C pour continuer la fabrication du fromage. Un échantillon pour les analyses respectives est prélevé suivant les normes AOAC 968.12, 970.26, 925.20 et 925.21.

#### **2.1.1 Détermination de l'acidité et de la densité**

##### **1. Mesure du pH**

Les valeurs de pH sont significatives pour déterminer la stabilité du lait à la chaleur. Le pH du lait varie entre 6,6 et 6,8 ; les valeurs inférieures et supérieures sont considérées anormales (FTLQ, 2002). Un pH-mètre HANNA Instruments 8520 a été utilisé.

##### **2. Mesure de l'acidité titrable**

L'acidité titrable mesure la quantité d'acide présente dans un échantillon de lait et a été évaluée suivant les normes AOAC, 947.05 et NF V 04-206 ; elle s'exprime en °Dornic.

### **3. Mesure de la Densité**

La détermination de la densité a été réalisée à l'aide d'un lactodensimètre gradué à la température de 15°C.

#### **2.1.2 Détermination de la matière sèche**

La matière sèche du lait est le résidu obtenu après évaporation complète de l'eau à l'étuve (amilabo WTB binder), suivant les méthodes officielles : AOAC 925.23, NF V 04-207 et FIL 21B : 1987. Elle est exprimée en pourcentage par unité de masse.

#### **2.1.3 Détermination de la matière grasse**

L'extraction de la matière grasse du lait a été réalisée suivant la méthode Roesse-Gottlieb (agitation de l'échantillon en présence de solvants organiques, AOAC 905.02) et des fromages par la méthode de Van Gulik (NF B 35-530). Elle est exprimée en pourcentage par unité de masse.

#### **2.1.4 Détermination de la matière azotée et des protéines**

La méthode de référence officielle pour déterminer la quantité de protéines dans les produits laitiers est la méthode Kjeldahl (AOAC, 920.105, AFNOR NF V 04-211, FIL 20B : 1993. La teneur en azote est exprimée en pourcentage par unité de masse.

#### **2.1.5 Dosage du lactose**

La teneur en lactose a été déterminée par la méthode enzymatique (kit «Enzytec»), selon les normes AOAC 984.15 et FIL 79B : 1991. L'absorbance est mesurée à 340 nm à l'aide d'un spectromètre Ultrospec 4000 UV/visible (Spectrophotometer Pharmacia Biotech). La teneur en lactose est exprimée en grammes par litre.

#### **2.1.6 Détermination des cendres totales**

Les cendres sont les substances résultant de l'incinération de la matière sèche du lait à 525±25°C pendant 12 h, le résidu obtenu est pesé. Elles ont été déterminées selon les

normes NF V 04-208, 1989 et AOAC 945.46, en utilisant un four SERDA. La teneur en cendres est exprimée en pourcentage par unité de masse.

### 2.1.7 Détermination des sels minéraux

Les teneurs en calcium, magnésium, sodium et potassium ont été déterminées par spectroscopie d'absorption atomique après solubilisation des cendres, en utilisant le spectromètre Perkin Elmer modèle AAS 1100, alimenté par une flamme air- acétylène.

*Courbes d'étalonnage et dosage des échantillons.* Des courbes d'étalonnage des solutions standards de concentrations allant de 4 à 12 mg/l pour le Ca ; 0,4 à 1,2 mg/l pour le Mg ; 0,8 à 2,4 mg/l pour le Na et 4 à 12 mg/l pour le K, ont été réalisées. Les mesures sont effectuées à différentes longueurs d'onde : 422,7 ; 285,2 ; 589,0 et 766,5, respectivement pour le Ca, Mg, Na et K.

Les concentrations des minéraux sont calculées en mg/l à partir des valeurs d'absorbance et les équations linéaires des courbes d'étalonnage suivantes :

1). DO Calcium =  $0,0266x - 0,0172$        $R^2 = 0,9824$

2). DO Magnésium =  $0,28x - 0,0266$        $R^2 = 0,9468$

3). DO Sodium =  $0,0798x - 0,0308$        $R^2 = 0,995$

4). DO Potassium =  $0,0427x - 0,0538$        $R^2 = 0,9981$

Où : DO est la densité optique, x la concentration de l'élément et  $R^2$  le coefficient de régression linéaire.

### 2.1.8 Dosage du Phosphore

La détermination du phosphore a été réalisée à partir des cendres. La matière organique du lait est détruite à température élevée et le phosphore est transformé en orthophosphate inorganique qui avec le molybdate d'ammonium forme le phosphomolybdate d'ammonium de couleur bleue. Le dosage a été effectué en mesurant la densité optique des solutions contre une gamme étalon à 660 nm à l'aide du spectromètre Ultrospec 4000 UV/visible (Spectrophotometer Pharmacia Biotech). La

gamme étalon et le dosage ont été réalisés comme présenté sur le tableau 19. La concentration de P est exprimée en g/l de lait.

**Tableau 19.** Préparation de la gamme étalon et dosage du phosphore du lait

<b>Tubes</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>lait</b>
Sol. mère de P	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	0
Sol. minéral	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10 N	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Molybdate	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Sol. réd. 1% ac. asc.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Eau distillée ml	4,2	3,8	3,4	3,0	2,6	2,2	1,8	1,2	3,2
Conc. du P mg/l	0	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,0	X

### 2.1.9 Dosage des chlorures

Le dosage des chlorures a été réalisé sur les fromages au moyen d'un chloruromètre Subra S100 (Grosseron, St. Herblain, France), en utilisant un échantillon de 10 g de fromage. La teneur des chlorures est exprimée en grammes de NaCl par kg de fromage.

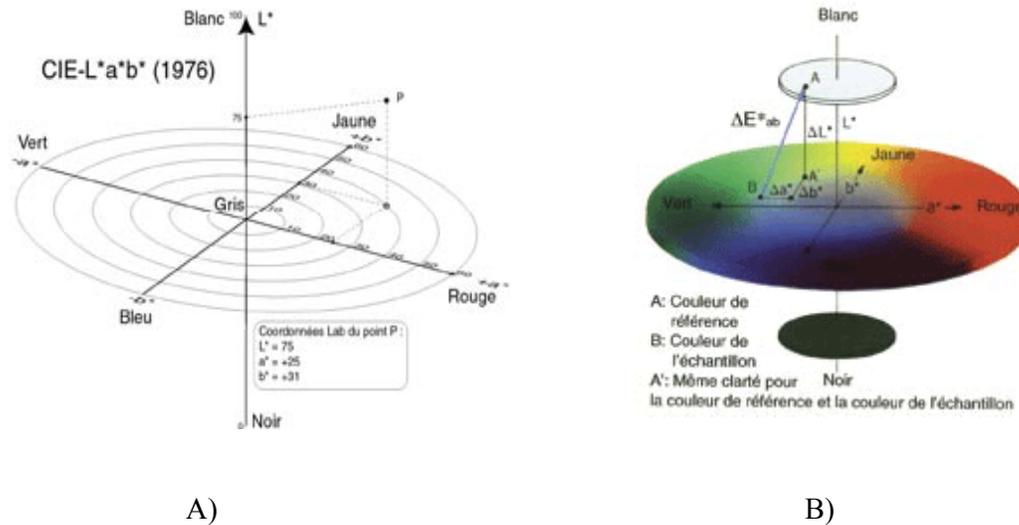
#### 2.1.10 Mesure de la couleur des fromages intensifiée en rouge

La couleur est une grandeur sensorielle complexe, que l'on décompose, pour être quantifiée, en trois grandeurs simples : luminance ou clarté, chrominance ou teinte et saturation (S.S.H.A., 1998).

La teinte est liée à la longueur d'onde réelle sur le spectre visible ; elle est le terme utilisé pour classer les couleurs dans la roue des couleurs. La luminance est déterminée par le pourcentage de lumière réfléchi par l'objet coloré ; elle peut varier du sombre au clair et être mesurée indépendamment de la teinte. La saturation mesure l'indice de pureté d'une couleur ; elle est indépendante des deux précédentes.

La colorimétrie permet de mesurer la couleur objectivement. L'espace couleur L\*a\*b\* (appelé aussi CIELAB), défini par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) en 1976, est actuellement l'un des plus utilisés pour mesurer la couleur des objets dans

pratiquement tous les domaines. C'est un espace à trois dimensions où la combinaison  $L^*$  indique la luminance qui va de 0 (noir) à 100% (blanc), la composante  $a^*$  représente la gamme de l'axe rouge-vert et la composante  $b^*$  représente la gamme de l'axe jaune-bleu (Figure 6).



**Figure 6.** Représentation colorimétrique de l'espace chromatique CIELAB (A) et de l'écart de couleur  $\Delta E^*$  (B). D'après [www.kleocolor.com](http://www.kleocolor.com).

Les paramètres  $L^*a^*b^*$  des fromages ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre portable MICROFLASH 200d (datacolor international, France) sur 3 points différents de la surface d'un échantillon préalablement homogénéisé. L'écart de couleur ( $\Delta E^*$ ) a été calculé d'après l'équation de Hunter-Scofield :

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Equation 1}$$

Où :  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  sont les valeurs d'écart de couleur entre l'échantillon et la couleur de référence (fromage blanc sans piment).

## 2.2 Caractérisation du piment jalapeño et des extraits aqueux

Les analyses réalisées sur le piment et l'extrait aqueux de piment sont : la matière sèche, les protéines, la matière grasse, les cendres, les sels minéraux (Ca, Mg, Na, K), les glucides et les capsaïcinoïdes (capsaïcine et dihydrocapsaïcine). Le procédé de préparation de l'extrait aqueux de piment est décrit au chapitre IV, section 1.1.1. La poudre de piment est gardée sous réfrigération (4°C) et de façon parfaitement étanche

pour éviter la prise d'humidité. Des échantillons d'environ 1 kg sont pris pour chaque lot de déterminations. Le prélèvement des échantillons suit les méthodes de l'AOAC.

### **2.2.1 Détermination de la matière sèche**

Dans un cristallisateur avec couvercle, préalablement séché et taré, on vers en étalant de 1 à 1,5 g de piment en poudre qui sont portés 5 heures à l'étuve ou jusqu'à poids constant, à  $103\pm 2^\circ\text{C}$ . Les résultats sont exprimés en pourcentage par unité de masse.

### **2.2.2 Détermination de la matière grasse**

La détermination de la matière grasse du piment a été réalisée suivant la méthode d'extraction par solvants Soxhlet, utilisant l'éther de pétrole. Un échantillon d'environ 10 g de piment en poudre est utilisé et la récupération de l'extrait est faite dans un ballon séché et taré. La quantité de matière grasse est obtenue par différence des poids une fois que le solvant est évaporé. Pour les extraits aqueux de piment, la méthode du butyromètre de Pien a été suivie, comme décrite pour le lait (section 2.1.3). Les résultats sont exprimés en pourcentage par unité de masse.

### **2.2.3 Détermination de la matière azotée et des protéines**

La détermination de la matière azotée et des protéines est faite en utilisant la méthode Kjeldahl. Un échantillon d'environ 0,1 g de piment en poudre et 0,1 ml d'extrait aqueux de piment ont été utilisés. La teneur en protéines est obtenue en utilisant un facteur de conversion de 6,25 de matière azotée à protéines. Les résultats sont exprimés en pourcentage par unité de masse.

### **2.2.4 Détermination des cendres totales**

Les cendres ont été déterminées suivant la méthode décrite pour le lait (section 2.1.6), utilisant un échantillon d'environ 1 g de piment en poudre. Les résultats sont exprimés en pourcentage par unité de masse.

### 2.2.5 Détermination des sels minéraux

Les minéraux (Ca, Mg, Na, K) sont dosés par spectroscopie d'absorption atomique après solubilisation des cendres (description section 2.1.7). Un échantillon d'environ 1 g de piment en poudre a été utilisé. Les concentrations sont calculées à partir des valeurs d'absorbance utilisant les équations linéaires des courbes d'étalonnage suivantes :

$$1). \text{DO Calcium} = 0,0242x + 0,0082 \quad R^2 = 0,97$$

$$2). \text{DO Magnésium} = 0,4195x + 0,0286 \quad R^2 = 0,96$$

$$3). \text{DO Sodium} = 0,223x - 0,034 \quad R^2 = 0,99$$

$$4). \text{DO Potassium} = 0,0295x - 0,0754 \quad R^2 = 0,99$$

Où DO est la densité optique, x la concentration en mg/l de solution de l'élément et  $R^2$  le coefficient de régression linéaire.

### 2.2.6 Détermination des sucres totaux et des sucres réducteurs

Les sucres totaux et les sucres réducteurs du piment et de l'extrait aqueux de piment ont été dosés par la méthode de Dubois *et al.* (1956).

**Principe.** En milieu acide et à chaud, les pentoses (C5) et les hexoses (C6) subissent une cyclisation pour donner respectivement le furfural et l'hydroxyméthyl furfural. Les composés ainsi formés réagissent avec le phénol pour donner un complexe coloré jaune-orange présentant une absorption maximale à 490 nm. Le complexe coloré permet le dosage spectrophotométrique des sucres et de leurs dérivés. La coloration est proportionnelle à la concentration en sucres du milieu.

**Extraction des sucres totaux.** 0,5 g de poudre de piment et 10 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,5 N sont mélangés et laissés à température d'ébullition (100 °C) au bain-marie pendant 15 min. La préparation est laissée à refroidir à température ambiante ; ensuite on ajoute 10 ml d'éthanol à 70 % et 0,5 ml de sulfate de zinc (2 g/100 ml) et 0,5 ml de  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  (10,6 g/100 ml). La suspension est filtrée dans une fiole de 50 ml et amenée au trait de jauge avec de l'eau distillée.

**Extraction des sucres réducteurs.** L'extraction des sucres réducteurs est réalisée sous agitation pendant une heure, à partir d'un échantillon de 0,5 g de piment (ou 0,5 ml

d'extrait aqueux) dilué dans 5 ml d'éthanol 70 %. Après centrifugation, la partie surnageant est recueillie dans une fiole de 50 ml. Cette opération se répète 3 fois sur le résidu avec le même volume de solvant. A l'extrait total on ajoute 0,5 ml de sulfate de zinc (2 g/100 ml) et 0,5 ml de  $K_4Fe[(CN)_6]$  (10,6/100 ml), le tout est agité et filtré dans une fiole de 50 ml; le volume est complété avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

**Préparation d'un standard de glucose.** Une solution standard de glucose de concentration 0,05 mg/ml a été préparée, à partir de laquelle 5 solutions de différentes concentration sont faites :  $g_1 = 0$  mg/ml ;  $g_2 = 0,025$  mg/ml ;  $g_3 = 0,050$  mg/ml ;  $g_4 = 0,075$  mg/ml et  $g_5 = 0,100$  mg/ml. Le dosage des échantillons est réalisé comme indiqué tableau 20.

**Tableau 20.** Etalonnage du glucose et dosage des sucres réducteurs et des sucres totaux

<b>Tubes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>X</b>
Etalon de glucose (ml) à 0,05 mg/ml	0	0,5	1,0	1,5	2,0	
Echantillon à doser (ml)						0,5
Eau distillée (ml)	2,0	1,5	1,0	0,5	0	1,5
Phénol aqueux 5% (ml)	1	1	1	1	1	1
Acide sulfurique conc. (ml)	5	5	5	5	5	5
Concentration du glucose ( $\mu$ g/ml)	0	25	50	75	100	x

La préparation est laissée au repos durant 10 minutes, elle est ensuite agitée et on mesure la densité optique à 490 nm à l'aide du spectromètre U/V visible Ultrospec 4000 (Pharmacia Biotech).

**Expression des résultats.** La quantité de sucres réducteurs ou totaux est déterminée en se reportant sur la courbe d'étalonnage d'équation de régression :  $DO = aQ \pm b$   
L'équation retenue :  $DO = 0,0072Q$  ( $R^2 = 0,9932$ ), où Q indique la quantité de sucres et a, b sont les constantes et  $R^2$  le coefficient de régression linéaire.

### 2.2.7 Détermination des capsaïcinoïdes

La concentration des capsaïcinoïdes : la capsaïcine (C) et la dihydrocapsaïcine (DC) a été déterminée par chromatographie liquide d'haute performance (HPLC). Elle sert à caractériser et doser le piment dans les fromages fabriqués.

**Principe.** La chromatographie est un nom commun aux techniques où les séparations sont fondées sur la distribution de solutés entre deux phases non miscibles, l'une fixe dite phase stationnaire (une colonne remplie), l'autre en mouvement (un ou plusieurs solvants) dite phase mobile (Caude et Jardy, 1996, Caballero *et al.*, 2003). La durée d'éluion est courte (de 1 à 3 cm<sup>3</sup> par minute), obtenue par l'application d'une pression élevée de l'ordre de 200 bars grâce à une pompe qui maintient constant le débit du liquide. Les colonnes contiennent des granulés de 2 à 5 µm sur lesquels la phase stationnaire est fixée chimiquement; et mesurent entre 3 et 25 cm de longueur et de 0,5 à 5 mm de diamètre interne. La technique emploie des détecteurs dont le message est enregistré puis exploité par un ordinateur relié au système et permet d'obtenir soit des spectres (pics de différentes longueurs d'onde à un temps donné) ou des chromatogrammes (évolution des pics à une longueur d'onde donnée en fonction du temps).

**Mode opératoire.** Des courbes standard de la capsaïcine et la dihydrocapsaïcine ont été préparées.

a). Appareils : les analyses ont été faites sur une chaîne de CLHP marque Shimadzu, constituée des éléments suivants : une colonne apolaire VARIAN, Kromasil C18, 5 µm, 250 x 4,6 mm ; un injecteur automatique SIL-10 ADvp ; une pompe LC-10 ATVP ; un détecteur à barrettes de diodes UV/VIS SPD-M 10AVP ; un système de contrôle SCL-10Avp ; un ordinateur avec logiciel d'acquisition et de traitement des chromatogrammes LC-solution.

b). Réactifs : tous les réactifs utilisés sont de qualité pour HPLC. La phase mobile a été choisie en considérant la méthode proposée par Kaale *et al.* (2002), elle est composée de méthanol (100%), eau ultra pure, acétonitrile (100%) et acide acétique (99,8%), en proportions 47:42:10:1 v/v/v/v ; après préparation, elle est agitée pendant 5 min et dégazée à l'hélium pendant 20 min.

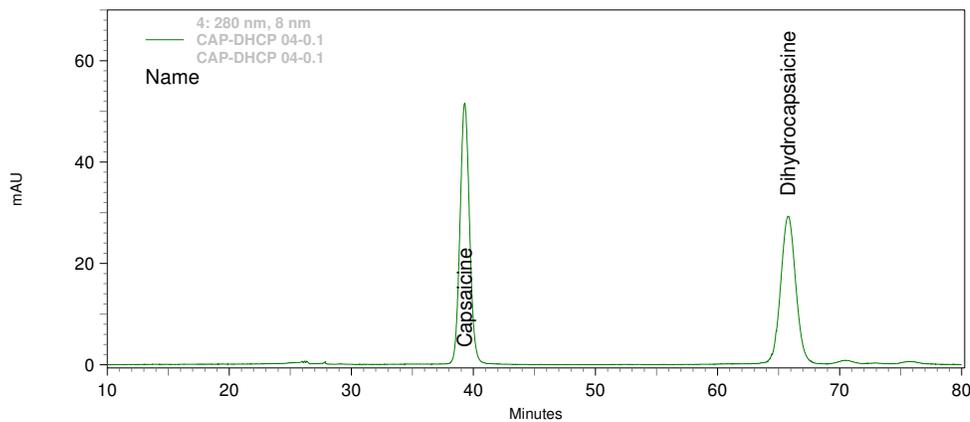
c). Courbes d'étalonnage. A partir d'un standard de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine à 1 mg/ml de méthanol-eau (80:20) (Batchelor et Bradley, 2000, Kaale *et al.*, 2002), des dilutions de 0,01 ; 0,03 ; 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,3 et 0,4 mg/ml ont été faites. Un échantillon de 50µl a été passé au HPLC, à température ambiante (20-25°C), utilisant un taux de

flux de 1 ml/min de phase mobile. Les pics sont obtenus à une longueur d'onde de 280 nm.

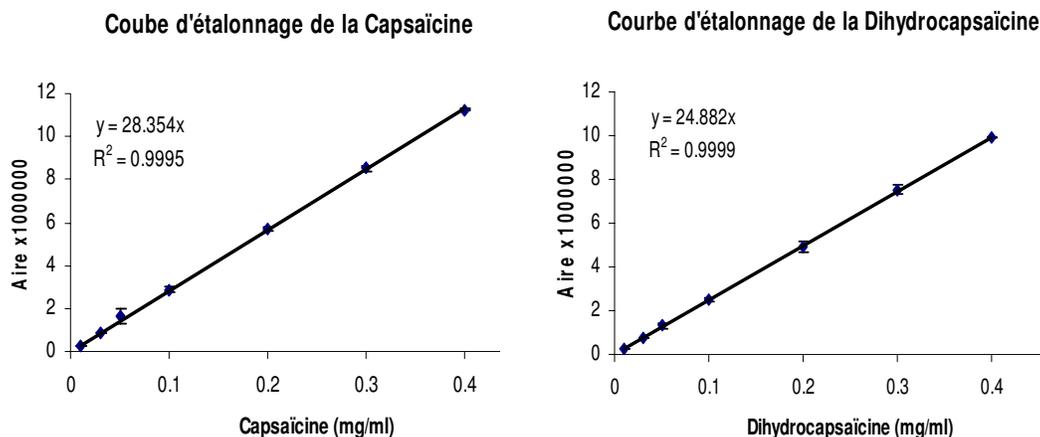
d). Préparation de l'extrait de piment pour l'HPLC. Les extraits contenant les capsaïcinoïdes ont été préparés suivant la norme AOAC 995.03 (AOAC, 1999). La poudre de piment a été diluée 1/10<sup>ème</sup> ou au 1/5<sup>ème</sup> dans l'éthanol à 95 %. L'extraction est réalisée à l'aide d'un condensateur de reflux à 80 °C, sous agitation pendant 5 h. La suspension est deux fois filtrée, d'abord utilisant un filtre papier plissé puis un filtre seringue de 0,22µm. Des échantillons de 1 ml sont préparés pour être analysés.

### Expression des résultats

Les concentrations des capsaïcinoïdes en mg/g de piment en base sèche et mg/ml d'extrait aqueux de piment ont été obtenues à partir des équations de régression linéaire des courbes d'étalonnage, utilisant les aires des pics et les dilutions faites. Les chromatogrammes de la concentration 0,1 mg/ml de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine sont présentés figure 7. Les courbes d'étalonnage de la capsaïcine et de la dihydrocapsaïcine figure 8.



**Figure 7.** Chromatogramme qui présente le temps de rétention de la capsaïcine (39,45 min) et de la dihydrocapsaïcine (66 min), pour la concentration 0,1 mg/ml de méthanol-eau (80 : 20).

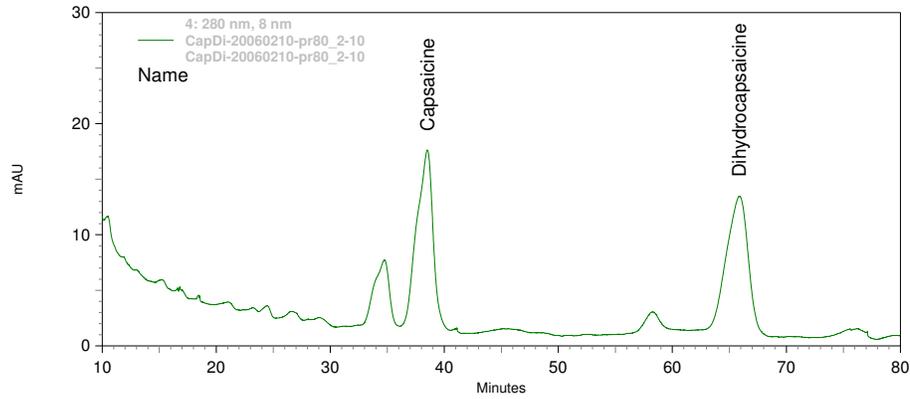


**Figure 8.** Courbes d'étalonnage de la capsaïcine et de la dihydrocapsaïcine montrant l'écart-type, l'équation de la régression linéaire et le coefficient de régression

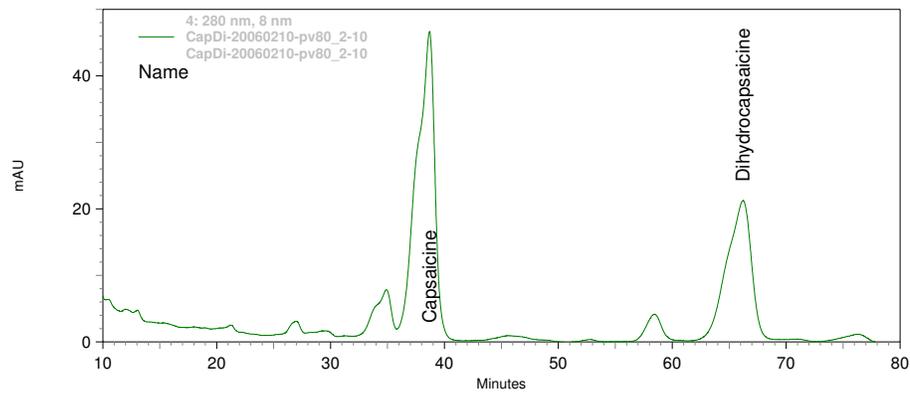
### 2.2.8 Calcul des Unités Scoville du piment jalapeño

En général, il est établi que 1 ppm de capsaïcinoïdes équivaut à 15 UHS (Units Heat Scoville ou Unités Scoville). Les Unités Scoville sont généralement utilisées pour indiquer le caractère brûlant des piments. Govindarajan *et al.* (1987) considèrent un seuil moyen du brûlant de 15 millions d'UHS pour l'ensemble des capsaïcinoïdes. Todd *et al.* (1977), ont signalé un seuil du brûlant différent pour les divers capsaïcinoïdes, dont 16,1 millions d'UHS pour la capsaïcine et la dihydrocapsaïcine. Compte tenu que dans cette étude sont utilisés les deux capsaïcinoïdes principaux, la méthode de Todd *et al.* (1977) a été retenue (Tableau 15, chapitre I).

La figure 9 présente les chromatogrammes des extraits de piment et le tableau 21 montre les concentrations de capsaïcine, de dihydrocapsaïcine et des capsaïcinoïdes des piments et l'extrait aqueux de piment, obtenues à partir des équations de régression linéaire des courbes d'étalonnage et les aires des pics des capsaïcinoïdes.



A). Piment jalapeño rouge



B). Piment jalapeño vert

**Figure 9.** Chromatogrammes qui présentent le temps de rétention et la concentration de la capsaïcine et de la dihydrocapsaïcine du piment jalapeño rouge (A) et vert (B)

**Tableau 21.** Concentration de capsaïcine (C), de dihydrocapsaïcine (DC) et des capsaïcinoïdes (Cap) du piment jalapeño rouge (Pr) et vert (Pv) et de l'extrait aqueux de piment rouge (EApr), pour 100 g de MS

Produit	Aire (A) x 1000000		Dilution	Concentration mg/100 g MS		Capsaïcinoïdes mg/100 g MS
	C	DC		C=A/28,354	DC=A/24,882	
Pr	2,2	1,8	1/5	44,3	41,7	86,0
Pv	2,9	1,7	1/5	114,2	75,5	189,7
EApr	1,5	1,3	1/5	97,7	96,0	193,7

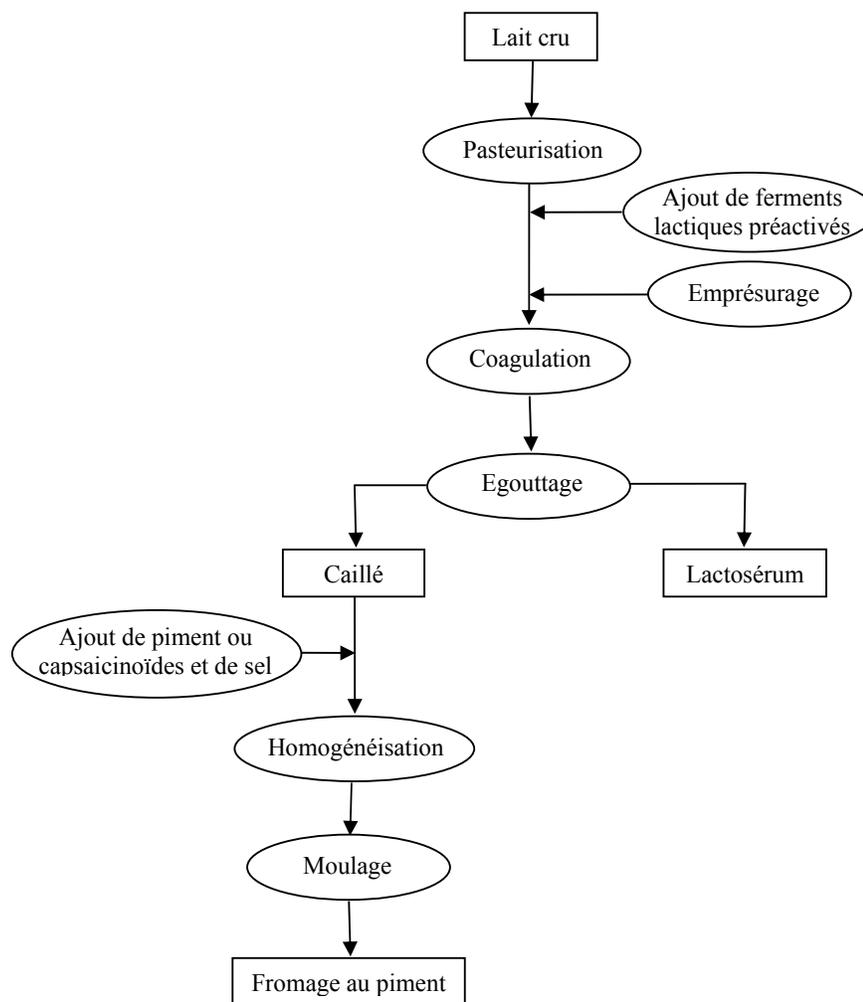
La matière sèche du piment jalapeño rouge est de 87,8%, celle du piment vert de 89,6% et de l'extrait aqueux de piment rouge de 23,6 % (Tableau 18 et Tableau 41)

## 2.3 Mise au point de la technologie de fabrication des fromages frais au lait de chèvre pasteurisé et pimentés

Après différents essais de fabrication de plusieurs types de fromages de chèvre, le fromage que nous avons retenu pour notre étude est un fromage à pâte molle à tendance lactique, suivant la méthode de fabrication de la ferme «La Bouzule» de l'ENSAIA, INPL.

### 2.3.1 Méthode de fabrication du fromage

La méthode de fabrication des fromages pimentés est présentée figure 10.



**Figure 10.** Schéma de la technologie de fabrication de fromage frais du lait de chèvre pasteurisé au piment jalapeño

### **Description de la technologie de fabrication**

1). **Pasteurisation.** Le lait de chèvre est pasteurisé à 75°C quelques secondes et refroidi à la température de fabrication du fromage (23°C).

2). **Culture d'amorçage.** Les ferments de la marque EZAL (Flora Danica) à une dose de 1 g/100 l, sont préactivés une heure avant utilisation dans 1 l de lait écrémé du commerce, puis ajoutés au lait et laissés à agir pendant la journée.

3). **Présure.** La présure NATUREN (520 mg), à une dose de 1 ml/10 l est diluée au dixième dans de l'eau potable, ajoutée le soir et laissée à agir pendant une nuit à 23°C.

4). **Egouttage.** L'égouttage est réalisé le lendemain en vidant le caillé dans des sacs de tissu qui sont retournés sur eux-mêmes chaque heure pendant la journée et laissés à reposer la nuit sous réfrigération (4-7°C).

5). **Ajout et homogénéisation du piment, des capsaïcinoïdes et du sel.** Le piment ou les capsaïcinoïdes (capsaïcine et dihydrocapsaïcine en même proportion) et le sel (2%) sont mélangés au caillé dans un mixeur Stephan pendant 3 minutes à la vitesse la plus lente. Les capsaïcinoïdes sont dissolus avant utilisation pour une meilleure répartition, dans 1 % de matière grasse (beurre du commerce) à 65°C ; le caillé doit avoir une température de 20 à 25°C pour éviter que la graisse solidifie avant répartition.

6). **Moulage.** Le moulage est réalisé dans des moules en plastique contenant environ 150 g de caillé, et ensuite gardés une journée sous réfrigération (4-7°C) pendant laquelle on réalise un retournement.

Le procédé de fabrication prend environ trois jours, les fromages se dégustant au quatrième jour.

#### **2.3.2 Evolution de l'acidité et du pH pendant la coagulation**

Pendant les étapes principales de fabrication du fromage, le pH et l'acidité sont mesurés sur lait pasteurisé, puis après ajout du ferment, ensuite après ajout de la présure (environ 8 h après le ferment), au début et à la fin de l'égouttage.

### 2.3.3 Courbe d'égouttage du caillé

La courbe d'égouttage est obtenue en pesant le lactosérum récupéré chaque heure du début à la fin de l'égouttage.

### 2.3.4 Rendement du fromage

Le rendement global fromager à partir de lait entier pasteurisé, est calculé par rapport à la quantité de fromage obtenue et à la quantité de lait utilisée prenant compte le lait utilisé pour la préparation du ferment.

La formule utilisée est la suivante (FTLQ, 2002):

$$R = \frac{F}{L + I} \times 100 \quad \text{Equation 2}$$

Où : R = rendement (%)

F = masse de fromage obtenue (kg)

L = masse de lait utilisée (kg)

I = masse de ferment liquide ajoutée (kg)

### 2.3.5 Types des fromages pimentés

Les quantités de piment utilisées ont été définies à partir de dégustations informelles des Mexicains qui aiment et tolèrent le piment, pour fixer la quantité maximale, et avec des Français pour déterminer la quantité minimale.

Onze types de fromages, deux blancs sans piment et neuf avec trois niveaux de capsaïcinoïdes (0,5 ; 1,0 et 1,5 ou 2,0 mg par 100 g de caillé), apportés par du piment jalapeño rouge, ou du piment jalapeño vert, ou un mélange en même proportion de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine. Un des deux fromages blancs est le témoin des fromages additionnés de piment et l'autre, avec 1% de matière grasse, des fromages avec capsaïcinoïdes (les capsaïcinoïdes n'apportent que le goût pimenté au fromage et non la couleur) (Tableau 22). Les fromages pimentés proviennent du même caillé, donc la différence entre eux repose que sur le niveau et la source du brûlant. Trois différentes préparations de fromages pimentés pour trois séances indépendantes d'analyse

sensorielle ont été faites. Dans la première séance, la concentration de 2,0 mg de capsaïcinoïdes/100 g de caillé a été considérée trop brûlante par les juges, elle a donc été diminuée à 1,5 mg dans les deux dernières séances.

**Tableau 22.** Formulations fromagères et quantités ajoutées de piment jalapeño rouge (Pr) et vert (Pv) et de capsaïcinoïdes (CD) par 100 g de caillé

Concept/ Échantillon	Fromages										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Codage	B	Pr1	Pr2	Pr3	Pv1	Pv2	Pv3	Bc	CD1	CD2	CD3
Cap (mg)	0,0	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,0	0,5	1,0	1,5
Piment (g)*	0,0	0,6	1,2	1,8	0,27	0,53	0,8	0,0	0,5	1,0	1,5

B = témoin sans piment, Bc= témoin des fromages avec capsaïcinoïdes (1% de matière grasse ajoutée), Pr = avec piment jalapeño rouge, Pv = avec piment jalapeño vert, et CD = avec capsaïcinoïdes. Les chiffres de 1 à 3 indiquent la concentration de capsaïcinoïdes en ordre croissant en mg/100 g de caillé. \*A partir de la concentration de capsaïcinoïdes des piments (Tableau 18), considérant que la capsaïcine et la dihydrocapsaïcine représentent 90 % des capsaïcinoïdes.

### 2.3.6 Types des fromages pimentés et intensifiés en rouge avec du paprika

Huit types de fromages présentant différentes concentrations de capsaïcinoïdes apportées par le piment jalapeño rouge de P0 à P3 et intensités de coloration de C1 à C5 obtenues en ajoutant du paprika, ont été fabriqués. Les quantités de piment jalapeño rouge et de paprika ajoutés sont présentées tableau 23.

**Tableau 23.** Formulations des fromages intensifiés en rouge avec du paprika et pimentés avec du piment jalapeño rouge, par 100 g de caillé

Concept	Fromages							
	Même brûlant et différentes couleurs				Différents brûlants et même couleur			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Type	C1P1	C2P1	C4P1	C5P1	C3P0	C3P1	C3P2	C3P3
Cap (mg)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0	0,5	1,0	1,5
Jalapeño rouge (g)*	0,6	0,6	0,6	0,6	0,0	0,6	1,2	1,8
Paprika (g)	0,080	0,240	0,720	2,160	0,400	0,400	0,400	0,400

P0 à P3 indiquent la concentration de capsaïcinoïdes de 0 à 1.5 mg/100 g de caillé. C1 à C5 indiquent la concentration de paprika ajouté de 0,08 à 2,16 g/100 g de caillé \*Calculé par rapport à la concentration des capsaïcinoïdes (Tableau 18), en considérant que la capsaïcine et la dihydrocapsaïcine représentent 90 % des capsaïcinoïdes.

### 3 Résultats et Discussion

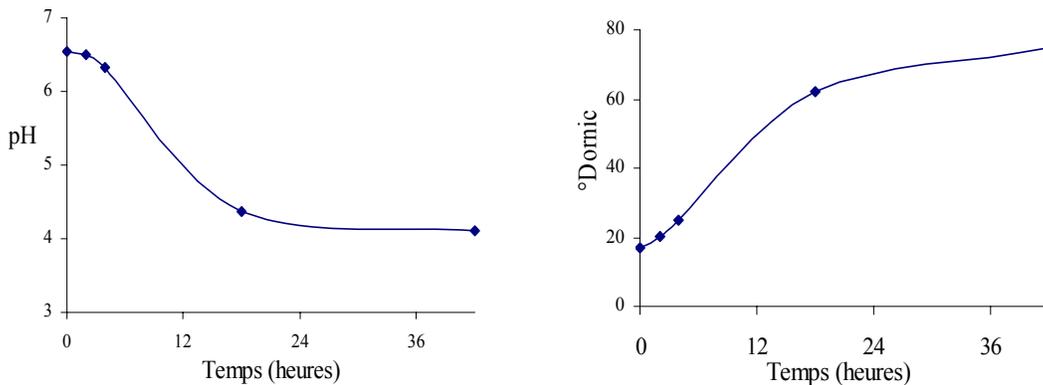
Dans cette partie, nous décrivons les principales étapes de la fabrication des fromages pimentés, comme le développement de l'acidité, la courbe d'égouttage, le rendement obtenu et la composition des fromages.

#### 3.1 Acidité, rendement et composition des fromages pimentés

##### 3.1.1 Développement de l'acidité pendant la coagulation

L'acidité est un des principaux paramètres du lait qui doit être surveillé, surtout pendant le procédé de fabrication des produits laitiers. L'acidité titrable ne donne pas toutes les informations sur la qualité du lait. Il est important de connaître aussi les valeurs du pH du lait, lesquelles représentent un état du lait et sont plus significatives que l'acidité en ce qui concerne la stabilité. Le contrôle de l'acidification de la pâte permet d'évaluer sa perméabilité et son aptitude à l'égouttage (FTLQ, 2002).

Les valeurs du pH et de l'acidité pendant les principales étapes de la fabrication du fromage sont représentés figure 11.

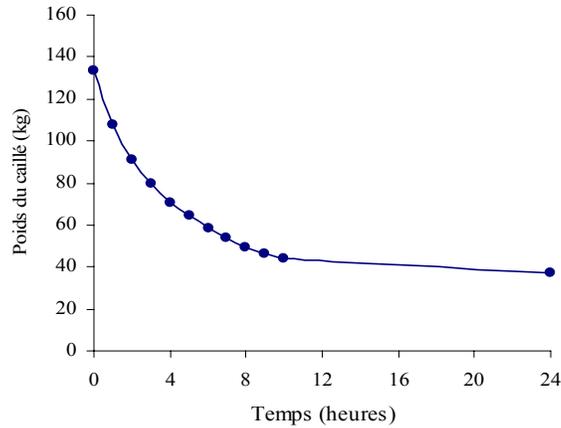


**Figure 11.** Développement du pH et de l'acidité °Dornic pendant la coagulation

On observe que le pH diminue de 6,55 à 4,10, et l'acidité °Dornic de 17 à 75, valeurs qui montrent une acidification analogue à ce qui est habituellement observé pour ce type de fromage.

### 3.1.2 Rendement

Le rendement fromager est défini comme la quantité de fromage fabriqué à partir d'une quantité de lait déterminée (Zeng *et al.*, 2006). Ce rendement est une des données les plus importantes de l'activité fromagère, dû aux conséquences économiques qui représentent une légère variation. La perte de poids du caillé pendant l'égouttage est représentée figure 12 et correspond à ce que l'on obtient habituellement.



**Figure 12.** Perte de poids du caillé pendant l'égouttage

En utilisant la équation (2) du rendement :

Où : F = fromage obtenu = 36,88 kg

L = quantité de lait = 133,74 kg

I = ferments = 1 kg

Le rendement obtenu :

$$R = \frac{36,88 \text{ kg}}{133,74 \text{ kg} + 1 \text{ kg}} \times 100 = 27,4 \%$$

Ce qui correspond à 3,65 kg de lait/kg de fromage frais, ou encore à 0,27 kg de fromage/kg de lait. C'est ce dernier chiffre qui sera retenu pour l'analyse économique.

Le rendement fromager par rapport à la matière sèche, considérant un pourcentage moyen obtenu de 35 % de MS (Tableau 24) est :

$$35 \% \text{ de } 36,88 \text{ kg} = 12,9 \text{ kg de MS de fromage (de } 133,74 \text{ kg de lait).}$$

$$R = \frac{12,9\text{kg}}{133,74\text{kg} + 1\text{kg}} \times 100 = 9,6 \% \text{ (rendement de MS de fromage)}$$

Ce qui correspond à 10,4 kg de lait/kg de MS de fromage, ou à 0,1 kg de MS de fromage/kg de lait.

Selon la FTLQ (2002), les rendements fromagers varient de 17 à 25 % pour les fromages à pâte fraîche ; de 15 à 17 % pour ceux à pâte molle ; de 12 à 15 % pour les pâtes semi fermes et de 9 à 12 % pour les pâtes fermes.

Le rendement de fromage obtenu dans cette étude est de 27,37 % avec 65 à 67 % d'humidité. Il est toutefois supérieur à celui rapporté par Sanz Sampelayo (1998) de 20,1 à 26,2 % pour des chèvres Granadinas et à celui indiqué par Soryal *et al.* (2004) de 12 à 18 % pour le fromage Domiati de chèvres Alpines.

Fekadu *et al.* (2005) ont analysé l'effet de la composition du lait de chèvres Alpines sur le rendement et la qualité de fromages secs et demi-secs en obtenant respectivement 7,38 à 9,21 % et 8,58 à 10,42 % pendant la période de lactation. Ils ont conclu que la composition chimique du lait change significativement pendant la période de lactation, influencée par les divers facteurs climatiques, génétiques, d'alimentation, etc. se reflétant dans la production, dont il résulte une variation du rendement fromager et de ses qualités sensorielles.

### 3.1.3 Coefficient G

On peut aussi calculer le Coefficient G qui exprime la quantité d'extrait sec non gras récupéré dans le fromage par l ou kg de lait mis en œuvre.

Dans notre cas, sur la base des quantités de fromage obtenues et leur composition en MS et MG, on obtient :

Exemple du blanc (Tableau 24, pag 87) : MS = 35 %, MG = 43,5 %

$$\text{Soit MG} = \frac{35 \times 43,5}{100} = 15,23 \%$$

$$\text{MSNG (matière sèche non grasse)} = 35 \% - 15,23 \% = 19,77 \%$$

Fromage total obtenu = 36,88 kg et lait mis en œuvre 134,74 kg (pag 84)

Soit MSNG = 36,88 kg x 19,77 % = 7,29 kg

Donc Coefficient G =  $\frac{7,29}{134,74} = 0,054$  kg de MSNG/kg de lait

Ce taux de récupération est trop fort par rapport à ce que l'on obtient dans l'industrie des pâtes fraîches. Habituellement, on situe le Coefficient G vers 29 – 30 g/l de lait. On ne peut expliquer les raisons d'une telle augmentation des rendements pour les laits que nous avons utilisés.

Dans l'analyse financière (chap. V), on utilisera le rendement obtenu dans nos expériences, mais on fera aussi une simulation pour des rendements plus normaux.

Une forte corrélation entre les principaux composants du lait : matière grasse, protéines et solides totaux et le rendement en fromage ont été trouvés par divers auteurs qui ont proposé différentes équations pour déterminer le rendement de fromage par rapport à la composition du lait (Guo *et al.*, 2004, Dimassi *et al.*, 2005, Zeng *et al.*, 2006). Des rendements de 0,8 kg/10 l de lait de chèvre ont été rapportés par Biss (1991) qui indique que les fromages de chèvre et de brebis ont un avenir prometteur et rentable sur le marché du Royaume Uni.

Comme l'indique la littérature, le rendement fromager est influencé par la composition du lait, le procédé de fabrication et le pourcentage d'humidité. Le rendement obtenu dans cette étude est supérieur à ceux indiqués pour les fromages à pâte fraîche.

### **3.1.4 Composition des fromages pimentés**

La teneur en matière sèche et en lipides est l'un des principaux critères utilisés pour apprécier la conformité d'un fromage à la réglementation officielle, les matières azotées sont dosées moins souvent (Favier, 1987). Il existe peu de littérature analysant la composition des fromages de chèvre et les données sur les chlorures ne sont pas indiquées, les teneurs dépendant de la quantité de sel ajouté lors de la fabrication et sont extrêmement variables. La figure 13 présente les fromages pimentés fabriqués avec diverses concentrations de capsaïcinoïdes apportés par le piment jalapeño rouge, vert et les capsaïcinoïdes commerciaux.



**Figure 13.** Fromages témoins et pimentés avec les différentes concentrations de piment rouge, vert et capsainoïdes

La composition globale des 11 fromages frais de lait de chèvre pasteurisé, avec et sans piment est présentée tableau 24, ainsi que les valeurs extrêmes citées dans la littérature sur les fromages frais de lait de chèvre à pâte molle.

**Tableau 24.** Composition des fromages de lait de chèvre au piment par rapport à la matière sèche (MS)

Fromage	MS (%)	MG (% MS)	Protéines (% MS)	Chlorures (g/kg MS)
Blanc	35,0±1,7	43,5±2,6	43,9±1,6	71,5±8,2
Piment rouge (0,5 mg cap)	34,7±1,5	43,7±1,8	45,0±2,0	82,9±8,9
Piment rouge (1,0 mg cap)	34,6±1,9	43,3±1,2	44,0±0,8	75,1±4,6
Piment rouge (1,5 mg cap)	34,5±1,8	43,8±0,4	43,7±0,9	72,6±2,4
Piment vert (0,5 mg cap)	34,5±1,8	44,4±0,4	42,9±2,4	72,3±2,4
Piment vert (1,0 mg cap)	34,6±1,6	43,6±0,3	45,6±3,9	73,3±3,4
Piment vert (1,5 mg cap)	33,0±5,6	42,7±4,2	45,8±2,9	78,6±9,5
Blanc des capsainoïdes	35,4±2,4	45,8±0,2	43,7±1,0	73,3±3,4
C + DC (0,5 mg cap)	35,2±1,6	45,4±2,9	42,5±0,4	69,0±3,1
C + DC (1,0 mg cap)	35,7±1,8	45,5±1,3	42,6±0,3	84,9±12,8
C + DC (1,5 mg cap)	35,6±2,1	45,4±0,9	43,3±1,7	71,8±2,6

C = capsaincine, DC = dihydrocapsaincine, cap = concentration de capsainoïdes

Comme observé tableau 24, les fromages pimentés fabriqués ont une composition comparable. Un pourcentage légèrement supérieur en matière sèche et matière grasse est observé pour les 4 derniers fromages, en raison de l'ajout de matière grasse pour dissoudre les capsainoïdes. Le pourcentage de MS obtenu (33,0 à 35,7 %) est comparable aux moyennes de la bibliographie (34 à 34,9 %). La matière grasse obtenue (42,7 à 45,8 %) est légèrement inférieure (46,8 à 50,2 %) et la teneur en protéines (42,5 à 45,8 %) est remarquablement supérieure (31,8 à 34,7 %) à celle rapportée dans la littérature pour les fromages de lait de chèvre à pâte molle (Favier, 1987, Ireland *et al.*,

2002, Zeng *et al.*, 2006). Pour les données des chlorures, il faut considérer que les fromages sont additionnés de 2 % de sel. Il est toujours difficile de faire une comparaison précise avec les données de la littérature, car les caractéristiques des fromages ne sont pas les mêmes.

### 3.1.5 Composition et couleur des fromages intensifiés en rouge avec du paprika

**Composition.** La figure 14 montre les fromages au piment jalapeño rouge enrichis de paprika, et leurs principaux composants sont présentés tableau 25



A) C3P0 - C3P1 - C3P2 - C3P3      B) C1P1 - C2P1 - C4P1 - C5P1

**Figure 14.** Fromages pimentés et intensifiés en rouge, classés de C1 à C5 pour l'intensité du rouge et de P0 à P3 pour la concentration des capsaïcinoïdes. A) Fromages avec la même couleur et différents brûlants. B) Fromages avec différentes couleurs et même brûlant

**Tableau 25.** Composition des fromages pimentés avec piment jalapeño rouge et colorés au paprika (diverses intensités de rouge), par rapport à la matière sèche (MS)

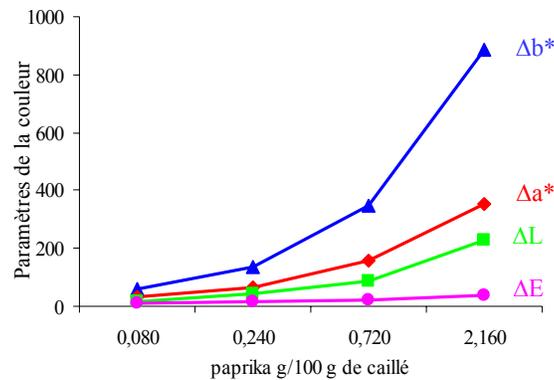
Fromage Cap (mg)	Paprika (g)	MS (%)	MG (% MS)	Protéines (% MS)	Chlorures (g/kg MS)
0,0 (P0)	0,40 (C3)	33,9±0,3	41,3±1	44,0±0,3	79,5±3,6
0,5 (P1)	0,40 (C3)	36,1±0,5	42,2±1	44,0±1,0	76,3±2,6
1,0 (P2)	0,40 (C3)	33,6±0,1	41,6±1	42,9±0,3	77,6±2,2
1,5 (P3)	0,40 (C3)	34,2±0,2	41,0±1	43,1±0,5	76,8±4,6
0,5 (P1)	0,08 (C1)	35,9±0,4	43,2±1	43,8±0,2	75,4±0,7
0,5 (P1)	0,24 (C2)	33,8±0,3	41,4±1	44,5±0,5	78,4±0,6
0,5 (P1)	0,72 (C4)	32,9±0,5	42,6±1	43,6±0,3	76,9±1,7
0,5 (P1)	2,16 (C5)	34,3±0,2	39,3±1	38,6±0,4	73,7±1,3

Cap (mg) = concentration de capsaïcinoïdes apportés par le piment jalapeño rouge en mg/100 g de caillé. La quantité de paprika correspond à 100 g de caillé. C1 à C5 indiquent l'intensité du rouge et P0 à P3 la concentration des capsaïcinoïdes.

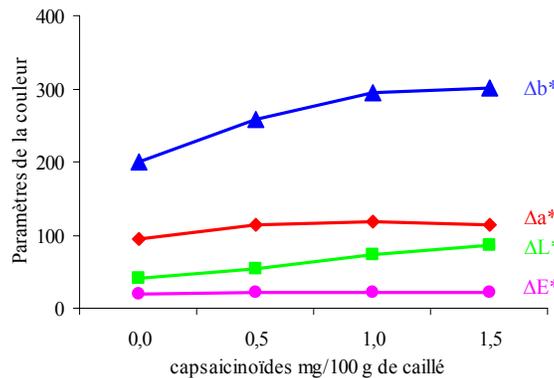
Les résultats obtenus (Tableau 25), montrent que les teneurs en matière sèche sont comparables à celles indiquées dans la littérature, alors que la matière grasse est un peu inférieure et les protéines un peu supérieures aux données de la littérature.

**Mesure de la couleur.** Les écarts de l'espace couleur ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  et  $\Delta E^*$ ) entre le fromage blanc (témoin) et les fromages intensifiés en rouge (éq. 2, sec 2.1.10) sont présentés figure 15.

La figure 15A montre la différence marquée des écarts de l'espace couleur entre fromages avec la même concentration de capsaïcinoïdes (0,5 mg/100 g de caillé) et différentes intensités de rouge. Par contre, ces écarts entre fromages avec différentes concentrations en capsaïcinoïdes et même intensité du rouge, sont comparables (Figure 15B), ce qui montre la différence marquée du rouge que nous avons voulu présenter aux jurys.



A) Fromages avec le même brûlant et différentes intensités de rouge



B) Fromages avec différents brûlants et même intensité du rouge

**Figure 15.** Ecart de couleur ( $\Delta E^*$ ) et des paramètres de l'espace couleur ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ) des fromages avec le même brûlant (0,5 mg de cap/100 g de caillé) et différentes intensités de rouge (A), et avec différents brûlants et même intensité du rouge (B)

## Conclusion

Dans la technologie de fabrication du fromage frais au lait de chèvre pasteurisé, le procédé est optimisé et répétable. La phase idéale d'ajout du piment et des capsaïcinoïdes est identifiée, évitant des pertes importantes des capsaïcinoïdes pendant le procédé. Les capsaïcinoïdes se dissolvent bien dans la matière grasse du lait de vache à 65°C en agitant pendant 3 à 5 minutes. Le procédé de fabrication prend environ trois jours, les fromages se dégustant au quatrième jour.

Les analyses physico-chimiques du lait nous ont permis de partir de caractéristiques bien connues. Les déterminations des constituants des fromages nous ont fourni des éléments afin de confirmer l'inexistence de différences importantes dans la composition des produits fabriqués. La détermination de la concentration de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine du piment jalapeño rouge et vert permet d'ajouter la poudre de piment suivant la concentration de capsaïcinoïdes par rapport à la matière sèche et de cette manière avoir des quantités comparables par niveau de concentration dans les trois types des fromages pimentés fabriqués: fromage au piment jalapeño rouge, fromage au piment jalapeño vert et fromage pimenté aux capsaïcinoïdes (couleur blanche).

Le rendement de fromage obtenu dans cette étude de 27,37 % avec 65 à 67 % d'humidité est toutefois supérieur à celui rapporté dans la littérature.

Le Coefficient G obtenu (54 g de MSNG/l de lait) est trop fort par rapport à ce que l'on obtient dans l'industrie des pâtes fraîches. On ne peut expliquer les raisons d'une telle augmentation des rendements pour les laits que nous avons utilisés.

## **CHAPITRE III. Propriétés sensorielles des fromages de chèvre au piment et optimisation de la formulation**

### **Introduction**

L'évaluation sensorielle d'un aliment est l'étude systématique des réponses humaines aux propriétés physico-chimiques du produit. Elle permet le contrôle de la qualité d'une production alimentaire et son développement. L'analyse sensorielle est très utilisée dans l'industrie alimentaire pour assurer le suivi de la qualité d'un produit tout au long de sa fabrication.

Les attributs constituent les variables des analyses statistiques utilisées pour valoriser les résultats des études sensorielles. Les sujets qui constituent un panel d'évaluation sont le moyen utilisé pour collecter les données sensorielles. Les individus produisent et utilisent les variables selon leur propre sensibilité, c'est pourquoi les attributs peuvent être évalués différemment selon les sujets, même s'ils lui donnent le même nom (Dijksterhuis, 1995).

Les caractéristiques sensorielles d'un fromage sont déterminées par la composition du lait. Il existe un lien entre les caractéristiques sensorielles du produit final et quelques-unes des composantes du terroir (l'environnement, l'alimentation, etc.) (Martin *et al.*, 2003). Dans cette étude, les caractéristiques premières des fromages ne varient pas : les fromages sont fabriqués à partir du même caillé (Tableau 24 et 25, chapitre II), afin d'attirer l'attention des jurys principalement sur les propriétés sensorielles conférées par le piment et les capsaïcinoïdes, à savoir : la couleur et le goût.

Les produits dérivés de la chèvre au Mexique sont nombreux, mais le fromage n'est pas très consommé. Ceci est dû au manque d'intérêt du consommateur selon divers facteurs, tels que :

- les fromages de chèvre sont des produits régionaux, consommés localement et peu connus hors des communautés productrices, ou destinés à des marchés exclusifs ;

- les gens associent diverses maladies aux chèvres (brucellose) ;
- le fromage a une saveur forte typiquement «goût de chèvre».

Ces raisons engendrent les questions suivantes :

- la méthode de fabrication choisie et l'ajout de piment peuvent-ils modifier les caractéristiques organoleptiques des fromages de chèvre et les rendre plus acceptables par les Mexicains?

- les caractéristiques organoleptiques des fromages pimentés seront-elles appréciées par les Français, habitués à consommer des fromages de chèvre?

L'objectif de l'analyse sensorielle était de déterminer si un fromage frais, au lait de chèvre pasteurisé et pimenté pourrait être accepté par des français et des mexicains qui ont des habitudes alimentaires différentes.

## **1 Matériels et Méthodes**

La méthode employée pour les séances d'analyse sensorielle repose sur quelques principes de base extraits des méthodologies employées par Hernandez et Lawless (1999), et les normes d'analyse sensorielle de produits alimentaires (AFNOR, 1995).

Pour évaluer les propriétés organoleptiques des fromages pimentés ou non pimentés et déterminer leur préférence auprès des Français et des Mexicains, une évaluation sensorielle hédonique a été réalisée suivant les normes NF ISO 5492 et V 09-001 (AFNOR, 1995). Ce test est basé sur le caractère plaisant ou déplaisant du produit.

Trois séances d'évaluation sensorielle ont été réalisées. La première séance nous permettait de vérifier que les concentrations des capsaïcinoïdes fixées à partir de tests informels étaient acceptables et ainsi confirmer la méthodologie des deux séances suivantes.

Les séances de dégustation se sont déroulées dans une salle d'analyse sensorielle qui répond aux normes françaises V 09-105 (AFNOR, 1995), sous une lumière blanche.

## **1.1 Les jurys**

Deux groupes de juges non experts ont été formés (natifs Mexicains et natifs Français). Lors du choix des juges, 2 aspects ont été considérés : leur tolérance au piment et au fromage de chèvre. Lawless *et al.* (1995) ont obtenu des résultats similaires entre groupes d'experts et d'amateurs évaluant des fromages.

Les jurys, non entraînés, étaient composés de 12 Français et de 12 Mexicains nouvellement arrivés en France (moins de 4 ans, afin que les habitudes alimentaires n'aient pas beaucoup changé), femmes et hommes, âgés de 19 à 50 ans. Les normes NF ISO 8586-1 et NF ISO 8586-2 (AFNOR, 1995) ont été considérées pour la sélection et le contrôle des sujets.

## **1.2 Les échantillons**

Chaque juge a dégusté onze échantillons (Tableau 22, chapitre II), deux blancs sans piment (un témoin des fromages avec piment et un autre des fromages avec capsaïcinoïdes) et 9 avec trois niveaux de capsaïcinoïdes (cap) (0.5, 1.0 et 1,5 ou 2.0 mg/100 g de caillé) apportés par du piment jalapeño rouge, du piment jalapeño vert, ou un mélange de capsaïcine (C) et de dihydricapsaïcine (DC). Des codes à trois chiffres ont été affectés aux échantillons.

## **1.3 Le test de préférence et l'échelle hédonique**

On peut définir l'acceptabilité comme l'état d'un produit reçu favorablement par un individu déterminé ou une population déterminée, en fonction de ses propriétés organoleptiques (S.S.H.A., 1998).

### **1.3.1 Le test de préférence**

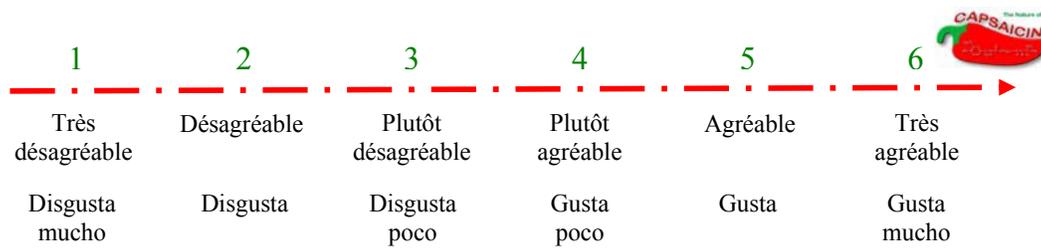
Chaque sujet évalue aléatoirement 11 échantillons d'environ 15 grammes chacun. La dégustation a été réalisée pendant la matinée et à une température de 20°C. De l'eau pour se rincer la bouche, du lait et une tranche de pain pour neutraliser le caractère brûlant du piment ont été mis à la disposition des juges.

### 1.3.2 L'échelle hédonique

L'échelle hédonique à 9 points a été développée et décrite en détail par Peryam et Pilgrim en 1957 (Yeh *et al.*, 1998, Curia *et al.*, 2001). Depuis, elle a été utilisée avec succès pour déterminer l'appréciation de divers types d'aliments, boissons, cosmétiques, produits de maison entre autres. Pedrero et Pangborn (1989) ont réalisé une version en espagnol de cette échelle. Mais il a été observé qu'elle peut être source de confusion pour les consommateurs. En effet, Curia *et al.* (2001) ont évalué trois versions en espagnol de l'échelle hédonique originale à 9 points, entre consommateurs d'âges différents (enfants, adolescents et adultes) de deux villes Argentines. Ils ont trouvé que 30 % des sujets classent différemment les phrases traduites de la version en anglais, c'est-à-dire changeaient l'ordre de deux niveaux ou plus. Plusieurs auteurs recommandent donc d'utiliser avec prudence, les traductions en diverses langues de l'échelle hédonique à 9 points.

Une échelle hédonique à six niveaux, basée sur l'échelle hédonique à neuf niveaux proposée par Hernandez et Lawless (1999) et la norme NF V 09-015 (AFNOR, 1995) a été utilisée dans notre étude. Notre décision d'utiliser une échelle plus courte a été basée sur l'étude réalisée par Yeh *et al.* (1998) qui ont comparé l'utilisation de l'échelle hédonique de 9 niveaux entre les consommateurs Américains, Coréens, Chinois et Thaï ; l'échelle a été traduite dans chaque langue respective. Ils ont trouvé que les sujets Chinois, Coréens et Thaï, utilisent un rang plus petit de l'échelle que les Américains. Cependant, il n'y a pas eu de différences significatives entre les Thaï et les Coréens habitant aux E.U. et ceux habitant dans leur pays d'origine.

On peut penser qu'une échelle à six points facilite la décision des juges non experts, et que les points extrêmes ainsi que celui du centre (neutre), ne sont pas indispensables pour évaluer l'appréciation d'un produit. L'échelle hédonique à six niveaux utilisée est présentée figure 16.



**Figure 16.** Echelle hédonique à six points pour les juges Français et Mexicains, respectivement en français et en espagnol

Les réponses sont notées dans un questionnaire proposé en deux parties : la première utilise l'échelle hédonique à six niveaux (Figure 16), la deuxième partie propose une liste de cinq descripteurs ayant éventuellement influencé leur classement (norme NF ISO 11035). Les questionnaires utilisés sont présentés dans l'annexe 2. Pour les analyses statistiques, nous avons donné une valeur de 1 à 6 à chaque niveau de l'échelle hédonique.

### 1.3.3 Les descripteurs évalués

Les propriétés sensorielles finales évaluées par rapport à leur influence sur le choix des fromages proposés sont la couleur, la texture, l'intensité du piment, le «goût de chèvre», la salinité, ou autres : la plupart de juges ont considéré l'acidité comme une propriété additionnelle détectable importante. Elles ont été évaluées par fromage en donnant +1, 0 et -1 si le descripteur a une influence positive, neutre ou négative sur le choix du sujet. Le niveau d'influence pour chaque facteur (couleur, texture, intensité du piment, goût de chèvre, salinité, acidité) sur la préférence du fromage a été déterminé en faisant la somme des notes (+1, 0 ou -1) pour chaque fromage.

a). **Couleur.** Propriété des produits obtenus par l'ajout de piment jalapeño rouge, vert et de capsaïcinoïdes, qui donnent respectivement des fromages légèrement rouges, verts et blancs.

b). **Texture.** Ensemble des propriétés mécaniques, géométriques et de surface d'un produit, perceptibles par les mécanorécepteurs, les récepteurs tactiles et, éventuellement, par les récepteurs visuels et auditifs. Dans ce cas, la texture a été

évaluée visuellement lorsque l'échantillon est porté à la bouche (norme NF ISO 11036) (AFNOR, 1995).

c). **Intensité du piment.** Caractéristique du brûlant donné par le piment et les capsaïcinoïdes, qui est évalué par rapport à leur acceptation et tolérance du sujet.

d). **Goût de chèvre.** Saveur caractéristique des fromages de chèvre.

e). **Salinité.** Évaluation du niveau salé des fromages, accepté par le sujet.

f). **Acidité.** Évaluation du niveau acide des fromages, accepté par le sujet.

## 1.4 Analyses statistiques

L'analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide des logiciels Excel, SPSS V12.0, xlstat 753, StatGraphics Plus 2.1, Uniwin Plus et Origin. L'analyse a été faite en deux étapes, suivant les recommandations de Bárcenas *et al.* (2000) ; la première étape consiste à réaliser une analyse globale des données en utilisant des histogrammes des moyennes de préférences et des écart-types. La deuxième étape consiste à faire des analyses de variance (ANOVA), des composantes principales (ACP) et des classements des groupes non significativement différents en utilisant les tests de Fisher et Duncan (intervalle de confiance à 95 %) et le test t-student afin de mettre en évidence des différences de préférence des fromages entre les Français et les Mexicains.

### 1.4.1 L'analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP est une méthode d'ordonnement classique. A partir d'un ensemble de  $n$  objets dans un espace de  $p$  descripteurs, l'ACP permet une représentation dans un espace réduit de  $k$  dimensions ( $k \ll p$ ) qui conserve "le meilleur résumé " (au sens du maximum de la variance projetée) (Labat, 2004). Le but est de trouver des axes orthogonaux (indépendants) qui ont la propriété d'extraire le maximum de la variance projetée (ou inertie projetée) des individus ou objets. L'ACP s'applique à des tableaux de données bidimensionnelles croisant des individus (fromages) et des variables (juges) ; on essaie d'évaluer leur ressemblance et de déterminer les variables liées aux individus préférés.

Lorsque plusieurs variables sont très corrélées, l'essentiel de l'information peut être contenu dans une seule composante. Le vecteur qui explique le plus d'inertie du nuage est le premier vecteur propre (appelée première composante principale). De même le deuxième vecteur qui explique la plus grande part de l'inertie restante est le deuxième vecteur propre ou deuxième composante principale, etc. Par convention, nous représentons la deuxième dimension par une droite perpendiculaire à la première composante principale. Le pourcentage de variance décroît de la première aux dernières composantes.

Le but de l'ACP étant d'obtenir une représentation des individus dans un espace de dimension plus faible que  $p$ , la question se pose d'apprécier la perte d'information subie et de savoir combien de facteurs retenir. Nous avons considéré les deux règles générales suivantes pour expliquer les résultats (Saporta, 1990, Jambu, 1999) :

- a) Le critère habituellement utilisé est celui du pourcentage d'inertie total expliqué. Le rang des axes tel que le pourcentage de variance expliqué avoisine 80% ; il peut être modulé en fonction du type de données.
- b) Les critères empiriques ; le plus connu est le critère de Kaiser, lorsqu'on travaille sur des données centrées réduites, on retient les composantes principales correspondant à des valeurs propres supérieures à 1.

### **1.5 Evaluation de l'interaction couleur-caractère brûlant**

Diverses études ont montré l'effet de la couleur sur la perception, le comportement humain et la façon dont on évalue une diversité de facteurs : les aliments, les boissons, l'environnement, etc. (Braun *et al.*, 1995, Sarfarazi *et al.*, 1999, Clarke et Honeycutt, 2000, Gegenfurtner et Rieger, 2000, Campen et Froger, 2003, Courtis, 2004, Pitchford et Mullen, 2005).

Dérivée des premiers résultats, une étude complémentaire dont l'objectif a été d'évaluer l'influence de l'intensité du rouge (apporté par le piment jalapeño rouge et intensifié avec du paprika) sur l'appréciation du caractère brûlant de 8 fromages, et l'impact de la culture culinaire sur cette évaluation, a été mise en place.

Les préférences des fromages par les jurys sont évaluées par rapport à trois descripteurs proposés : couleur, goût et intensité du piment ; en utilisant l'échelle hédonique à 6 niveaux décrite dans la section 1.3.2.

### **1.5.1 Les jurys**

Deux jurys, non entraînés, avec les caractéristiques décrites dans la section 1.1 ont été employés.

### **1.5.2 Échantillons**

Huit fromages de chèvre présentant différentes concentrations de capsaïcinoïdes apportés par le piment jalapeño rouge de P0 à P3 (P0 = 0,0 ; P1 = 0,5 ; P2 = 1,0 et P3 = 1,5 mg de caps/100 g de caillé), et intensités de coloration de C1 à C5 (C1 = 0,080 ; C2 = 0,240 ; C3 = 0,400 ; C4 = 0,720 et C5 = 2,160 g de paprika/100 g de caillé) obtenues en ajoutant du paprika, ont été évalués par les deux jurys. Les échantillons sont numérotés au hasard en utilisant un code à trois chiffres. Les quantités de piment jalapeño rouge et de paprika ajoutés sont présentées tableau 23 (chapitre II).

### **1.5.3 Échelle hédonique**

La préférence des fromages pimentés et intensifiés en rouge a été évaluée en utilisant l'échelle hédonique à six niveaux, décrite auparavant, appliquée à trois descripteurs : la couleur, le goût et l'intensité du piment.

### **1.5.4 Test de préférence**

Chaque sujet évalue de manière aléatoire 8 échantillons d'environ 15 grammes, à température ambiante. La dégustation a été réalisée pendant la matinée dans les conditions décrites précédemment. Les questionnaires sont présentés dans l'annexe 2.

### **1.5.5 Analyse statistique des résultats**

L'analyse statistique des résultats a été faite suivant le procédé expliqué dans la section 1.4.

## 2 Résultats et Discussion

Les évaluations sensorielles des fromages pimentés ont permis de déterminer leur degré d'acceptabilité par les deux jurys, la concentration de capsaïcinoïdes préférée, les descripteurs qui ont le plus influencé le choix des sujets parmi ceux proposés (couleur, texture, intensité de piment, goût de chèvre, salinité et acidité), et enfin, les différences de préférence entre les jurys.

### 2.1 Différences d'appréciation entre fromages

Les conséquences de l'ajout de piment aux fromages sur les caractéristiques sensorielles sont étudiées sur des fromages enrichis avec trois concentrations de capsaïcinoïdes (0,5 ; 1,0 et 1,5 mg/100 g de caillé) apportés par le piment jalapeño rouge, vert et un mélange de capsaïcine et dihydrocapsaïcine, ainsi que deux blancs (fromages sans piment). Les fromages ont été dégustés frais le jour suivant leur préparation.

Les rôles pouvant être attribués au piment sont : une action sur la perception en tant qu'exhausteur de la saveur et une action sur la couleur et la texture. Le protocole expérimental mis en place permet de dissocier ces effets et de mieux appréhender l'influence du piment sur les propriétés sensorielles des fromages de lait de chèvre et sur leur appréciation pour deux jurys d'habitudes culinaires différentes.

La différence de préférence entre les fromages a été déterminée par l'Anova. Le jury Français montre des préférences ( $p < 0,05$ ) entre les fromages pimentés ( $P < 0,0001$  et  $F < 14,13424$ , Tableau 26).

**Tableau 26.** Différence de préférence du jury Français pour les fromages pimentés à un seuil de 0,05

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Modèle	13	244,699	18,823	14,134	0,0001
Résidus	382	508,722	1,332		
Total	395	753,421			

Le jury Mexicain a aussi montré des préférences ( $p < 0,05$ ) entre les fromages proposés ( $P < 0.01513$  et  $F < 2.07129$ ), tableau 27.

**Tableau 27.** Différence de préférence du jury Mexicain pour les fromages pimentés à un seuil de 0,05

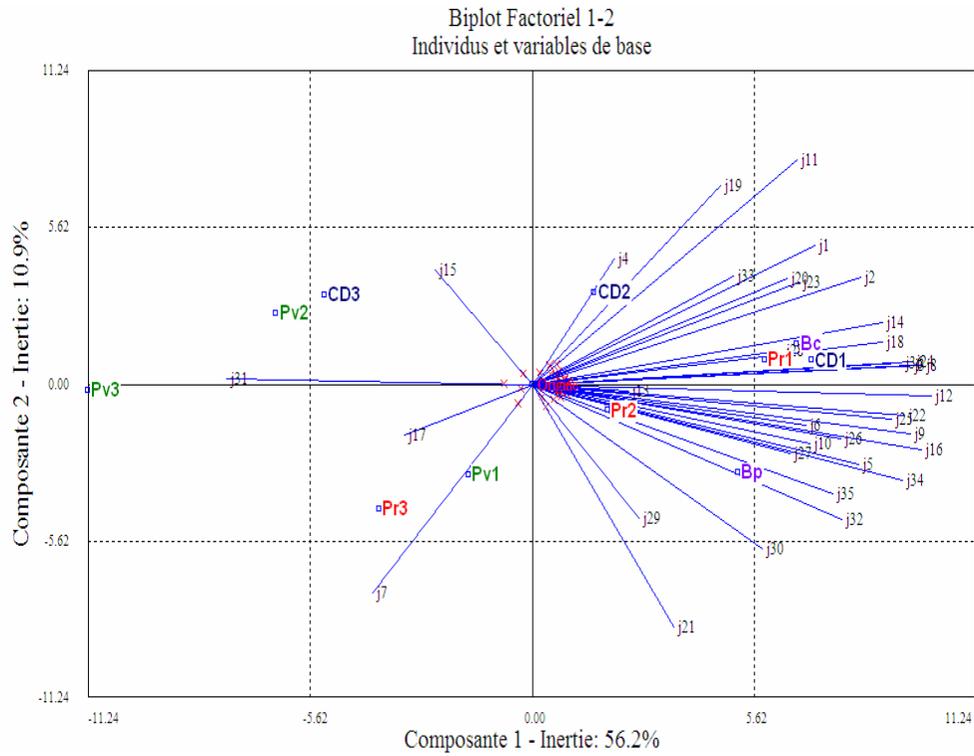
Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Modèle	13	36,607	2,816	2,071	0,015
Résidus	371	504,370	1,359		
Total	384	540,977			

Les deux jurys ont des préférences entre les fromages pimentés. Ces préférences sont plus marquées pour le jury Français ( $p < 0,0001$ ) que pour le jury Mexicain ( $p < 0,015$ ). Afin de déterminer les fromages les plus appréciés par les sujets des deux jurys, une analyse en composantes principales a été réalisée.

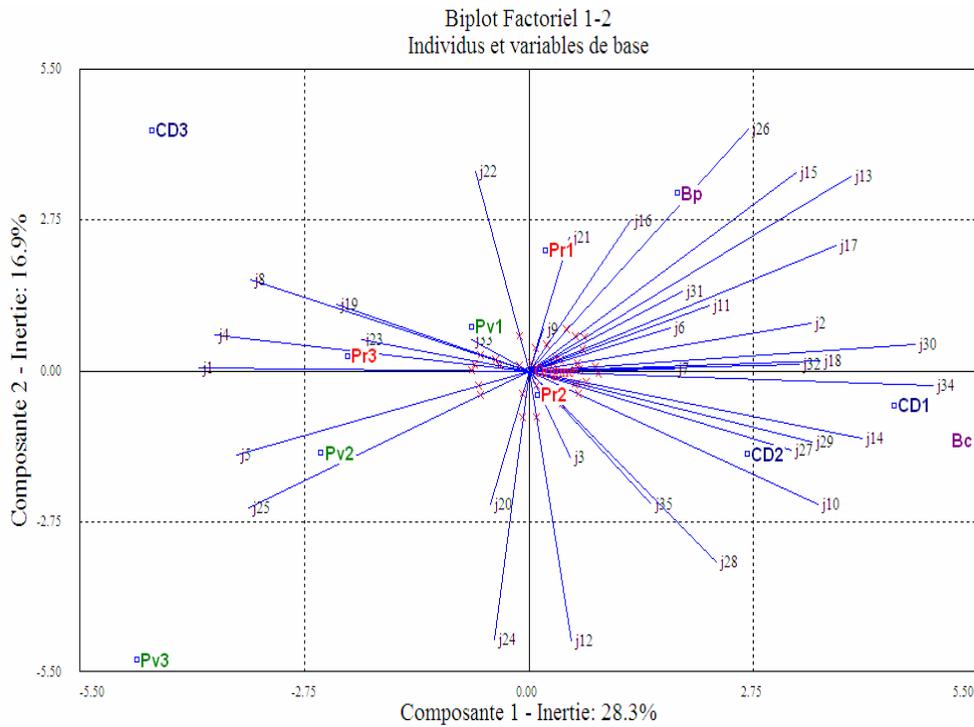
En effet, l'analyse en composantes principales permet de décrire les liens existant entre les fromages et les sujets. Les fromages et les sujets ( $j_1$  à  $j_{36}$ ) sont présentés dans le plan 1-2. L'axe 1 oppose les fromages préférés à ceux les moins appréciés et le comportement des juges envers ces fromages.

Les fromages suivent le codage établi (chapitre II, Tableau 22), en rappelant : blanc sans piment (B), pimentés avec jalapeño rouge (Pr1, Pr2, Pr3), pimentés avec jalapeño vert (Pv1, Pv2, Pv3), blanc des capsaïcinoïdes (Bc) et pimentés avec capsaïcinoïdes (CD1, CD2, CD3).

Les composantes principales ayant une valeur propre supérieure à 1,0, sont au nombre de 9 pour les sujets Français expliquant 98% et 9 pour les sujets Mexicains expliquant 98,6%, de la variance de la préférence des juges pour les 11 fromages proposés. La Figure 17, représente les 2 premières composantes qui expliquent respectivement 67,1% et 45,2% de l'inertie initiale, pour les jurys Français et Mexicain. L'origine des axes représente la moyenne des préférences des juges.



A) Jury Français : composantes 1-2



B) Jury Mexicain : composantes 1-2

**Figure 17.** Fromages préférés (1 à 11) par les sujets ( $j_1$  à  $j_{36}$ ) Français (A) et Mexicains (B) représentés sur 2 composantes principales

Le comportement des sujets Français est mieux représenté sur les deux axes, en raison d'habitudes culinaires comparables. Les deux groupes de fromages distingués sur l'axe 1 (plus et moins appréciés) mettent en évidence le choix généralisé du jury Français. En revanche, les sujets Mexicains ont une préférence plus diversifiée, contrairement à ce qui est attendu. En effet, les Mexicains ont généralement une attirance pour les produits alimentaires pimentés, pourtant la formation de groupes avec des goûts différents est observée.

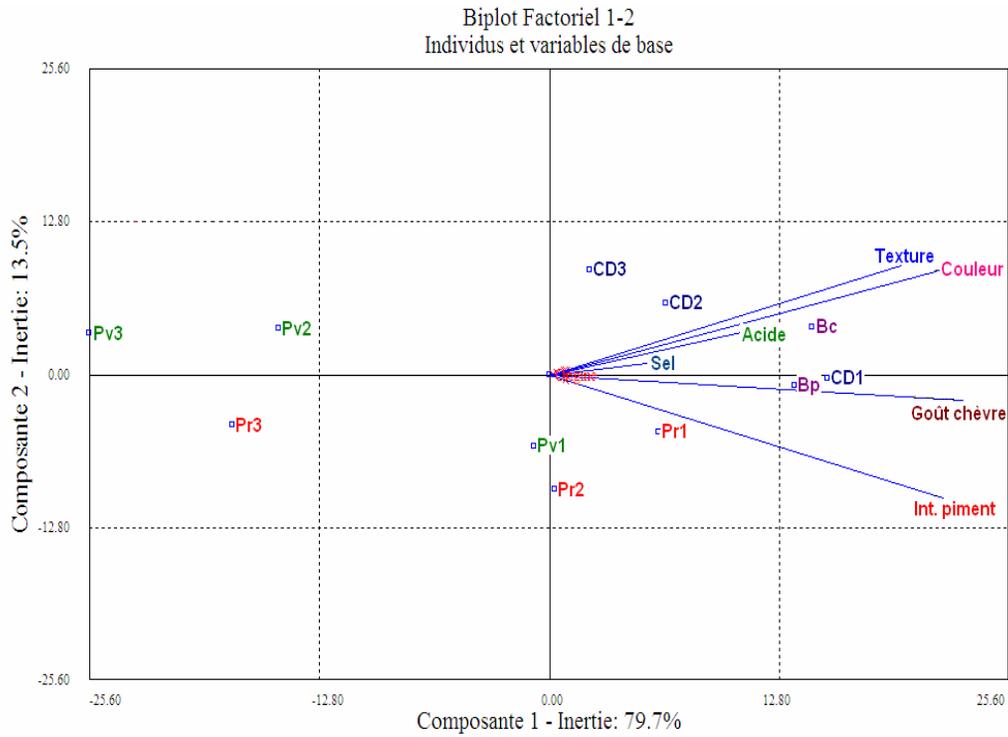
Les fromages préférés par les sujets Français sont les fromages sans piment (B et Bc), les peu (Pr1 et CD1) et moyennement pimentés (Pr2 et CD2) avec piment jalapeño rouge et capsaïcinoïdes, lesquels sont qualifiés d'agréables et de très agréables. Les fromages moyennement appréciés sont les plus pimentés avec jalapeño rouge (Pr3) et capsaïcinoïdes (CD3) et les peu pimentés avec jalapeño vert (Pv1), considérés entre plutôt agréables et plutôt désagréables ; et ceux les moins appréciés, les moyennement et les plus pimentés avec jalapeño vert (Pv2 et Pv3), évalués entre désagréables et plutôt désagréables.

La plupart des sujets Mexicains (environ 50 %) préfèrent les fromages peu et moyennement pimentés avec jalapeño rouge et avec capsaïcinoïdes (Pr1, Pr2, DC1 et DC2) ; un groupe moins important (environ 25%) a montré une préférence pour les fromages plus pimentés avec jalapeño rouge (Pr3) et peu et moyennement pimentés avec jalapeño vert (Pv1 et Pv2). Les fromages moins appréciés restent les fromages sans piment (B et Bc) et les plus pimentés avec jalapeño vert et capsaïcinoïdes (Pv3 et CD3). En général, les Mexicains ont évalué les fromages comme agréables et très agréables.

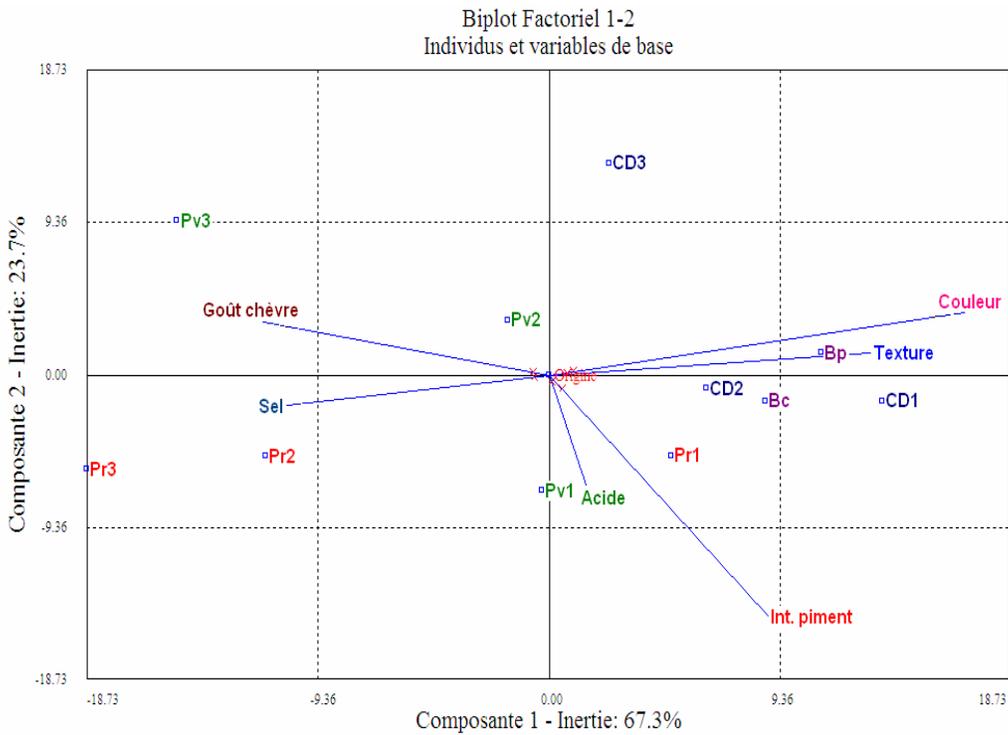
## **2.2 Influence des descripteurs sur le choix des fromages**

L'influence éventuelle de 6 descripteurs sur le choix des fromages par jury a été déterminée, et les résultats sont présentés sur les figures 18 et 19.

Pour le jury Français, les 6 descripteurs sensoriels ont été corrélés positivement avec les fromages préférés, indiquant que les caractéristiques de qualité jouent un rôle important sur l'appréciation des fromages pour ces sujets. Le jury Mexicain, avec sa diversité de préférence, a lié aux fromages préférés la couleur, la texture, l'intensité du piment et l'acidité et aux fromages moins appréciés le goût de chèvre et le sel.



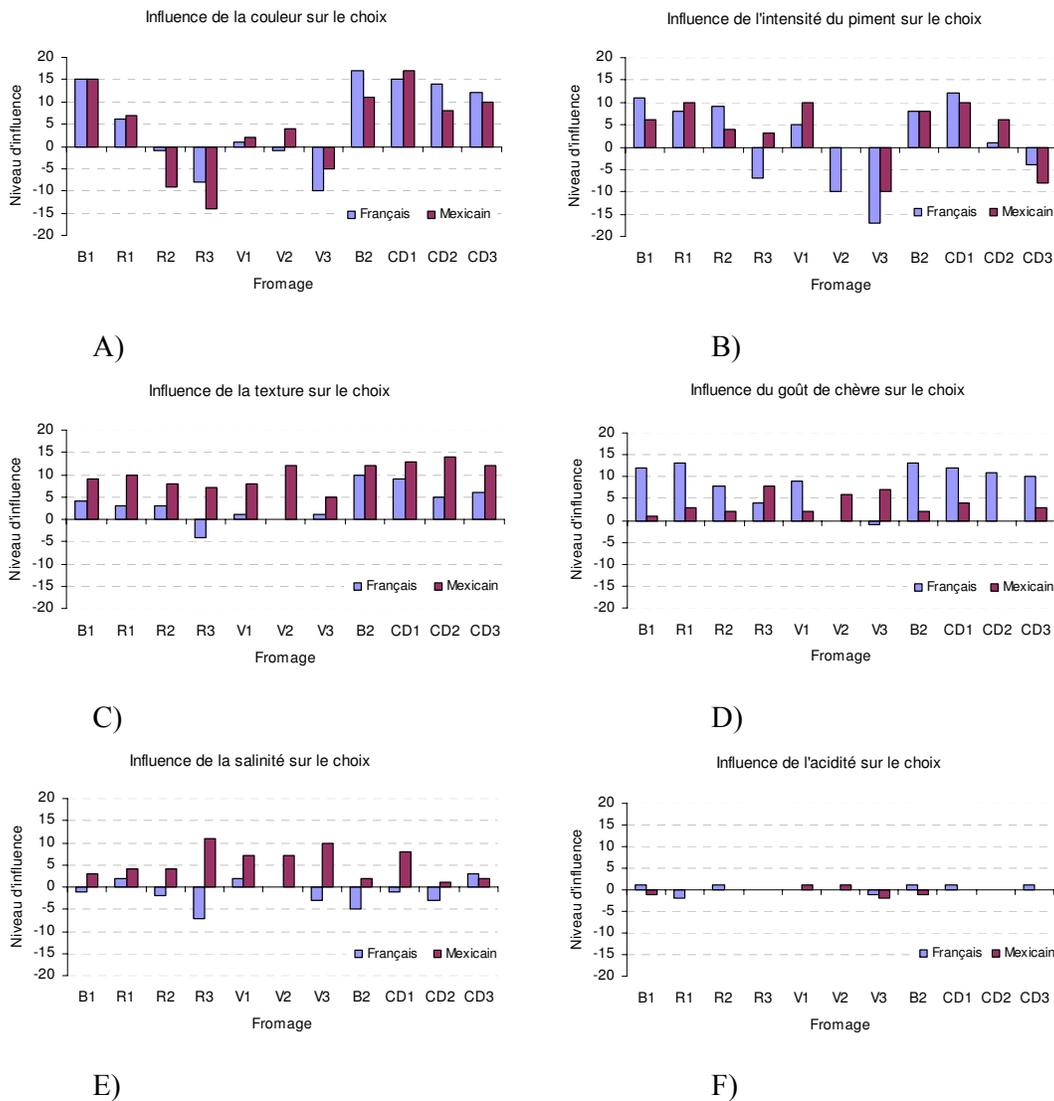
A) Jury Français



B) Jury Mexicain

**Figure 18.** Relation entre les descripteurs de qualité et les fromages préférés par le jury Français (A) et le jury Mexicain (B)

L'influence de chaque descripteur sur le choix des fromages pimentés a aussi été confirmée par les résultats de la figure 19.



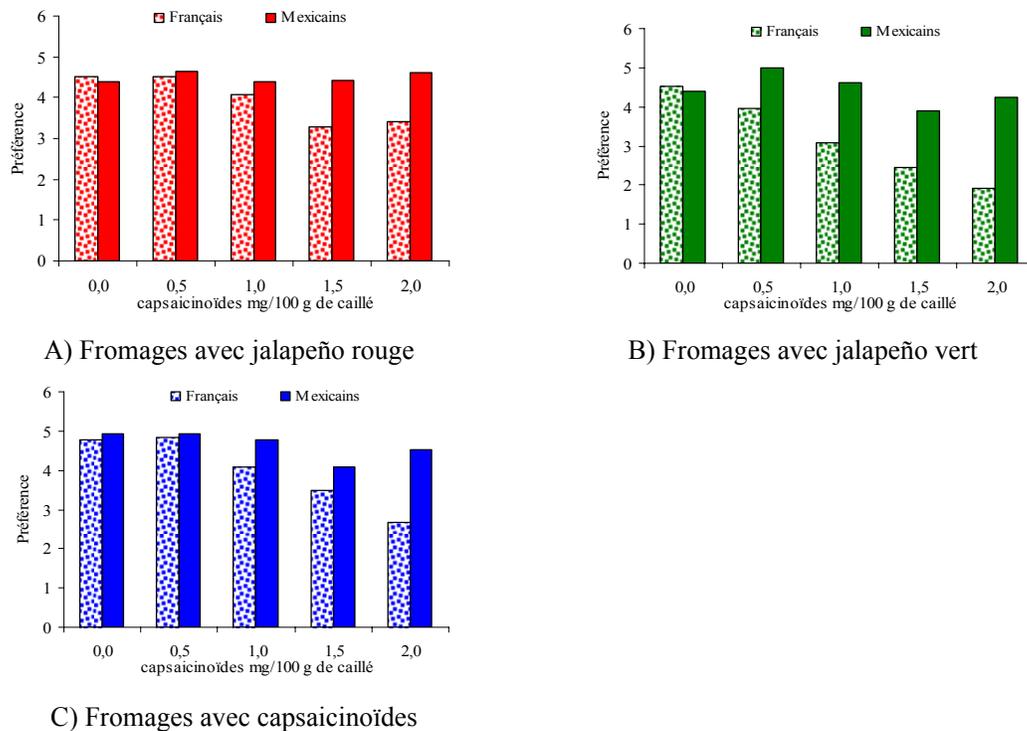
**Figure 19.** Influence de chaque descripteur sur le choix des fromages pimentés pour le jury Français et Mexicain : A) couleur, B) intensité du piment, C) texture, D) « goût de chèvre », E) salinité, F) acidité. Une valeur positive indique une influence favorable du descripteur sur le choix, une valeur négative montre une influence défavorable et la valeur zéro n'a pas d'influence sur le choix d'un fromage. B = blancs (témoin), R = fromages avec piment rouge, V = piment vert et CD = capsaïcinoïdes

D'après la figure 19A, on voit que l'influence négative augmente avec l'intensification de la couleur rouge ou verte du fromage (R2, R3, V2, V3). Les fromages de couleur blanche (sans piment : B1, B2 ou avec Capsaïcinoïdes : CD1, CD2, CD3) et légèrement rouges (peu pimentés avec piment jalapeño rouge, R1) ou vert (V1) ont une influence

positive sur la préférence des fromages. Lorsque l'intensité de piment augmente, l'influence est négative (Figure 19B). La texture (Figure 19 C) et le « goût de chèvre » (Figure 19D), en général ont eu une influence positive sur la préférence des fromages. Une quantité égale de sel a été ajoutée aux fromages. D'après la figure 19E, on note que pour le jury Mexicain, cette quantité semble adéquate, mais le jury français a considéré que certains fromages étaient légèrement salés, surtout les plus pimentés. L'acidité ne semble pas avoir influencé la préférence des juges pour les fromages (Figure 19F).

### 2.2.1 Préférence par groupe de fromages

Nous avons donc vu plus haut que les descripteurs couleur et intensité de piment influencent le choix des juges. Nous avons ensuite cherché à comprendre, plus précisément, en analysant les notes de préférence des juges pour les fromages, comment la couleur et l'intensité du piment augmentent ou diminuent la préférence des juges. Pour cela, les fromages sont divisés en trois groupes : avec jalapeño rouge, vert et capsaïcinoïdes. La figure 20 montre les moyennes des préférences des jurys par concentration de capsaïcinoïdes et par source du brûlant.



**Figure 20.** Moyennes des préférences par groupe des fromages et par jury : A) Fromages avec jalapeño rouge ; B) Fromages avec jalapeño vert ; et C) fromages pimentés avec capsaïcinoïdes.

La préférence des sujets Français est très influencée par la concentration des capsaïcinoïdes, elle diminue en augmentant la concentration, indépendamment de la source du caractère brûlant ; mais leur l'appréciation pour les fromages peu pimentés (0,5 mg) avec du jalapeño rouge (Figure 20A), et avec capsaïcinoïdes (Figure 20C) est comparable à celle pour les fromages sans piment (0,0 mg) ou « goût naturel ». Les fromages avec du piment jalapeño vert sont les moins appréciés (Figure 20B).

Les sujets Mexicains montrent une différence d'appréciation moins marquée que les sujets Français entre les diverses concentrations de capsaïcinoïdes des fromages. Une légère préférence pour les fromages avec du piment jalapeño vert est observée. En général, les fromages pimentés avec la concentration de capsaïcinoïdes la plus basse, sont préférés, suivis par les moyennement pimentés et les fromages sans piment (« goût naturel ») et finalement les plus pimentés (Figure 20 ABC).

### 2.2.2 Préférence par concentration des capsaïcinoïdes et par couleur

Afin de déterminer les groupes de fromages préférés selon la concentration de capsaïcinoïdes, indépendamment de la couleur du fromage (piment rouge, vert ou capsaïcinoïdes), les fromages sont regroupés par concentration de capsaïcinoïdes (0,0 ; 0,5 ; 1,0 et 1,5 mg). Les préférences du jury Français par concentration de capsaïcinoïdes sont présentées tableau 28.

**Tableau 28.** Classement des groupes non significativement différents pour le jury Français, pour la variable piment (tests de Fisher et Duncan)

Modalités	Cap (mg)	Moyenne	Regroupements
P0	0,0	4,653	A
P1	0,5	4,435	A
P2	1,0	3,750	B
P3	1,5	2,944	C

Cap : concentration de capsaïcinoïdes mg/100 g de caillé. La même lettre indique que les moyennes ne sont pas significativement différentes ( $p < 0,05$ )

Le jury Français apprécie également les fromages sans piment (P0) et peu pimentés (P1), les moins appréciés sont les moyennement pimentés (P2) et les très pimentés (P3).

L'appréciation des fromages par rapport à leur concentration en capsaïcinoïdes, pour le jury Mexicain est présentée tableau 29.

**Tableau 29.** Classement des groupes non significativement différents pour le jury Mexicain, pour la variable piment (tests de Fisher et Duncan)

Modalités	Cap (mg)	Moyenne	Regroupements
P0	0,0	4,671	A
P1	0,5	4,867	A
P2	1,0	4,600	A
P3	1,5	4,257	B

Cap : concentration de capsaïcinoïdes mg/100 g de caillé. La même lettre indique que les moyennes ne sont pas significativement différentes ( $p < 0,05$ )

La préférence du jury Mexicain pour les fromages sans piment, peu et moyennement pimentés est comparable. Les fromages les moins préférés sont les plus pimentés.

Dans le cas de la couleur, l'appréciation des fromages pour les sujets Français est présentée sur le tableau 30, sans considérer leur concentration en capsaïcinoïdes.

**Tableau 30.** Jury Français : classement des groupes non significativement différents, pour la variable couleur (tests de Fisher et Duncan)

Fromages	Moyenne	Regroupements
Blancs	4,289	A
Rouges	3,981	A
Verts	3,102	B

La même lettre indique que les moyennes ne sont pas significativement différentes ( $p < 0,05$ )

L'aspect des fromages est pris en compte par le jury Français. Ce jury préfère les fromages blancs et rouges et les fromages verts sont les moins appréciés.

L'appréciation des fromages pour le jury Mexicain, par rapport à leur couleur est présentée Tableau 31.

**Tableau 31.** Jury Mexicain : classement des groupes non significativement différents, pour la variable couleur (tests de Fisher et Duncan)

<b>Fromages</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Regroupements</b>
Blancs	4,663	A
Rouges	4,514	A
Verts	4,552	A

La même lettre indique que les moyennes ne sont pas significativement différentes ( $p < 0,05$ )

Les sujets Mexicains ne montrent pas des préférences entre les fromages pimentés par rapport à leur couleur. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus à travers un questionnaire appliqué aux Mexicains, où 30 % des individus ont indiqué préférer le piment vert, mais les autres ont dit être indifférents au type de piment utilisé.

### 2.3 Corrélation entre les descripteurs et la préférence des jurys

La corrélation entre l'influence des six descripteurs proposés (couleur, intensité du piment, texture, goût de chèvre, salinité, acidité), ainsi que deux composés ajoutés (concentration de capsaïcinoïdes et matière grasse) et la préférence globale des sujets, est présentée tableau 32 pour le jury Français.

**Tableau 32.** Corrélation entre les six descripteurs et deux composés ajoutés, et la préférence globale du jury Français

<b>Descripteur</b>	<b>Couleur</b>	<b>Texture</b>	<b>Int. du piment</b>	<b>Goût de chèvre</b>	<b>Salinité</b>	<b>Acidité</b>	<b>CAP</b>	<b>Matière grasse</b>
Couleur								
Texture	0,857							
Int. du piment	0,679	0,578						
Goût de chèvre	0,840	0,694	0,878					
Salinité	0,209	0,152	0,175	0,225				
Acidité	0,470	0,457	0,360	0,271	-0,142			
Cap	-0,641	-0,535	-0,788	-0,669	-0,100	-0,207		
Matière grasse	0,734	0,795	0,230	0,506	-0,035	0,459	-0,097	
<b>Préférence</b>	<b>0,753</b>	<b>0,636</b>	<b>0,982</b>	<b>0,926</b>	<b>0,148</b>	<b>0,371</b>	<b>-0,819</b>	<b>0,316</b>

L'intensité du piment est la caractéristique qui a le plus influencé la préférence des sujets Français, suivie par le « goût de chèvre », mais la couleur et la texture (aspect) ont été aussi très considérées. La concentration des capsaïcinoïdes ajoutée aux fromages

(CAP) est corrélée négativement avec la préférence globale des sujets. La salinité et l'acidité ont été les deux descripteurs influençant le moins la préférence du jury Français, de même que la matière grasse ajoutée (fromages avec capsaïcinoïdes).

La corrélation entre l'influence des six descripteurs, ainsi que deux composés ajoutés et la préférence globale du jury Mexicain est montrée tableau 33.

**Tableau 33.** Corrélation entre les six descripteurs et deux composés ajoutés, et la préférence globale du jury Mexicain

Descripteur	Couleur	Texture	Int. du piment	Goût de chèvre	Salinité	Acidité	CAP	Matière grasse
Couleur								
Texture	0,716							
Int. du piment	0,312	0,309						
Goût de chèvre	-0,556	-0,473	-0,477					
Salinité	-0,550	-0,601	-0,194	0,866				
Acidité	-0,019	0,364	0,379	-0,094	-0,009			
CAP	-0,635	-0,284	-0,753	0,591	0,404	0,028		
Matière grasse	0,587	0,771	0,052	-0,375	-0,491	-0,062	-0,097	
<b>Préférence</b>	<b>0,400</b>	<b>0,475</b>	<b>0,894</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,218</b>	<b>0,376</b>	<b>-0,719</b>	<b>0,349</b>

Pour le jury Mexicain, l'intensité du piment a été l'attribut le plus considéré pour déterminer leur préférence. La couleur et la texture ont beaucoup moins influencé la préférence des sujets Mexicains, suivent l'acidité et la quantité de matière grasse ajoutée. La concentration de capsaïcinoïdes est corrélée négativement avec la préférence et le « goût de chèvre » a eu une influence négative sur l'appréciation des fromages.

Ces résultats montrent que le jury Français considère divers facteurs dans l'appréciation des fromages alors que les sujets Mexicains ont basé leur choix sur la caractéristique la plus détectable (intensité du piment).

## 2.4 Différences de préférence entre le jury Français et le jury Mexicain

Les différences de préférence entre les jurys Français et Mexicain par type de fromage, ont été évaluées en utilisant le test t-student ( $\alpha = 0,05$ ). Les résultats constituent le Tableau 34, avec les fromages des trois séances par concentration de capsaïcinoïdes.

**Tableau 34.** Différence de préférence entre les jurys Français (F) et Mexicain (M) (seuil de 0,05)

Éch.	Caps. mg/100g	N	Préférence Français	Préférence Mexicain	Valeur t	Valeur P	Différence
B	0,0	36	4.5 <sup>a</sup>	4.4 <sup>a</sup>	0.453	0.652	Non
Pr1	0,5	36	4.5 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	0.453	0.652	Non
Pr2	1,0	36	4.1 <sup>a</sup>	4.4 <sup>a</sup>	-1.246	0.217	Non
Pr3	1,5	24	3.3 <sup>a</sup>	4.4 <sup>b</sup>	-3.132	0.003	Oui
Pr4	2,0	12	2.7 <sup>a</sup>	4.5 <sup>b</sup>	-3.550	0.002	Oui
Pv1	0,5	36	3.9 <sup>a</sup>	5.0 <sup>b</sup>	3.556	0.001	Oui
Pv2	1,0	36	3.1 <sup>a</sup>	4.6 <sup>b</sup>	5.671	0.000	Oui
Pv3	1,5	24	2.5 <sup>a</sup>	3.9 <sup>b</sup>	-3.697	0.001	Oui
Pv4	2,0	12	1.9 <sup>a</sup>	4.2 <sup>b</sup>	-3.798	0.001	Oui
Bc	0,0	36	4.8 <sup>a</sup>	4.9 <sup>a</sup>	-0.630	0.531	Non
CD1	0,5	36	4.8 <sup>a</sup>	4.9 <sup>a</sup>	-0.483	0.630	Non
CD2	1,0	36	4.1 <sup>a</sup>	4.8 <sup>b</sup>	-2.677	0.009	Oui
CD3	1,5	24	3.5 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>	-1.486	0.144	Non
CD4	2,0	12	3.4 <sup>a</sup>	4.6 <sup>b</sup>	-2.463	0.022	Non

La même lettre dans la ligne indique que les moyennes de préférence des jurys Français et Mexicain pour ce type de fromage ne sont pas significativement différentes ( $p < 0,05$ )

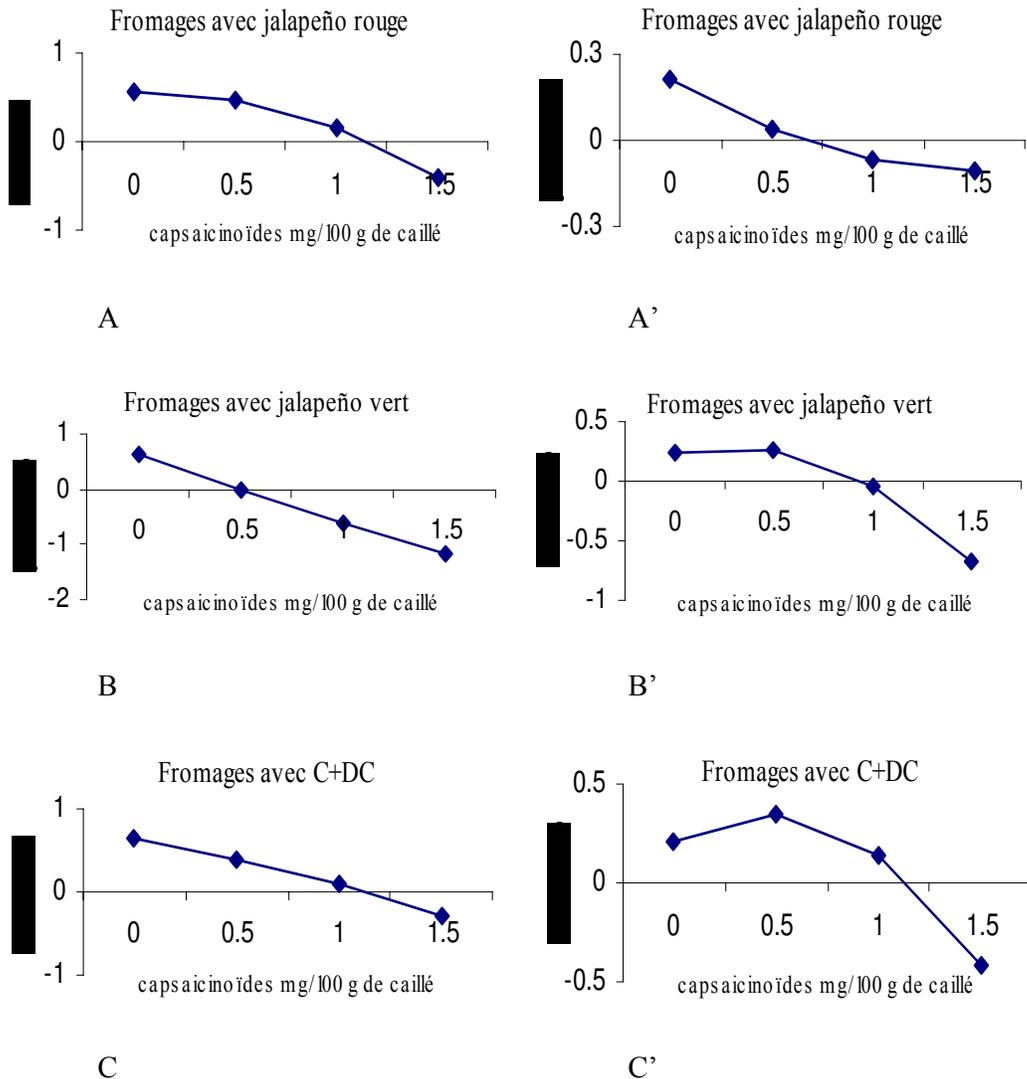
Les fromages dont les moyennes de préférence ne sont pas significativement différentes entre Français et Mexicains sont les fromages sans piment (B et Bc), les fromages peu et moyennement pimentés avec jalapeño rouge (Pr1 et Pr2) et avec capsacinoïdes (CD1 et CD3). Les différences de préférence pour les jurys ont été pour les fromages plus pimentés avec jalapeño rouge (Pr3 et Pr4) et avec capsacinoïdes (CD2 et CD4) et les fromages pimentés avec jalapeño vert (Pv1, Pv2, Pv3 et Pv4). On observe une fois de plus que les différences de préférence entre les deux nationalités a été la concentration de piment et spécifiquement les fromages pimentés avec jalapeño vert, qui ont été bien appréciés par les sujets Mexicain mais non par les Français.

## 2.5 Concentration optimale de capsacinoïdes préférée par les jurys

La concentration optimale de capsacinoïdes préférée par les jurys, a été déterminée à partir des courbes des moyennes de préférence centrées réduites, en ajustant une équation quadratique, comme présentées sur la figure 21.

1. Jury Français

2. Jury Mexicain



**Figure 21.** Courbes quadratiques ajustées aux moyennes de préférence normalisées des jurys Français (1) et Mexicain (2), pour les fromages pimentés avec jalapeño rouge (A-A'), jalapeño vert (B-B') et capsaïcinoïdes : C+DC (C-C')

On utilise les moyennes centrées réduites car les variabilités des réponses des juges pour un même stimulus, étant différentes, il est nécessaire de centrer (soustraire la moyenne) et de réduire (divisé par l'écart-type).

L'équation quadratique a été adaptée aux préférences des sujets Mexicains pour les fromages pimentés avec jalapeño vert et capsaïcinoïdes ; mais non pour les fromages avec jalapeño rouge (préférence linéaire avec pente négative). La concentration

optimale de capsaïcinoïdes pour le jury Mexicain a été de 0,44 mg pour les fromages avec capsaïcinoïdes et de 0,29 mg pour les pimentés avec jalapeño vert, pour 100 g de caillé. La préférence des fromages pimentés avec jalapeño rouge, semble diminuer en augmentant la concentration de capsaïcinoïdes.

La préférence du jury Français, diminue en augmentant la concentration de capsaïcinoïdes, indépendamment de la source du « caractère brûlant », alors dans ce cas, la détermination d'un optimum n'est pas possible. Pour le cas des fromages pimentés avec jalapeño rouge, les sujets Mexicains ont une préférence comparable à celle des sujets Français.

## **2.6 Influence et corrélation de l'intensité de la couleur rouge sur la perception du caractère brûlant**

Des recherches ont montré que la couleur peut influencer la façon dont on évalue les aliments, les boissons et divers autres produits alimentaires (Christensen, 1983, Lavin et Lawless, 1998, Krajayklang *et al.*, 2000, Carpenter *et al.*, 2001, Zellner et Durlach, 2002, Guéguen, 2003, Meléndez *et al.*, 2005).

Cette étude a été dérivée de l'évaluation des préférences des deux jurys pour les fromages pimentés, où nous avons trouvé certaines différences d'appréciation par rapport à la couleur. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de l'intensité de la couleur rouge (donnée par le piment jalapeño rouge et intensifiée avec du paprika) sur la perception du caractère brûlant de 8 fromages et l'impact de la culture culinaire sur cette évaluation. Les préférences des fromages par les jurys sont évaluées par rapport à trois descripteurs proposés : couleur, goût et intensité du piment ; en utilisant l'échelle hédonique à 6 niveaux décrite (section 1.3.2). Les résultats sont analysés dans l'ordre suivant : premièrement grâce à l'ANOVA, la différence éventuelle d'appréciation entre les fromages a été déterminée, puis les moyennes d'appréciation sont présentées sur histogrammes et l'ACP a été utilisée afin de mettre en évidence la préférence des fromages selon la couleur, le goût et l'intensité du piment. Les 8 fromages proposés sont codés de C1 à C5 indiquant l'intensité du rouge et de P0 à P3 la concentration de capsaïcinoïdes (détails, tableau 23, chapitre II).

### 2.6.1 Appréciation des fromages pimentés selon l'intensité de la couleur rouge

Selon l'intensité de la couleur, le jury Français a montré une différence de préférence significative ( $p < 0,10$ ) entre les 8 fromages pimentés et intensifiés en rouge proposés (Tableau 35).

**Tableau 35.** Différence de préférence du jury Français selon l'intensité de la couleur rouge des fromages pimentés

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Modèle	7	17.823	2.546	1.908	0.078
Résidus	88	117.417	1.334		
Total	95	135.240			

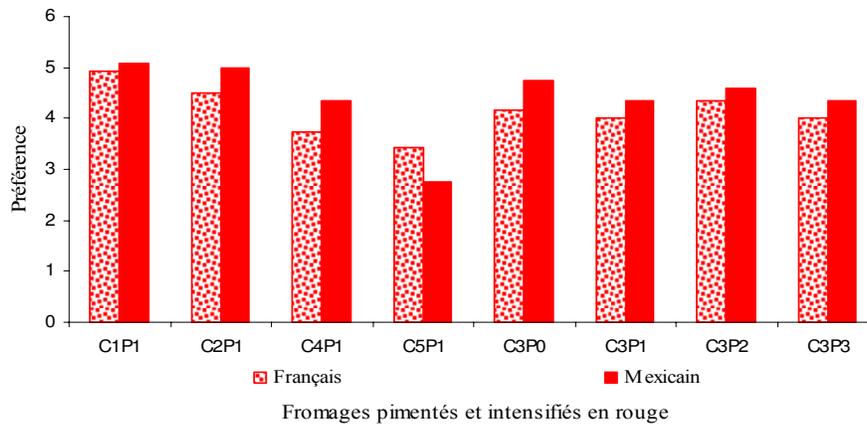
Le jury Mexicain montre des préférences très marquées ( $p < 0,05$ ), selon l'intensité de la couleur, entre les 8 fromages pimentés et intensifiés en rouge (Tableau 36).

**Tableau 36.** Différence de préférence du jury Mexicain selon l'intensité de la couleur rouge des fromages pimentés

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Modèle	7	44.625	6.375	6.983	< 0,0001
Résidus	88	80.333	0.913		
Total	95	124.958			

Les sujets Français acceptent une plus grande gamme d'intensité du rouge dans les fromages pimentés que les sujets Mexicains.

Les échantillons proposés aux jurys ont une différence visuelle marquée de l'intensité du rouge (Figure 14, chapitre II). La moyenne de préférence des fromages par rapport à leur couleur, pour les deux jurys, est présentée figure 22.

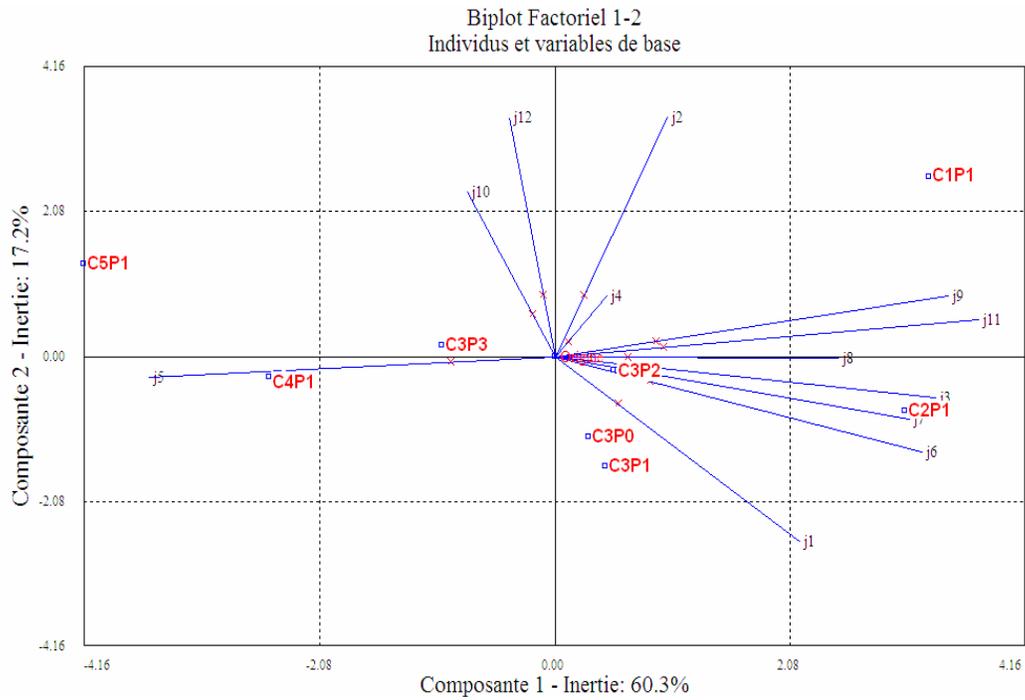


**Figure 22.** Moyennes de préférence des fromages pimentés selon leur intensité du rouge, données par les jurys Français et Mexicain. C1 à C5 indiquent l'intensité du rouge et P0 à P3 la concentration de capsaïcinoïdes

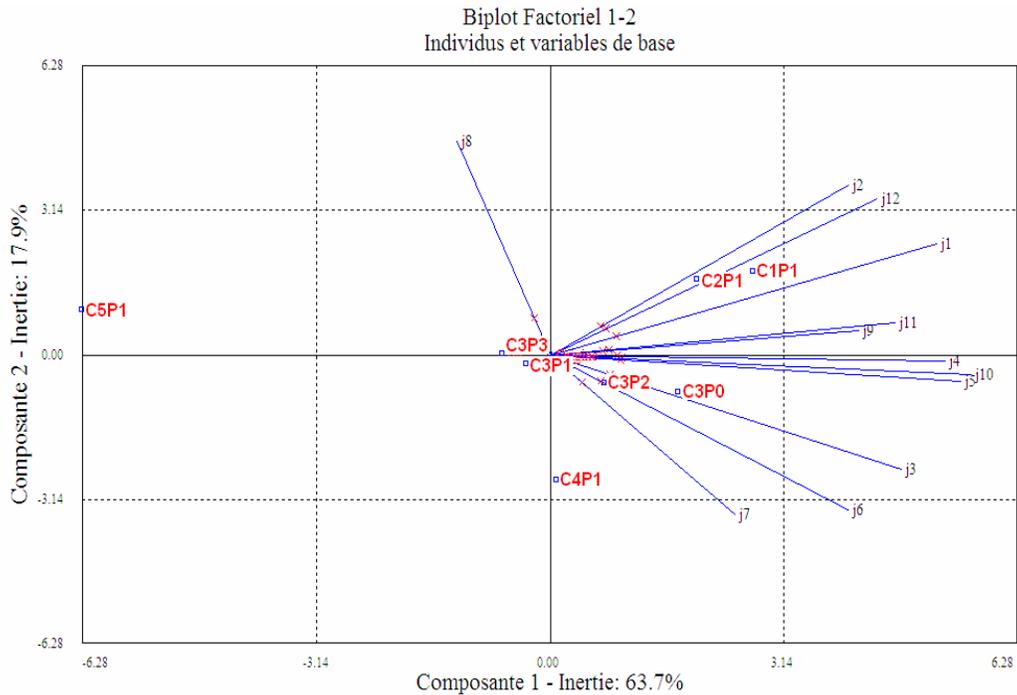
Les sujets des deux jurys ont des préférences semblables selon l'intensité du rouge, leur appréciation diminue en augmentant la couleur, indépendamment de la concentration de capsaïcinoïdes.

La figure 23 (ACP) montre les préférences des sujets Français (A) et Mexicains (B) selon la couleur des fromages pimentés.

L'axe 1 oppose les fromages préférés à ceux moins appréciés selon leur couleur, et le comportement des sujets envers ces fromages. L'ACP a produit 2 composantes principales ayant une valeur propre supérieure à 1,0 pour le jury Français et Mexicain, qui expliquent respectivement 77% et 81,6% de la variance de la préférence des sujets pour les fromages. La figure 23AB montre le degré de corrélation entre les deux composantes principales et les variables.



A) Jury Français



B) Jury Mexicain

**Figure 23.** Appréciation des fromages pimentés par les sujets ( $j_1$  à  $j_{12}$ ) Français (A) et Mexicains (B), selon leur couleur, composantes 1 et 2. C1 à C5 indiquent l'intensité du rouge et P0 à P3 la concentration de capsaïcinoïdes

Les sujets Français montrent une gamme de préférence très diversifiée selon la couleur des fromages. Mais les fromages préférés (C1P1, C2P1, C3P2, C3P0 et C3P1) correspondent aux fromages peu et moyennement colorés, sans piment (P0) peu (P1) et moyennement pimentés (P2) ; les fromages les moins appréciés : (C3P3, C4P1 et C5P1) sont les plus colorés et peu (P1) et les plus pimentés (P3). Les fromages avec une intensité de couleur C3, correspondent généralement à ceux préférés, mais la concentration de piment (P3) a provoquée une diminution de l'appréciation pour les fromages C3P3.

La préférence des sujets Mexicains est généralisée. Ils préfèrent les fromages peu et moyennement colorés et sans piment et peu et moyennement pimentés (C1P1, C2P1, C3P0 et C3P2). Les fromages peu appréciés, mais très proches de la moyenne sont les moyennement colorés et les peu et plus pimentés (C3P1, C3P3 et C4P1). Le fromage le moins apprécié est le plus coloré (C5P1). La préférence des sujets Mexicains a montré une classification un peu disparate, les quatre fromages avec la même intensité de rouge (C3) sont appréciés différemment, peut être à cause de la différente concentration de piment, mais P0 et P2 ont été préférés à P1 et P3. Diverses raisons ont pu influencer cette classification ; il est possible que la quantité d'échantillons testés ait généré une éventuelle désensibilisation ou que la différente concentration de capsaïcinoïdes ait été masquée derrière la même intensité de couleur des fromages.

### 2.6.2 Appréciation des fromages pimentés et intensifiés en rouge selon leur goût

Le jury Français a montré des différences significatives ( $p < 0,05$ ) de préférence pour les fromages intensifiés en rouge, selon leur goût (Tableau 37).

**Tableau 37.** Différence de préférence du jury Français, par rapport au goût des fromages intensifiés en rouge

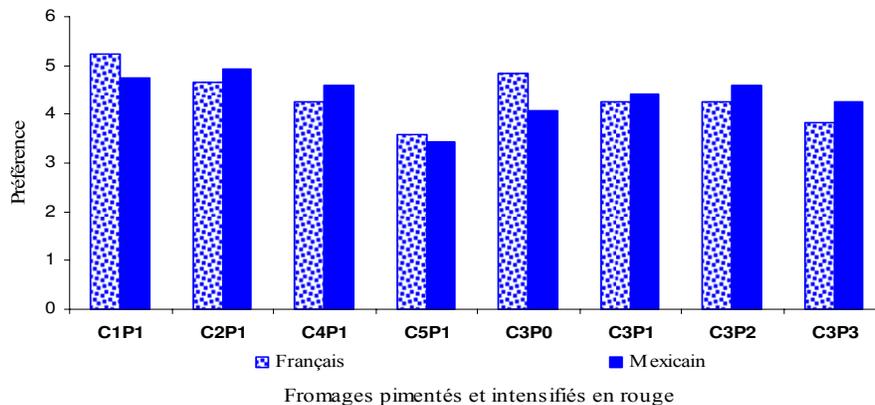
Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Modèle	7	24,323	3,475	3,123	0,005
Résidus	88	97,917	1,113		
Total	95	122,240			

Le jury Mexicain aussi montre des différences significatives ( $p < 0,05$ ) de préférence pour les fromages pimentés et intensifiés en rouge (Tableau 38).

**Tableau 38.** Différences de préférence du jury Mexicain, par rapport au goût des fromages pimentés et intensifiés en rouge

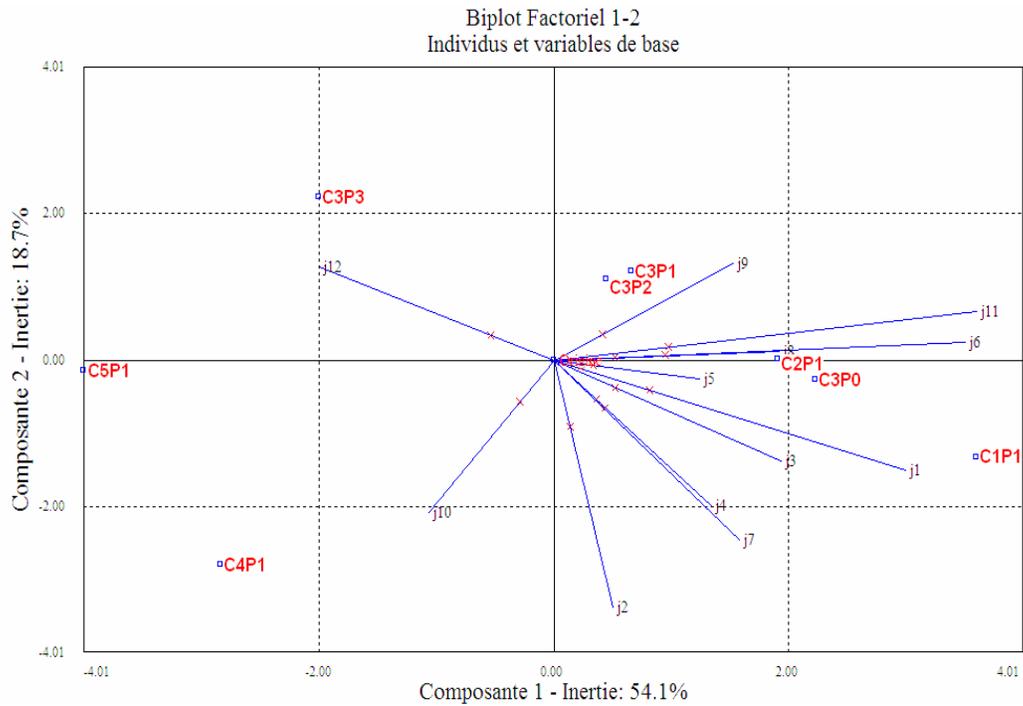
Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Modèle	7	18,500	2,643	2,704	0,014
Résidus	88	86,000	0,977		
Total	95	104,500			

La préférence moyenne des fromages pimentés et intensifiés en rouge, selon leur goût, est présentée figure 24, pour les deux jurys.

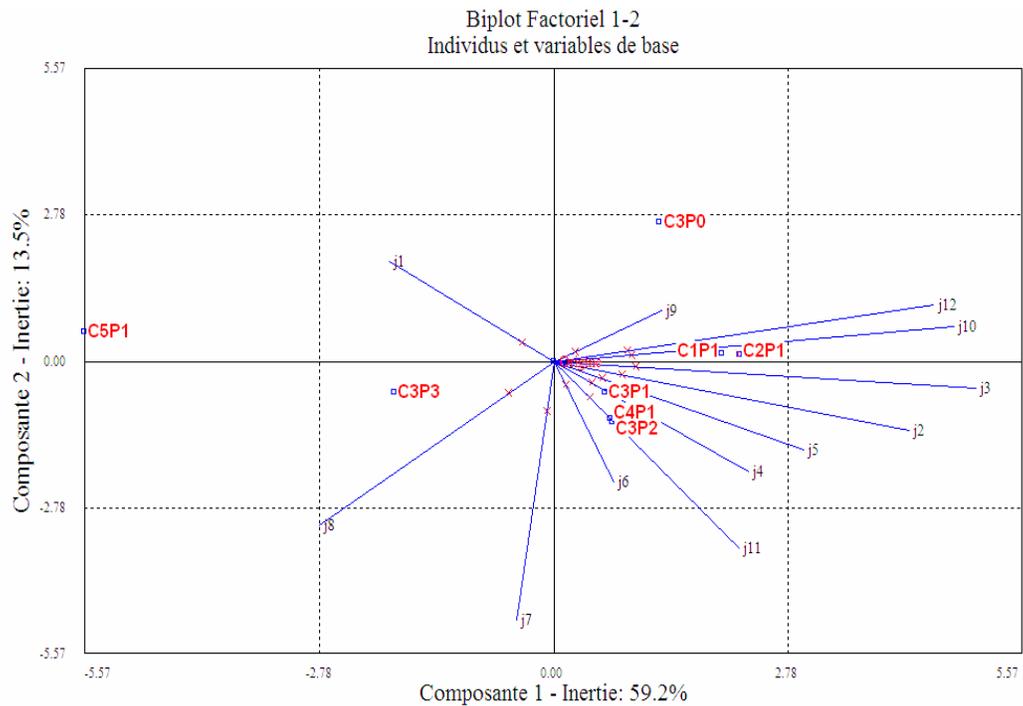


**Figure 24.** Appréciation des fromages pimentés et intensifiés en rouge, par rapport à leur goût, pour les jurys Français et Mexicain. C1 à C5 indiquent une intensité croissante du rouge et P0 à P3 une concentration croissante de capsaïcinoïdes

Pour les deux jurys, l'appréciation des fromages pimentés et intensifiés en rouge, selon leur goût, diminue quand on augmente l'intensité du rouge. Cette préférence est comparable à celle montrée par rapport à la couleur. Les préférences des sujets Français et Mexicains sont montrées figure 25. L'ACP a produit pour les jurys Français et Mexicain, respectivement 3 et 2 composantes principales ayant une valeur propre supérieure à 1, qui expliquent 83,3% et 72,7% de la variance de la préférence des sujets pour les fromages. La figure 25 montre le degré de corrélation entre les deux premières composantes et ces variables.



A) Jury Français



B) Jury Mexicain

**Figure 25.** Appréciation des fromages pimentés par les sujets ( $j_1$  à  $j_{12}$ ) Français (A) et Mexicains (B), selon leur goût, composantes 1 et 2. C1 à C5 indiquent l'intensité du rouge et P0 à P3 la concentration de capsaïcinoïdes

Par rapport au goût des fromages pimentés et intensifiés en rouge, les sujets Français, comme pour la couleur, préfèrent les fromages peu et moyennement colorés et sans piment et peu et moyennement pimentés (C1P1, C2P1, C3P0, C3P1, C3P2). Les moins appréciés continuent à être les plus colorés et plus pimentés (C4P1, C5P1 et C3P3).

Les sujets Mexicains, préfèrent les fromages peu et moyennement colorés et pimentés (C1P1, C2P1, C4P1, C3P0, C3P1, C3P2). Les moins appréciés sont les plus colorés et plus pimentés (C5P1 et C3P3).

### 2.6.3 Appréciation des fromages pimentés et intensifiés en rouge selon l'intensité du piment

Les sujets Français ont montré des préférences ( $p < 0,05$ ) entre fromages pimentés et intensifiés en rouge, selon l'intensité du piment (Tableau 39).

**Tableau 39.** Différences de préférence du jury Français pour les fromages pimentés et intensifiés en rouge selon l'intensité du piment

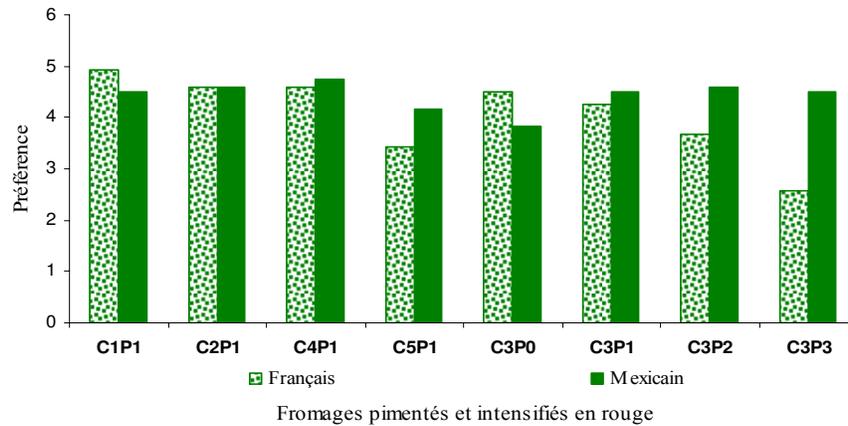
Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Modèle	7	51,125	7,304	6,801	< 0,0001
Résidus	88	94,500	1,074		
Total	95	145,625			

Les sujets Mexicains n'ont pas de préférences significativement différentes ( $p < 0,05$ ) (Tableau 40) par rapport à l'intensité du piment des fromages pimentés et intensifiés en rouge, ce qui montre que les Mexicains sont habitués à consommer différentes concentrations de piment.

**Tableau 40.** Différences de préférence du jury Mexicain entre les fromages pimentés et intensifiés en rouge en fonction de l'intensité du piment

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Modèle	7	7,073	1,010	0,903	0,508
Résidus	88	98,417	1,118		
Total	95	105,490			

Les moyennes de préférence des deux jurys selon l'intensité du piment des fromages pimentés et intensifiés en rouge, sont présentées figure 26.



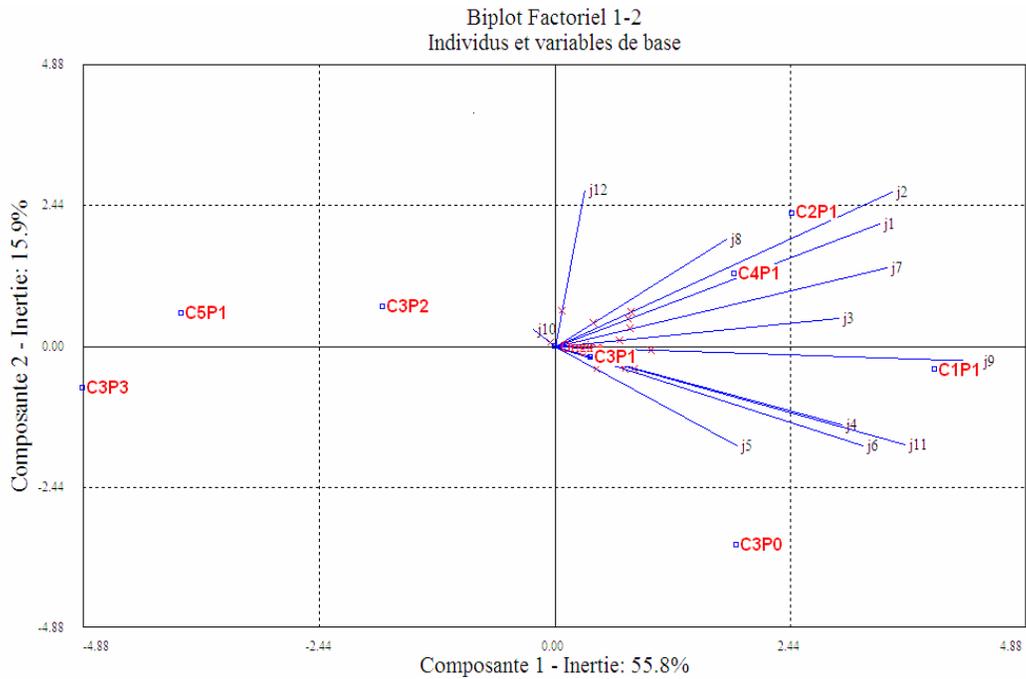
**Figure 26.** Appréciation de l'intensité du piment des fromages pimentés et intensifiés en rouge pour les jurys Français et Mexicain. C1 à C5 indiquent une intensité croissante du rouge et P0 à P3 une concentration croissante de capsaïcinoïdes

La préférence du jury Français diminue quand on augmente la concentration de capsaïcinoïdes (P0 à P3), mais on observe aussi l'influence de la couleur plus foncée sur l'appréciation des fromages (C5).

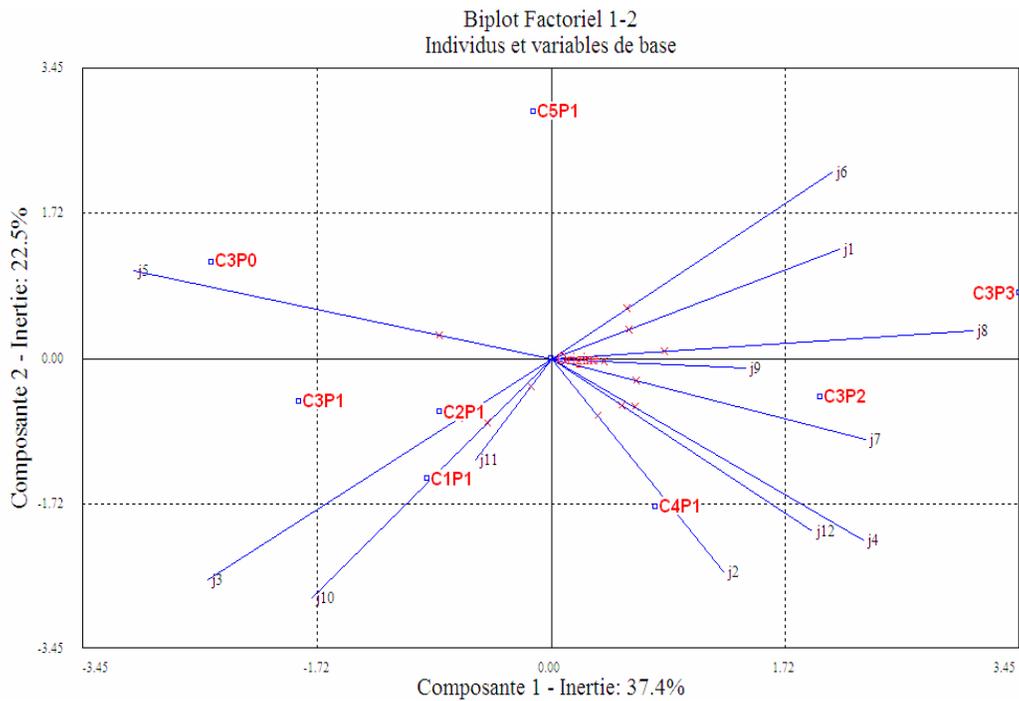
Le jury Mexicain apprécie similairement la plupart des fromages. Cependant, les fromages colorés sans piment (C3P0) et le très coloré et peu pimenté (C5P1) sont les moins préférés.

Les fromages préférés des sujets Français et Mexicains, par rapport à l'intensité du piment, ont été déterminés par l'ACP, les résultats sont présentés Figure 27.

L'ACP a produit, pour les sujets Français et Mexicains, 4 composantes principales ayant une valeur propre supérieure à 1,0. Ces composantes expliquent 94,2% et 88,4% de la variance de la préférence des sujets pour les échantillons. La figure 27 montre les deux premières composantes.



A) Jury Français



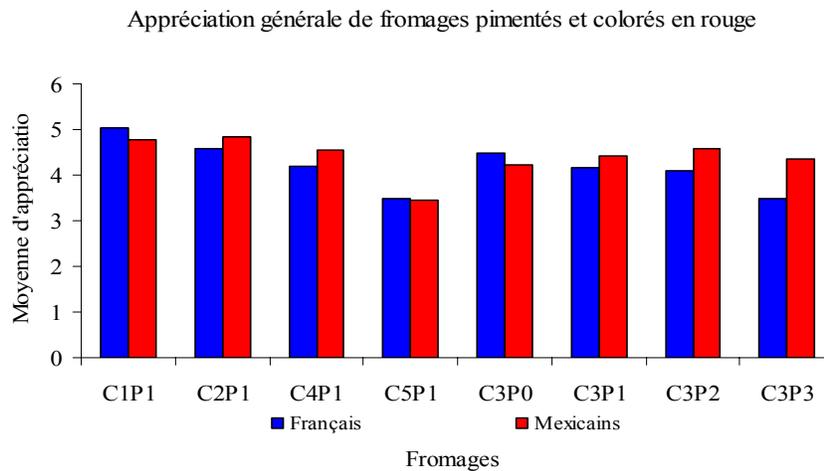
B) Jury Mexicain

**Figure 27.** Appréciation des fromages pimentés par les sujets ( $j_1$  à  $j_{12}$ ) Français (A) et Mexicains (B), selon leur intensité du piment, composantes 1 et 2. C1 à C5 indiquent l'intensité du rouge et P0 à P3 la concentration de capsaïcinoïdes

Les fromages préférés par les sujets Français, selon l'intensité du piment, sont les fromages sans piment et peu pimentés ainsi que peu et moyennement colorés (C1P1, C2P1, C4P1, C3P0 et C3P1). Les fromages les moins appréciés sont soit les plus pimentés ou les plus colorés (C3P2, C5P1 et C3P3).

Les sujets Mexicains préfèrent les fromages avec les diverses concentrations de piment, mais les fromages plus colorés (C5P1) et colorés sans piment (C3P0) restent les moins appréciés.

La figure 28 présente l'appréciation moyenne des fromages par les jurys Français et Mexicain, en considérant les notes de préférence des trois descripteurs.



**Figure 28.** Appréciation des fromages pimentés, selon les trois descripteurs (couleur, goût et intensité du piment), jurys Français et Mexicain. C1 à C5 indiquent une intensité croissante de la couleur et P0 à P3 une concentration croissante de capsaïcinoïdes

La préférence des jurys Français et Mexicain diminue quand on augmente l'intensité du rouge (C1 > C5) ; pour le cas des Français, aussi elle diminue quand on augmente la concentration de capsaïcinoïdes (P0 > P3). Les sujets Mexicains préfèrent les fromages pimentés à ceux très colorés, mais n'apprécient pas les fromages colorés sans piment.

## Discussion

Les sujets Français ont bien apprécié les fromages sans piment et peu pimentés (0,5 mg de capsaïcinoïdes/100 g de caillé) avec piment jalapeño rouge et capsaïcinoïdes. Leur préférence a été aussi influencée par la couleur ; les fromages blancs (sans piment et

avec capsaïcinoïdes) et les rouges (avec jalapeño rouge) ont été préférés. Les fromages les moins préférés ont été les plus pimentés et les pimentés avec jalapeño vert (fromages verts). Les préférences des sujets Français ont été semblables, peut-être en raison du fait que les juges proviennent de la même région et que leurs habitudes alimentaires sont comparables.

Les préférences du jury Mexicain ont été plus diversifiées, pendant qu'un sous-groupe de sujets préfère les fromages sans piment et peu pimentés (0,5 mg de CAP) avec jalapeño rouge et avec capsaïcinoïdes (C+DC), préférences proches de celles des sujets Français, si bien qu'au début nous avons pensé que ce sous-groupe correspondait à des sujets qui vivent en France depuis plus longtemps et qui ont peut-être diminué ou supprimé leur consommation de piment ; mais par un questionnaire appliqué aux sujets Mexicains qui ont participé aux séances d'évaluation sensorielle, nous nous sommes rendu compte que les habitudes alimentaires des Mexicains sont plus diversifiées et que la consommation de piment varie entre les sujets indépendamment de leur séjour en France.

L'autre sous-groupe de Mexicains a préféré les fromages moyennement et plus pimentés avec jalapeño rouge et vert. Il a été observé une légère préférence pour les fromages pimentés avec jalapeño vert, qui n'est pas significative statistiquement par rapport aux autres couleurs, nous pensons que cela est lié à la différence que font les Mexicains entre le piment comme accompagnement de la nourriture (sauces), généralement le piment vert (maturité physiologique) et le piment ajouté aux bonbons, fruits, frites, pop corns, etc. qui est en général rouge (en poudre et en sauces spécialement préparées) ; mais selon le questionnaire appliqué, et bien que quelques sujets ont dit préférer les fromages avec piment vert, la plupart sont indifférents au type de piment utilisé.

Divers facteurs ont pu influencer la préférence des sujets Mexicains, notamment la diversité de régions d'origine des membres du jury, ce qui peut déterminer une différence marquée des habitudes culinaires ; la durée du séjour en France influence le changement des habitudes alimentaires (selon les réponses au questionnaire, 93% des sujets continuent à consommer pimenté, mais en quantité moindre), certains gardent les habitudes alimentaires du Mexique, alors que d'autres se sont rapidement adaptés à un changement de nourriture. Une autre remarque est que la quantité de piment

consommée au Mexique, bien quelle soit importante, varie grandement d'une région à l'autre, d'une famille à l'autre et entre membres de la même famille.

Les différences perçues entre les préférences des sujets Français et Mexicains ont porté sur leur appréciation pour les fromages moyennement et plus pimentés, en général, et spécifiquement pour ceux enrichis avec piment jalapeño vert. La concentration optimale de capsaïcinoïdes pour les sujets Français n'a pas été déterminée, car bien qu'ils acceptent les fromages peu pimentés, en général la préférence diminue quand l'intensité du piment augmente. La concentration optimale pour les sujets Mexicains est proche de 0,5 mg/100 g de caillé.

Les préférences alimentaires semblent être liées aux caractéristiques des sujets comme l'âge, le sexe, le poids, la recherche de nouvelles sensations ou goûts, la cuisine primaire dans laquelle le sujet a baigné. Cependant, des schémas des préférences alimentaires peuvent être identifiés entre les divers types d'aliments (Logue et Smith, 1986).

Les aspects culturels sont les facteurs les plus importants qui motivent l'industrie alimentaire internationale dans le but de produire des aliments pour l'exportation. Des recherches, qui ont été peu abordées, sont le rôle du caractère brûlant sur la préférence des aliments dans les différentes cultures (Prescott et Bell, 1995) ; par exemple, des études ont révélé, que les Mexicains trouvent les aliments sans piment fades (Rozin et Schiller, 1980).

Selon les résultats, il existe une corrélation entre l'intensité du rouge et l'appréciation des fromages pimentés, mais en général la préférence des sujets dépend des trois descripteurs analysés. Certaines contradictions d'appréciation ont été observées avec les fromages d'une même intensité de couleur et différentes concentrations de capsaïcinoïdes (C3P0, C3P1, C3P2 et C3P3), la préférence de C3P0 et C3P2 sur C3P1 et C3P3, mais l'influence de l'intensité du rouge sur le caractère brûlant n'est pas claire. En général, la préférence des fromages diminue quand on augmente l'intensité du rouge, indépendamment de la concentration de capsaïcinoïdes.

Une telle inconsistance des préférences, revenant à trouver plus agréable les concentrations 0 et 2 que la 1 est démontrée par quelques sujets qui ont participé à l'étude de Hernández et Lawless (1999), sur la détermination de la concentration

préférée de capsaïcine des sujets de deux nationalités : Etats-Uniens et Mexicains habitant aux États Unis, tolérants aux aliments pimentés, sur deux types d'aliment : un solide (riz style Mexicain) et un liquide (bouillon de poulet). Ces auteurs, en utilisant une échelle de concentrations et une méthode d'ajustement de la concentration préférée de capsaïcine, ont trouvé une moyenne de concentration préférée supérieure dans le cas du riz par opposition à la soupe ; ils ont considéré que cette différence est en partie expliquée par la présence d'huile dans le riz et la tendance lipophobique de la capsaïcine qui aurait pu être séquestrée par l'huile du riz.

Divers autres facteurs ont été analysés par ces auteurs comme influençant le comportement des sujets pour choisir les concentrations préférées de capsaïcine, comme le temps d'exposition, la stimulation répétée avec la capsaïcine qui peut augmenter ou diminuer la sensibilisation et désensibilisation de la langue. Ces auteurs ont trouvé une corrélation négative, mais non importante entre la concentration optimale de capsaïcine ajustée au goût des Mexicains, selon la durée de résidence aux États Unis ; et une corrélation positive, mais non significative, entre la concentration optimale de capsaïcine et la durée de consommation de produits pimentés pour les États-Uniens.

L'influence du pourcentage de matière grasse des aliments, sur la perception de la concentration de capsaïcine a été partiellement étudiée. Pour trois éléments de l'alimentation : l'eau, la sauce au fromage et la pâte d'amidon, Baron et Penfield (1996), ont conclu que les échantillons avec de l'eau ont été perçus comme plus intenses que les échantillons de fromage et d'amidon, à la même concentration de capsaïcine ; généralement l'augmentation du niveau de matière grasse a donné des scores moins intenses à une même concentration de capsaïcine ; et la température plus élevée a augmenté la vitesse de perception.

Deux aspects qui deviennent un problème dans l'estimation optimale de consommation de capsaïcine, sont la sensibilisation et la désensibilisation que cette molécule produit (Karrer et Bartoshuk, 1995, Prescott et Stevenson, 1996b). Une désensibilisation peut amener à surestimer la dose optimale et la sensibilisation peut conduire à la sous-estimer. La sensibilisation et la désensibilisation causées par la capsaïcine dépendent des intervalles des stimuli utilisés. La stimulation répétée avec la capsaïcine à des intervalles brefs (entre 30 secondes et 1,5 minute) produit des sensations de brûlure et une grande sensibilisation ; par contre, avec des intervalles plus grands d'inter-

stimulation (environ 5 minutes), on arrive à une diminution de la brûlure et à une désensibilisation (Green, 1989, Green, 1991). La désensibilisation peut aussi se produire avec une grande et unique dose de capsaïcine (Karrer et Bartoshuk, 1991).

## **Conclusion**

Les connaissances sur les différences culturelles des acceptations sensorielles, sont essentielles pour le développement de produits à succès pour les marchés internationaux.

Le piment, additif alimentaire répandu à travers le monde, voit encore sa consommation, connaissance et utilisation limitées. Le piment n'ajoute pas que du brûlant aux aliments, cette étude a aussi montré son influence sur la saveur et l'aspect des fromages. Les effets du piment constatés sont : sur la couleur, le piment est une source riche en caroténoïdes et l'analyse sensorielle a montré que la couleur était un descripteur qui influence le choix ; sur la perception en tant qu'exhausteur de la saveur, le piment modifie l'acidité, ajoute autres composés (glucides) et le brûlant.

Ces effets ont eu une influence positive sur l'acceptation générale des fromages de lait de chèvre par les sujets Mexicains, bien que divers autres facteurs comme la pasteurisation, l'acidité développée par les ferments et la consommation des fromages fraîchement produits ont pu jouer un rôle important et le piment a donné certaines caractéristiques appréciées dans les fromages. La plupart des Mexicains déclarent ne pas apprécier le «goût de chèvre» des fromages et dans les fromages proposés ne pas avoir perçu cette caractéristique, ce qui les a rendus acceptables.

Les sujets Français ont bien apprécié les fromages peu pimentés avec piment jalapeño rouge et capsaïcinoïdes, comparés aux fromages sans piment. Ils n'ont pas aimé les fromages avec piment vert, peut être parce que ils sont habitués à relier le rouge avec le brûlant et ne sont pas consommateurs habituels de piments.

Les Mexicains en sont des consommateurs habituels et connaissent la grande diversité de couleurs des piments, ainsi que les divers usages des variétés, alors la couleur n'a pas été une limitante pour accepter un produit pimenté. Ils ont apprécié les fromages proposés, non seulement par leur concentration en capsaïcinoïdes, mais surtout parce

qu'ils n'ont pas perçu fortement le «goût de chèvre». Ils se disent prêts à consommer un fromage de lait de chèvre que n'ait pas un goût marqué de chèvre.

Les sujets Français apprécient les fromages sans piment (P0) et peu pimentés (P1), mais peu et moyennement colorés. Les fromages moyennement et plus pimentés, ainsi que les plus colorés, restent les moins appréciés.

Les sujets Mexicains, préfèrent les fromages pimentés et peu et moyennement colorés. Ils n'apprécient pas les fromages plus colorés, et colorés sans piment, ils attendent qu'un fromage qui montre la présence de piment ait un caractère brûlant détectable.

La préférence des fromages selon la couleur et le goût n'est pas significativement différente ( $p < 0,05$ ) entre les deux jurys. La différence de préférence entre les jurys se mesure par rapport à l'intensité du piment. La couleur est un attribut qui a influencé et déterminé la préférence des fromages pimentés et intensifiés en rouge. Les jurys ont apprécié les fromages peu colorés.

Dans ce chapitre l'objectif a été, peut être, un peu ambitieux, compte tenu d'une approche pluridisciplinaire. Nous sommes conscientes que le nombre de consommateurs interrogés est faible (12 sujets Français et 12 mexicains), mais telle quantité a été limitée parce que les mexicains habitant à Nancy ne sont pas nombreux et les caractéristiques souhaitées ont réduit encore le groupe. Les résultats obtenus nous ont donnés des pistes que nous allons reprendre et reformuler en considérant un groupe de consommateurs représentatifs.



## CHAPITRE IV. Activité antibactérienne d'un extrait aqueux de piment jalapeño et de capsaïcinoïdes commerciaux

### Introduction

Diverses études ont mis en évidence un effet antibactérien d'extraits aqueux de *Capsicum annuum* (Cichewicz et Thorpe, 1996, Dorantes *et al.*, 2000, Careaga *et al.*, 2003, Leuschner et Ielsch, 2003, Kuda *et al.*, 2004, Acero *et al.*, 2005) et de la capsaïcine, l'un des principaux composés actifs (Jones *et al.*, 1997, Cowan, 1999, Molina *et al.*, 1999, Tsuchiya, 2001). Ces constatations nous ont amené à tester l'effet antibactérien d'un extrait de *Capsicum annuum*, variété jalapeño, afin d'envisager l'utilisation de ce piment comme un possible bio-conservateur naturel de fromages pimentés.

Les objectifs sont d'évaluer les propriétés antibactériennes d'un extrait aqueux de piment mûr *Capsicum annuum* var. jalapeño, de déterminer ses potentialités en tant que conservateur naturel dans des fromages pimentés et d'analyser si les deux capsaïcinoïdes (capsaïcine et dihydrocapsaïcine) peuvent être responsables de cet effet antimicrobien.

Afin de caractériser le pouvoir inhibiteur des extraits aqueux de piment et des capsaïcinoïdes, les concentrations minimales inhibitrices (CMI) ont été déterminées pour deux extraits aqueux de piment jalapeño (L1 et L2), non dilués ; l'extrait aqueux L2 a également été testé jusqu'à la dilution 1/64<sup>ème</sup>. L'effet d'un traitement thermique de 15 min à 80 ou à 100 °C a été analysé sur l'extrait aqueux L2, non dilué et dilution 1/2, ainsi que sur des préparations de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine commerciales, pures ou en mélange (50 : 50). Enfin, l'impact de trois concentrations de piment jalapeño en poudre, dans du lait demi-écrémé UHT-stérilisé, a été déterminé sur la croissance de *Lactococcus lactis* INRA 115.

## 1 Matériels et Méthodes

### 1.1 Recherche d'une activité antibactérienne dans des préparations de piment

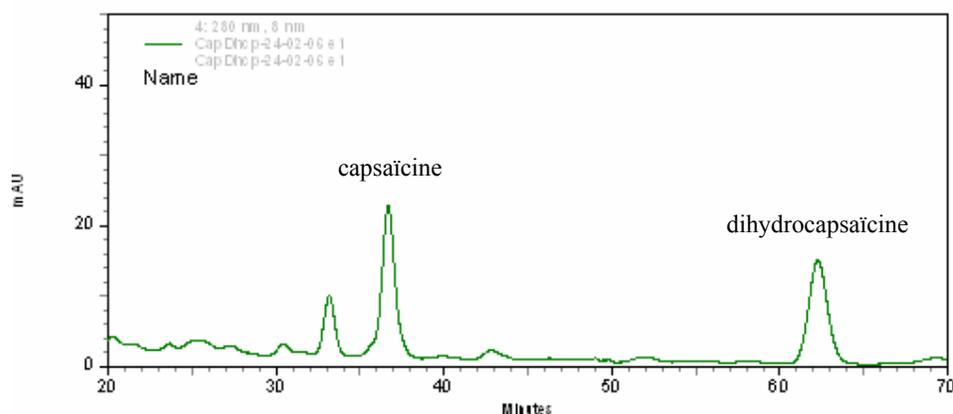
#### 1.1.1 Préparation des extraits aqueux de piment jalapeño mûr

Les extraits aqueux de piment, contenant des capsaïcinoïdes, ont été obtenus à partir d'une poudre commerciale de fruits mûrs de *Capsicum annuum* var. jalapeño. Cette poudre (10 g) est réhydratée au 1/10 (p/v) avec de l'eau distillée (90 ml), puis la suspension est homogénéisée par agitation pendant 24 h à température ambiante. L'extraction des capsaïcinoïdes a été réalisée par ajout de 100 ml d'éthanol à 95 % (qualité HPLC), à cette suspension aqueuse de piment. L'ensemble est laissé sous agitation pendant 24 h à température ambiante. La suspension alcoolique est filtrée sous vide à l'aide d'un porte-filtre Buchner en porcelaine et sur papier filtre Whatman N° 1. L'éthanol de la suspension est évaporé sous vide à 50 °C (évaporateur Herdolph Laborota 4000).

Deux lots d'extrait aqueux ont ainsi été préparés et codés L1 et L2. Leurs principales caractéristiques ont été déterminées : pH, matière sèche et concentrations en capsaïcinoïdes ; pour l'extrait L2, ont également été déterminées les teneurs en matière grasse, en protéines, en glucides totaux, en cendres, dont Ca, Mg, Na et K (méthodes décrites au chapitre II). Les concentrations en capsaïcinoïdes ont été déterminées par HPLC à partir d'un échantillon de 2 ml d'extrait aqueux L1 ou L2 ajusté à 10 ml avec du méthanol à 100 % (qualité HPLC), et filtré sur un filtre Millipore de 0,22 µm de diamètre de pores.

Les extraits ont été utilisés soit purs (L1 et L2), soit dilués (L2). L'extrait aqueux L2 a été dilué jusqu'au 1/64 (dilutions successives au demi) dans de l'eau distillée stérilisée par autoclavage à 120 °C pendant 15 min.

Le chromatographe de l'extrait aqueux L1 est rapporté dans la figure 29. Le temps de rétention de la capsaïcine est de 37 min et celui de la dihydrocapsaïcine de 62,5 min ; leurs concentrations respectives sont rapportées dans le tableau 41.



**Figure 29** : Chromatogramme de l'extrait aqueux de piment L1 dilué au 1/5 dans du méthanol (injection de 50  $\mu$ l à température ambiante). Les temps de rétention sont de 37 min pour la capsaïcine et de 62,5 min pour la dihydrocapsaïcine

La composition des deux extraits aqueux, L1 et L2, est rapportée dans le tableau 41. Leurs valeurs de pH sont respectivement de 4,5 et de 5,1. Les taux d'humidité (p/p) sont respectivement de  $76,4 \pm 0,2$  et de  $86,5 \pm 0,02$  %.

**Tableau 41.** Composition des deux extraits aqueux (L1 et L2) de piment jalapeño mûr pour 100 g de matière sèche

Composants	Extrait L1	Extrait L2
Matière sèche (MS)	23,6	13,5
Matière grasse (g)	nd*	2,0 $\pm$ 0,1
Protéines (g)	nd	15,9 $\pm$ 0,2
Sucres totaux (g)	nd	70,0 $\pm$ 0,9
<i>Sucres réducteurs (g)</i>	nd	66,2 $\pm$ 0,3
Cendres (g)	nd	7,2 $\pm$ 0,3
Calcium (mg)	nd	268,0 $\pm$ 19,2
Magnésium (mg)	nd	370,6 $\pm$ 15,7
Sodium (mg)	nd	301,6 $\pm$ 4,4
Potassium (mg)	nd	3339,0 $\pm$ 30,3
Capsaïcine (mg)	97,7 $\pm$ 2,0	97,4 $\pm$ 5,7
Dihydrocapsaïcine (mg)	96,0 $\pm$ 9,2	94,6 $\pm$ 9,3

\* nd : non déterminé. Capsaïcinoïdes totaux (capsaïcine + dihydrocapsaïcine), L1 = 193,7 mg et L2 = 192 mg pour 100 g de MS. La concentration en capsaïcinoïdes des extraits est de 0,46 mg/mL pour L1 et de 0,26 mg/mL pour L2

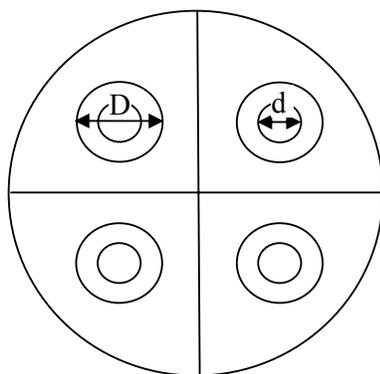
### 1.1.2 Préparations des solutions à partir de poudres commerciales de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine

Les poudres commerciales de capsaïcine (N-vanillylnonanamide, SIGMA, minimum 97%, Steinheim, D) ou de dihydrocapsaïcine (8-méthyl-N-vanillylnonanamide, SIGMA, environ 90 %) sont reprises dans un mélange (50/50 : v/v) eau-éthanol (95 %), car la solubilité des capsaïcinoïdes dans l'eau est négligeable. A partir des solutions mères à 1 mg.mL<sup>-1</sup> ou de leur mélange en proportion identique (concentration 0,5 mg.ml<sup>-1</sup> de chaque constituant), des dilutions entre 1 et 1/32 sont préparées. Des témoins éthanol-eau (50/50 : v/v) et eau distillée stérile ont été réalisés.

### 1.2 Détermination de la CMI par la méthode des dépôts en gouttes

La concentration minimale inhibitrice (CMI) correspond à la concentration en inhibiteur pour laquelle la croissance de la souche n'est pas visible (Guiraud, 1998).

L'activité inhibitrice des deux extraits aqueux de piment (L1 et L2) et des poudres commerciales de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine a été testée par la méthode des dépôts en gouttes ou « spots », en déterminant le diamètre d'inhibition de la souche test autour du dépôt. Un volume de 20 µl d'extrait aqueux de piment (L1 ou L2) ou de la poudre commerciale de capsaïcine (une pincée, masse non déterminée), ou des dilutions entre 1/2 et 1/64 de l'extrait aqueux de piment L2 ou des suspensions alcooliques de capsaïcinoïdes commerciales (poudre), est déposé à la surface de la gélose (description des milieux utilisés dans la partie 1.3) (Figure 30).



**Figure 30** : Représentation schématique des dépôts en gouttes sur la gélose et détermination du diamètre (mm) de la zone d'inhibition des extraits (D - d), D : Diamètre total de la zone d'inhibition, d : diamètre du dépôt de la suspension, D - d : diamètre de la zone d'inhibition

Les dépôts sont réalisés sur les milieux gélosés préalablement ensemencés (comme décrit dans la section 1.3.3). Les boîtes de Petri sont ensuite stockées à 4 °C pendant une nuit pour permettre la diffusion des extraits L1 et L2, de la poudre de capsaïcine ou des dilutions de celle-ci. La lecture s'effectue après 24, 48 ou 72 h d'incubation à 30 ou à 37°C, selon la température optimale de la souche test (Tableau 42). Une première analyse visuelle est réalisée après 6 h d'incubation. Les diamètres des zones d'inhibition sont mesurés. Ils correspondent au diamètre total moins le diamètre du dépôt (Figure 30).

### 1.3 Modèles bactériens et conditions de croissance

#### 1.3.1 Modèles bactériens

Treize souches bactériennes d'intérêt alimentaire et le levain lactique Flora Danica<sup>®</sup> ont été retenus comme souches cibles pour déterminer l'activité inhibitrice potentielle d'extraits aqueux de piment (Tableau 42).

**Tableau 42.** Caractéristiques et conditions de culture des 13 souches bactériennes d'intérêt alimentaire et du levain lactique Flora Danica<sup>®</sup>

Souches cibles	Code	Gram	Milieux	θ (°C)
<i>Streptococcus thermophilus</i>	INRA 302	+	TSA-YE	37
<i>Lactococcus lactis</i>	7056	+	TSA-YE	30
<i>Lactococcus lactis</i>	ATCC 11454	+	TSA-YE	30
<i>Lactococcus lactis</i>	INRA 115	+	TSA-YE	30
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i>	DSM 20081	+	MRS-Agar	37
Flora Danica <sup>®</sup> *	MA 4001	+	TSA-YE	30
<i>Carnobacterium maltaromaticum</i>	CIP 28	+	TSA-YE	30
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	DSM 20343	+	MRS-Agar	30
<i>Micrococcus luteus</i>	CIP 5345	+	TSA-YE	30
<i>Listeria monocytogenes</i>	CIP 82110	+	TSA-YE	37
<i>Bacillus subtilis</i>	CIP 5265	+	TSA-YE	30
<i>Escherichia coli</i>	CIP 54.8	-	TSA-YE	30
<i>Salmonella enterica</i>	CIP 81.32	-	TSA-YE	30
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	CIP 6913	-	TSA-YE	30

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique, CIP : Collection de l'Institut Pasteur, ATCC : American Type Culture Collection, MA : Mésophile acidifiant, DSM : Deutsche Sammlung von Mikro-Organismen und Zellkulturen. \*Mélange de bactéries lactiques (*Lc. lactis* spp. *lactis* de types phagiques différents)

### 1.3.2 Préparation de l'inoculum

Les souches utilisées au cours de cette étude proviennent de diverses collections et appartiennent au Laboratoire de Science et Génie Alimentaires de l'ENSAIA-INPL (Tableau 42). Elles sont conservées à -30 °C dans les milieux appropriés. Avant utilisation, deux repiquages successifs de 24 h à un taux de 2 % (v/v) sont effectués dans des bouillons appropriés, tels que le Bouillon Trypcase Soja (TSB) (Biomérieux, F) supplémenté avec 0,6 % (p/v) d'extrait autolytique de levure (YE) (Biokar Diagnostics, Beauvais, F), appelé TSB-YE, ou pour les micro-organismes plus exigeants, le milieu MRS (Biokar Diagnostics). L'incubation est réalisée pour toutes les souches à 30 °C, excepté pour *S. thermophilus*, *Lb. delbrueckii* et *L. monocytogenes*, pour lesquelles l'incubation est effectuée à 37 °C (Tableau 42).

### 1.3.3 Milieux de culture et conditions de croissance

Ces expérimentations ont été réalisées en milieu TSA-YE ou en milieu MRS gélosé avec 1,5 % d'agar bactériologique type A (Biokar).

**Charge bactérienne des extraits aqueux de piment (L1 et L2).** Les dénombrements bactériens sont réalisés sur les milieux gélosés MRS et TSA-YE. Un volume de 0,1 ml d'extrait aqueux de piment est étalé à la surface de la gélose, préalablement coulée en boîtes de Petri, à l'aide d'un râteau en verre. Les géloses sont ensuite incubées à 25, 30, 37 ou à 50 °C pendant 24 à 72 h. Les résultats sont exprimés en Unités Formant Colonie par millilitre (UFC.ml<sup>-1</sup>).

**Activité antibactérienne des extraits aqueux de piment non dilués (L1 et L2) et de la poudre commerciale de capsaïcine.** Les pré-cultures sont diluées au 1/10 (v/v) dans du tryptone-sel (9,5 g/L) et ensemencées en profondeur à raison de 0,1 mL d'inoculum bactérien dans 12 mL de milieu gélosé (TSA-YE ou MRS) en surfusion à 50 °C.

**Détermination de la CMI en piment et en capsaïcinoïdes.** Les deux souches les plus sensibles (*S. thermophilus* INRA 302 et *Lb. delbrueckii* DSM 20081) aux extraits non dilués (L1 et L2) ont été retenues pour les tests des dilutions critiques de l'extrait aqueux de piment L2 et des capsaïcinoïdes. Pour la détermination de la CMI, la souche *S. thermophilus* (dilution -2) a été inoculée à raison de 0,1 ml et *Lb. delbrueckii* à raison

de 0,3 ml dans 100 ml de milieu gélosé à 50 °C. Ce milieu est ensuite réparti à raison de 12 ml par boîte de Petri. Pour l'évaluation de l'effet d'un traitement thermique sur l'extrait aqueux de piment L2, ces deux souches ont été inoculées à raison de 0,3 ml dans 100 mL de milieu de culture.

Avant de réaliser les dépôts des extraits aqueux de piment L1 ou L2 ou des solutions alcooliques des préparations des deux capsaicinoïdes, seules ou en mélange, la surface des milieux gélosés est partiellement séchée à l'étuve à 50 °C pendant 10 min.

**Comportement de *Lc. lactis* INRA 115 dans du lait additionné de piment en poudre.** Le comportement (croissance, survie ou mortalité) de *Lc. lactis* INRA 115 a été déterminé dans du lait UHT-stérilisé demi écrémé additionné de piment commercial en poudre. Avant utilisation de la souche, deux repiquages successifs à un taux d'inoculum de 2 % (v/v) sont effectués dans du lait et l'incubation est réalisée à 30 °C pendant 24 h. La culture de *Lc. lactis* INRA 115 a été réalisée à 30 °C dans des laits sans (témoin) ou avec 0,1, 1,0 ou 2,0 % (p/v) de piment jalapeño en poudre. Un volume de 1 mL de ces cultures est prélevé après 0, 2, 4, 6, 8 et 24 h d'incubation et dilué au 1/10 dans du tryptone-sel (9,5 g/L). Les dilutions décimales  $10^{-5}$  à  $10^{-8}$  de ces quatre cultures ont été inoculées en profondeur à raison de 1 mL dans 12 mL de milieu gélosé d'Elliker en surfusion à 50 °C. Après incubation à 30 °C pendant 72 h, le nombre de bactéries cultivables est évalué. Ces expérimentations sont réalisées en double et les résultats sont exprimés en UFC.mL<sup>-1</sup>.

## 1.4 Analyse statistique

Pour appliquer les outils statistiques, nous supposons que les données suivent un comportement normal. L'ANOVA et le test multiple de Scheffe ont été appliqués en utilisant les logiciels Excel (Microsoft Office 2003) et OriginPro 7.5.

## 2 Résultats

### 2.1 Composition chimique des extraits aqueux de piment

Les extraits aqueux de piment (L1 et L2) ont été utilisés avec différentes concentrations en matière sèche, respectivement 23,6 et 13,5 %. De ce fait, bien que provenant du

même échantillon de piment, le pH et les autres constituants, tels que la concentration en capsaïcinoïdes totaux, sont différents (Tableau 41) en raison de l'étape d'évaporation de l'éthanol qui pour l'essai L1 a évaporé une part non négligeable d'eau (50 °C sous vide). Les analyses microbiologiques ont montré l'absence de contaminants bactériens ( $N < 10$  ufc/ml) dans les extraits aqueux de piment ou  $N < 100$  ufc/g de poudre commerciale de piment, ce qui a permis de les utiliser sans stérilisation préalable.

## 2.2 Effet antibactérien des extraits aqueux de piment jalapeño mûr L1 et L2 et de la poudre commerciale de capsaïcine

L'activité inhibitrice des deux extraits aqueux de piment (L1 et L2) et de la poudre commerciale de capsaïcine est rapportée dans le tableau 43.

**Tableau 43.** Spectre d'activité antibactérienne des deux extraits aqueux de *Capsicum annuum* var. jalapeño (L1 et L2) non dilués et de la poudre commerciale de capsaïcine

Souches cibles	Diamètres de la zone d'inhibition (mm)		
	Extraits aqueux de piment		Capsaïcine en poudre
	L1	L2	
<i>S. thermophilus</i> INRA 302	13,9±0,2 <sup>a**</sup>	12,0±0,0 <sup>a</sup>	0
<i>Lc. lactis</i> 7056	8,8±0,4 <sup>b</sup>	6,8±0,8 <sup>b</sup>	nd*
<i>Lc. lactis</i> ATCC 11454	8,8±1,5 <sup>b</sup>	6,3±0,8 <sup>b</sup>	nd
<i>Lc. lactis</i> INRA 115	3,3±0,8 <sup>c</sup>	1,5±0,5 <sup>d</sup>	nd
<i>Lb. delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i> DSM 20081	20 <sup>a</sup>	20 <sup>a</sup>	nd
Flora Danica <sup>®</sup>	7,5±2,1 <sup>b</sup>	4,0±1,2 <sup>c</sup>	nd
<i>C. maltaromaticum</i> CIP 28	8,8±2,3 <sup>b</sup>	4,0±0,7 <sup>c</sup>	nd
<i>Ln. mesenteroides</i> DSM 20343	0 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>	nd
<i>M. luteus</i> CIP 5345	3,8±0,8 <sup>c</sup>	2,3±0,4 <sup>d</sup>	nd
<i>L. monocytogenes</i> CIP 82110	3,3±0,4 <sup>c</sup>	nd	0
<i>B. subtilis</i> CIP 5265	3,8±0,4 <sup>c</sup>	nd	0
<i>E. coli</i> CIP 54.8	0 <sup>d</sup>	nd	0
<i>S. enterica</i> CIP 81.32	0 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>	nd
<i>Ps. fluorescens</i> CIP 6913	0 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>	nd

\*nd : non déterminé ; N = 4 répétitions. \*\*Dans une même colonne, le même indice en exposant indique que les moyennes ne sont pas significativement différentes ( $p < 0,05$ )

La poudre commerciale de capsaïcine ne montre aucune activité antibactérienne vis-à-vis de *S. thermophilus* INRA 302, de *L. monocytogenes* CIP 82110, de *B. subtilis* CIP

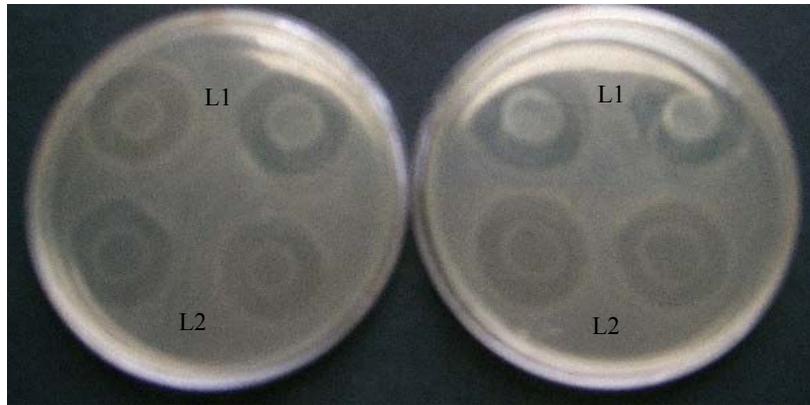
5265 et d'*E. coli* CIP 54.8 (Tableau 43), soit que cette poudre ne possède aucun effet inhibiteur soit qu'elle n'est pas soluble en milieu aqueux (milieu gélosé) d'où l'impossibilité de la diffusion de la capsaïcine.

Les diamètres des zones d'inhibition de l'extrait L1 sont plus grands que ceux de l'extrait L2. Ce résultat est en relation avec la concentration plus importante de L1 en matière sèche (23,6% pour L1 et 13,5 % pour L2) et donc en composés actifs (la concentration en capsaïcinoïdes est de 0,46 mg/ml pour l'extrait L1 et de 0,26 mg/ml pour l'extrait L2) (Tableau 41), et également avec un pH plus acide (4,5 pour L1 et 5,1 pour L2).

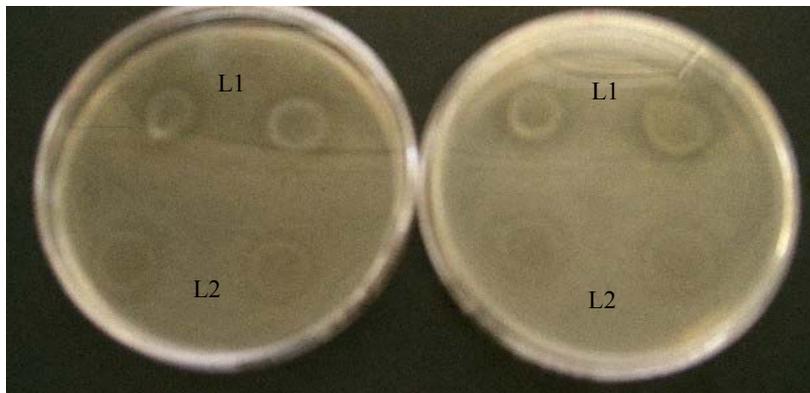
Les 13 souches testées et le levain lactique Flora Danica® montrent une différence importante de sensibilité vis-à-vis des extraits aqueux de piment jalapeño mûr (L1 et L2) (tableau 43). Les souches les plus sensibles sont *S. thermophilus* INRA 302 et *Lb. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* DSM 20081. L'activité inhibitrice des extraits aqueux est la plus faible vis-à-vis de *L. monocytogenes* CIP 82110, de *B. subtilis* CIP 5265, de *M. luteus* CIP 5345 et de *Lc. lactis* INRA 115. Les bactéries Gram-négatives sont insensibles à ces deux extraits aqueux. La souche *Ln. mesenteroides* DSM 20343 n'est pas sensible aux extraits aqueux de piment L1 et L2 ; ce résultat non attendu, devrait être confirmé vis-à-vis de ce genre bactérien.

En conclusion, l'activité inhibitrice des extraits aqueux de piment jalapeño L1 et L2, dépend de leur concentration en matière sèche, du pH et de la sensibilité ou de l'insensibilité de la souche testée.

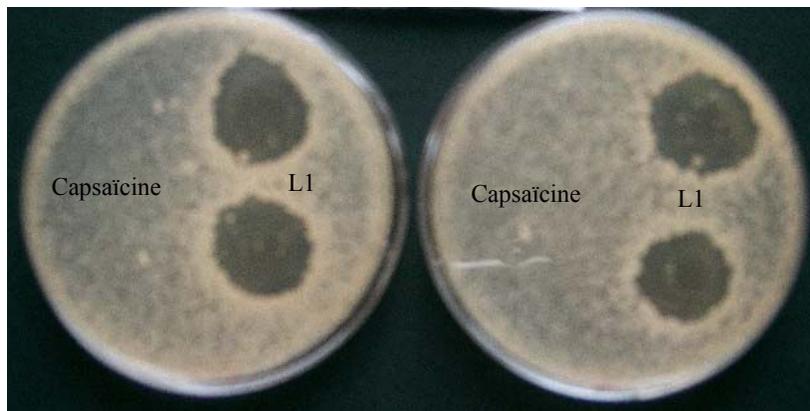
La figure 31 montre l'effet des extraits aqueux de piment jalapeño mûr (L1 et L2) et de la poudre commerciale de capsaïcine sur *S. thermophilus* INRA 302, *B. subtilis* CIP 5265 et sur *Lc. lactis* 7056.



a) *S. thermophilus* INRA 302



b) *Lc. lactis* 7056



c) *B. subtilis* CIP 5265

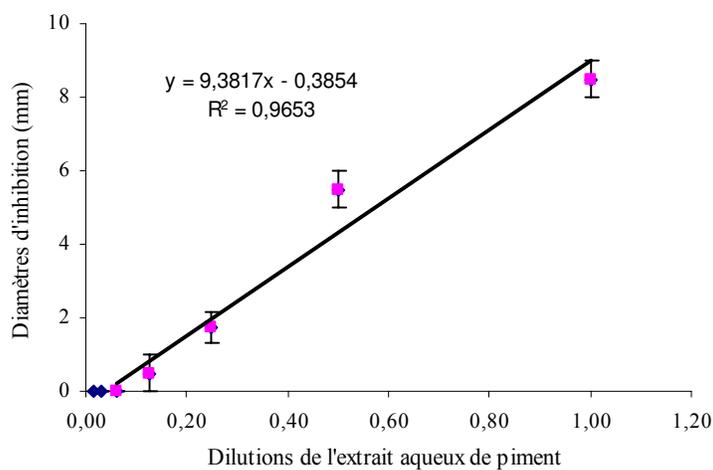
**Figure 31.** Spectre d'action des deux extraits aqueux de piment L1 et L2 et de la poudre commerciale de capsaïcine vis-à-vis de a) *S. thermophilus* INRA 302, b) *Lc. lactis* 7056 et c) *B. subtilis* CIP 5265

### 2.3 CMI de l'extrait aqueux L2 et des capsaïcinoïdes commerciaux

Les souches *S. thermophilus* INRA 302 et *Lb. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* DSM 20081 sont plus sensibles aux extraits aqueux de piment ; elles ont été retenues afin de déterminer leur degré de sensibilité à l'extrait aqueux de piment L2 et aux suspensions alcooliques de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine commerciales.

#### CMI de l'extrait aqueux de piment L2

La sensibilité de ces deux souches à l'extrait aqueux de piment L2 a été obtenue à l'aide de dilutions au demi, selon la méthode des dépôts en gouttes. Les résultats relatifs à *S. thermophilus* INRA 302 sont rapportés dans la figure 32.



**Figure 32.** Diamètres des zones d'inhibition de *S. thermophilus* INRA 302 en fonction des dilutions de raison 1/2 de l'extrait aqueux de piment L2

Dans nos conditions expérimentales, la CMI de l'extrait aqueux L2, vis-à-vis de *S. thermophilus* INRA 302, a été observée à la dilution 1/8, qui correspond à une concentration en capsaïcinoïdes de 32,5 µg/ml (0,26/8 mg/ml). En revanche, la souche *Lb. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* DSM 20081 est plus résistante, car la CMI en capsaïcinoïdes correspond à 130 µg/ml (dilution au 1/2 de l'extrait aqueux de piment L2).

### CMI des suspensions alcooliques de capsaïcinoïdes commerciaux

Les suspensions alcooliques des poudres commerciales de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine, non diluées et jusqu'à la dilution 1/32, n'exercent aucun effet décelable sur la croissance des deux souches cibles retenues, *S. thermophilus* INRA 302 et *Lb. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* DSM 20081.

### 2.4 Influence d'un traitement thermique sur l'activité inhibitrice de l'extrait aqueux de piment L2

L'influence de deux traitements thermiques (80 et 100 °C pendant 15 min) sur l'activité inhibitrice de l'extrait aqueux de piment L2 a été testée sur les deux souches lactiques précédemment retenues (Tableau 44).

**Tableau 44.** Diamètres de la zone d'inhibition de *S. thermophilus* INRA 302 et *Lb. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* DSM 20081 par l'extrait aqueux de piment L2 après deux traitements thermiques (80 ou 100 °C pendant 15 min)

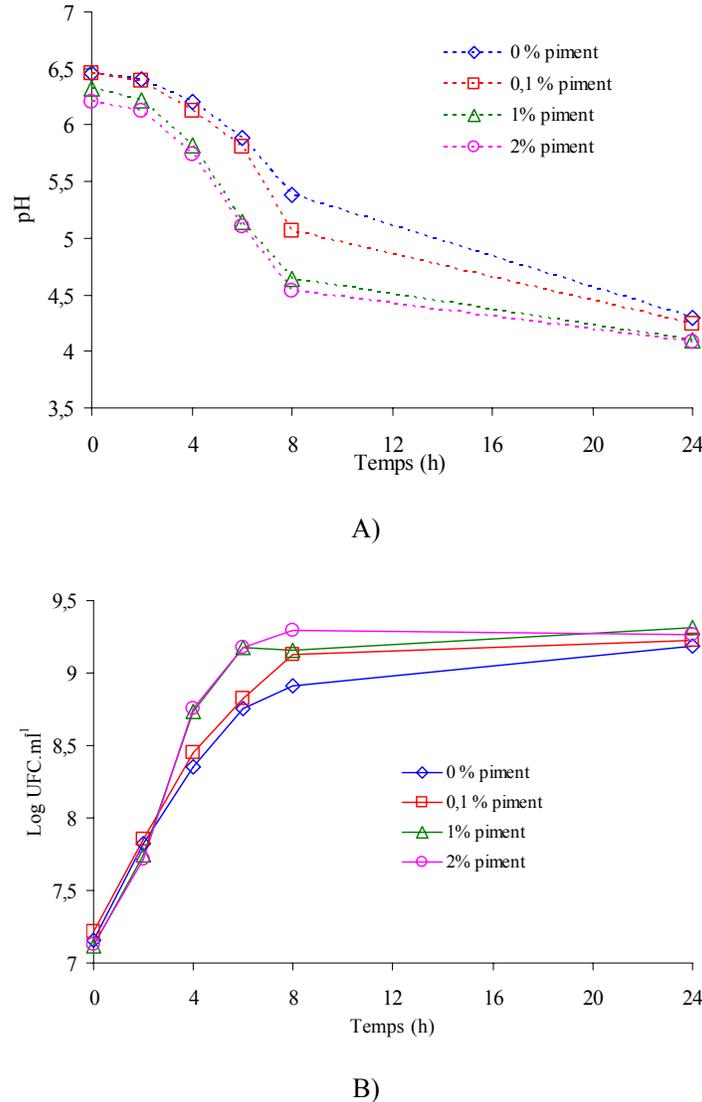
Souches cibles	Diamètres de la zone d'inhibition (mm)				
	Sans chauffage	80°C – 15 min		100°C – 15 min	
	1*	1	1/2	1	1/2
<i>S. thermophilus</i>	8,5±0,5	7,3±0,4	2,3±0,4	6,0±0,7	0
<i>Lb. delbrueckii</i>	7,5±0,5	4,8±0,4	0	3,5±0,5	0

\* Taux de dilution

Le traitement thermique provoque une diminution modérée de l'efficacité antibactérienne de l'extrait aqueux de piment L2. En effet, en l'absence de chauffage, le diamètre de la zone d'inhibition, vis-à-vis de *S. thermophilus* INRA 302 est de 8,5 mm alors que cette valeur est de 7,3 mm ou de 6,0 mm après un chauffage à 80 °C ou à 100°C pendant 15 min. Ce résultat est également observé vis-à-vis de *Lb. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* DSM 20081, souche moins sensible.

## 2.5 Comportement de *Lc. lactis* INRA 115 dans du lait additionné de piment en poudre

La variation du pH et la cinétique de croissance de *Lc. lactis* INRA115 dans du lait additionné de piment est observée à 30 °C pendant 24 h (figure 33).



**Figure 33.** Acidification du lait (A) et croissance de *Lc. lactis* INRA 115 (B) en présence de quatre concentrations de piment en poudre à 30 °C pendant 24 h

\*UFC = Unités Formant Colonies

Le pH du lait diminue d'environ 0,3 unité immédiatement après l'ajout de piment. L'acidité initiale plus importante des essais contenant 1 ou 2 % de piment favorise la croissance de cette souche neutrophile qui se traduit par une acidification plus rapide.

Dans une fabrication de fromage pimenté, l'ajout de piment au lait, avant les levains lactiques, diminuerait le temps de formation du gel lactique. Si l'on considère un pH de formation du gel lactique entre 5,2 et 5,3 à 30 °C, le temps de coagulation serait respectivement de 5 h 45 min pour le lait contenant 1 ou 2 % de piment, de 7 h 30 min pour celui en contenant 0,1 % et de 10 h pour le lait sans piment (témoin). L'ajout de piment (1 ou 2 %) diminue le temps de formation du gel lactique d'environ deux fois par rapport à celui observé sans piment.

La concentration en capsaïcinoïdes pour le lait avec 2,0 % de piment correspond à 1,5 mg/100 ml (le piment rouge en poudre avec 87,7 % de MS a une concentration en capsaïcinoïdes de 86 mg/100 g de MS, tableau 18, chapitre II) ; cette concentration correspond aux fromages les plus pimentés fabriqués dans ce projet (15 ppm). Si nous comparons cette concentration à la CMI de *S. thermophilus* INRA 302 (32,5 µg de capsaïcinoïdes/ml), nous pouvons en déduire que cette souche ne serait pas inhibée dans ces conditions expérimentales. Comme *Lc. lactis* INRA 115 est environ 4 fois moins sensible que *S. thermophilus* INRA 302 cette souche mésophile n'est pas inhibée à cette concentration (Tableau 43).

## Discussion

Les extraits aqueux de piment jalapeño utilisés dans notre étude, possèdent une activité antibactérienne importante. Les souches les plus sensibles sont celles participant à la fabrication du yaourt, *S. thermophilus* et *Lb. delbrueckii*. Un faible pouvoir inhibiteur des extraits a pu être mis en évidence vis-à-vis des souches pathogènes *L. monocytogenes* et *B. subtilis*. En revanche, aucun effet n'a pu être montré vis-à-vis des bactéries Gram-négatives, *E. coli*, *S. enterica* et *Ps. fluorescens*.

Les effets antibactériens des extraits aqueux de *Capsicum annuum* var. jalapeño mûr sont difficilement comparables à ceux obtenus dans d'autres études, car les procédés de préparation des extraits, les variétés de piment utilisées, les méthodes d'évaluation de cet effet et les micro-organismes testés ne sont pas les mêmes. Cependant, nos conditions de travail ont permis de mettre en évidence une activité antibactérienne de l'extrait aqueux de piment jalapeño. Les CMI de l'extrait aqueux de piment L2 pour les deux souches les plus sensibles, *S. thermophilus* INRA 302 et *Lb. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* DSM 20081, sont de respectivement 32,5 et 130 µg/ml. Ces concentrations

sont plus élevées que celles des fromages pimentés appréciés dans notre étude, qui contiennent entre 5 et 15 ppm ; lesquelles n'exerceront aucune activité inhibitrice vis-à-vis de ces deux flores lactiques les plus sensibles et donc vis-à-vis de flores indésirables, comme *L. monocytogenes*.

Cichewicz et Thorpe (1996) ont analysé les propriétés antimicrobiennes de diverses espèces de *Capsicum* utilisées dans la médecine Maya et des deux principaux composants « brûlants » (capsaïcine et dihydrocapsaïcine). Ils ont montré que, sur milieu gélosé ensemencé avec une souche cible, les tissus de *Capsicum* ont divers effets sur les micro-organismes testés comme une inhibition complète ou partielle ou une stimulation. Leurs travaux montrent aussi que ces effets sont influencés par la nature des tissus frais ou cuits. Les extraits cuits des feuilles de *C. annuum* var. jalapeño ont une activité inhibitrice plus importante sur *B. cereus* et *B. subtilis* que les extraits frais. Les extraits frais du fruit stimulent ces bactéries mais inhibent *C. sporogenes* et dépigmentent *St. Pyogenes*. Dans cette étude, les capsaïcinoïdes (capsaïcine et dihydrocapsaïcine) n'ont montré aucun effet antimicrobien sur les micro-organismes testés. Ces auteurs indiquent que les diverses espèces de *Capsicum* auraient joué un rôle sur la prévention ou le rétablissement des maladies liées à *Clostridium* dans la société Maya.

Careaga *et al.* (2003) ont montré que les extraits des fruits (graines incluses) de *C. annuum* type bell pepper étaient capables d'inhiber la croissance de *Salmonella* Typhimurium et de *P. aeruginosa*, respectivement aux doses minimales de 1,5 et de 3,0 ml/100 g de viande crue de bœuf. Ces auteurs proposent l'emploi des extraits de ce type de piment comme agent antibactérien naturel dans les aliments qui se contaminent facilement, comme la viande crue de bœuf.

Diverses études ont considéré que les capsaïcinoïdes sont les composants actifs responsables de l'activité antimicrobienne des piments (Jones *et al.*, 1997, Cowan, 1999, Molina *et al.*, 1999, Tsuchiya, 2001). Jones *et al.* (1997) ont indiqué que la capsaïcine inhibe la croissance d'*Helicobacter pylori* LC 11 pour des concentrations supérieures à 10 µg/ml, mais n'inhibe pas celle d'*E. coli* HS à une concentration de 50 µg/ml. Molina *et al.* (1999) ont rapporté que la capsaïcine retarde la croissance d'*E. coli* ATCC 25922 et de *P. solanacearum* (bactéries Gram-négatives) pour des concentrations supérieures à 200 ou à 300 µg/ml ; *Bacillus subtilis* ssp. *Kodiak* est

inhibé pour des concentrations de 25 µg/ml, tandis que *S. cerevisiae* 288C est stimulée pour des concentrations entre de 150 et 300 µg/ml.

Dans notre étude, les poudres commerciales de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine solubilisées dans l'éthanol-eau (50/50 : v/v), à une concentration de 1 mg.ml<sup>-1</sup>, n'ont pas montré d'effet sur la croissance de *S. thermophilus* et de *Lb. delbrueckii*.

D'autres auteurs ont démontré que les capsaïcinoïdes ne sont pas responsables de l'effet anti-microbien des extraits de diverses variétés de piment étudiés. Dorantes *et al.* (2000) ont conclu que les acides organiques contenus dans les extraits de trois *C. annuum* (habanero, serrano et pimiento morrón), tels que l'acide m-cumarique et l'acide cinnamique, contribuent à l'inhibition de *B. cereus* (type sauvage), de *S. aureus* FRI-S6, de *L. monocytogenes* Scott A et de *Salmonella* Typhimurium ATCC 13311. Ils n'ont pas trouvé d'effet inhibiteur de la capsaïcine et de la dihydrocapsaïcine sur ces bactéries. Acero *et al.* (2005) ont évalué l'effet de l'extrait de dix variétés de piment sur *L. monocytogenes*. Le piment le plus inhibiteur est celui qui contient la plus grande concentration en acide cinnamique et en acide caféique ; l'acide caféique possède l'effet bactéricide le plus important. Leuschner et Ielsch (2003) ont indiqué que le piment rouge fort a joué un effet inhibiteur sur *L. monocytogenes* en diminuant la charge bactérienne de 50 % après 7 h d'incubation. Dans notre étude, l'extrait aqueux de piment jalapeño a faiblement inhibé la croissance de *L. monocytogenes* CIP 82110.

L'effet du piment jalapeño, sur l'infection provoqué par *H. pylori* chez les adultes, a été évalué (Graham *et al.*, 1999). Ces auteurs n'ont pas mis en évidence l'effet inhibiteur de la capsaïcine *via* le piment jalapeño sur *H. pylori in vivo* et ils indiquent la difficulté d'extrapoler les résultats *in vitro* aux conditions *in vivo*. Dans leur travail, Arora et Kaur (1999) n'ont pas mis en évidence d'effet de l'extrait de piments verts vis-à-vis de huit bactéries pathogènes pour l'homme et de huit levures. Les résultats obtenus par Kuda *et al.* (2004) suggèrent que le piment rouge fort peut affecter la santé en perturbant la microflore intestinale.

## Conclusion

Les piments ont une grande importance commerciale car ils sont largement utilisés à travers le monde comme additifs alimentaires. Ils constituent une source riche en

vitamine C (plus que les agrumes) et en provitamines A, E, P, B1, B2 et B3. Les propriétés antibactériennes des piments peuvent trouver une application dans la préservation de certains aliments pimentés, mais comme montré dans cette étude, suivant à des concentrations élevées, que dans le cas des piments forts, sont incompatibles avec l'effet brûlant.

Dans ce travail, les souches les plus sensibles sont celles du yaourt. Une addition de piment aux fromages pourrait créer un déséquilibre de la flore microbienne à des concentrations élevées (> 100 ppm), entraînant ainsi une modification de la saveur ; dans ce projet, cette situation ne se présente pas car le piment est ajouté après l'égouttage du caillé, à des concentrations n'excédant pas 15 ppm.

Des essais réalisés en additionnant le piment au lait, avant l'ajout de *Lc. lactis* INRA 115, ont montré que le piment diminue immédiatement le pH du lait, facilitant ainsi la croissance de cette souche, ce qui serait traduit par une diminution de la durée de coagulation.

Parmi les bactéries testées, quelques souches pathogènes ont été inhibées (*L. monocytogenes* et *B. subtilis*). Des essais *in vivo* pourraient être mis en place afin de définir si les quantités de piment ayant une activité antibactérienne sur des souches pathogènes, correspondent à quantités pouvant être supportées (effet brûlant) par le consommateur.

Les effets inhibiteurs des extraits de *C. annuum* var. jalapeño peuvent être très différents les uns des autres, car leur composition varie largement d'une variété à l'autre et en fonction de l'état de maturation. De plus, ils peuvent être affectés par un traitement thermique (80 et 100°C).

Nos résultats obtenus *in vitro* ne constituent qu'une première étape de recherche pour évaluer les propriétés antibactériennes du piment jalapeño et envisager son utilisation comme bioprotecteur naturel de fromages. Des études complémentaires doivent être menées afin de confirmer les performances mises en évidence et d'évaluer si les concentrations minimales inhibitrices vis-à-vis de souches pathogènes, correspondent à des concentrations en piment pouvant être utilisées commercialement (cas des piments forts).

L'utilisation des épices comme inhibiteurs de la croissance microbienne dans les aliments est souvent limitée, car les doses anti-microbiennes effectives peuvent excéder fréquemment les niveaux organoleptiquement acceptés (Leite *et al.*, 2005). Néanmoins, les épices mélangées avec d'autres barrières antimicrobiennes peuvent améliorer la durée de conservation et la sécurité microbiologique des aliments.

## **CHAPITRE V. Faisabilité économique au Mexique d'une exploitation de chèvres laitières intégrée à la production de fromage pimenté**

### **Introduction**

Diverses études économiques ont montré que les caprins sont l'espèce la plus rentable et qui demande peu de ressources dans diverses régions du monde ; ses caractéristiques comme une petite taille, une adaptation aux conditions extrêmes et grâce au travail de sélection réalisé, la chèvre peut donner trois fois plus de lait qu'une vache par rapport à son poids vif (Arbiza, 1986). Ces circonstances expliquent le fait que, loin d'être réservé aux zones pauvres sur le plan agricole, l'élevage de la chèvre se développe aussi dans des régions plus riches sous forme d'exploitations spécialisées et intensives.

Le Mexique dispose des conditions permettant d'améliorer les techniques d'élevage caprin traditionnelles, fondées généralement sur une économie de cueillette. L'introduction de certaines améliorations dans quelques exploitations caprines, de certaines régions du pays depuis les années 80, a été décisive pour réaliser de grands progrès dans sa productivité. C'est ainsi que le rendement laitier de ces exploitations a augmenté. Cette amélioration de la production caprine, doit être accompagnée d'une diffusion rapide du progrès technique, l'adaptation de l'intensification des élevages rendue nécessaire par les impératifs de rentabilité et l'emploi du matériel moderne qui facilite les conditions de travail de l'éleveur, la mise au point de nouveaux systèmes d'alimentation, d'hygiène et de salubrité, de reproduction et d'amélioration génétique et l'intégration de la transformation et la commercialisation du produit.

Actuellement, au Mexique, la demande industrielle de lait de chèvre est insatisfaite. Les industries qui demandent les plus grands pourcentages sont les fromageries et celles des sucreries comme la « cajeta » et les « glorias ». La plupart de ces industries travaillent sous le seuil de la capacité installée (FIRA, 1999).

Les perspectives d'avenir de l'élevage caprin sont diverses, compte tenu de la tradition mexicaine de consommer une grande variété de produits dérivés de la chèvre et la

grande possibilité qu'offrent les produits caprins traditionnels d'être exportés vers les États Unis, le Canada et les autres pays voisins. En effet, les mexicains qui vivent dans ces pays apprécient les produits mexicains traditionnels. Des études de marché, ont montré un avenir prometteur au fromage de chèvre et aux plats dits traditionnels comme les chevreaux âgés d'un ou deux mois.

Dans ce chapitre, destiné à monter la faisabilité économique de la production au Mexique de fromages de chèvre pimentés, nous développons une proposition d'exploitation intensive de chèvres laitières de la race Alpine, avec l'option future d'un croisement avec la race Boer et les races locales. Le but est d'intégrer la production laitière à sa transformation en produits (fromage) pour le consommateur final. Nous mettons également l'accent sur l'usage de surfaces réduites, l'optimisation des ressources et l'utilisation des sous-produits. La chèvre, ayant un cycle de reproduction saisonnier, nous proposons, afin d'avoir du lait pendant toute l'année, une exploitation en 2 lots de chèvres avec la synchronisation des chaleurs par voie hormonale et l'insémination artificielle, ce que nous permettra aussi, d'organiser la production, de gérer l'exploitation et le marché.

### **Hypothèses de travail**

Le but de cette étude est l'évaluation financière de l'élevage de chèvres laitières qui intègre la production de fromage comme produit principal, et la vente de chevreaux et de chevrettes gestantes, comme produit secondaire. Cette évaluation permettra de considérer son application au niveau régional et national et de contribuer à accroître le potentiel génétique du cheptel caprin.

Cette entreprise proposera les produits suivants :

- a) fromage frais au lait pasteurisé, avec deux concentrations de piment jalapeño en poudre (0,5 et 1,0 mg de capsaïcinoïdes/100 g de caillé) ; sur la base des travaux présentés dans le chapitre concernant la mise au point technologique (chapII) et celui concernant l'optimisation sensorielle;
- b) chevreaux de boucherie d'un mois d'âge, chevrettes de 2 mois de gestation, chèvres de rebut ;

c) sous-produits de consommation interne comme le lactosérum et le fumier.

Les quatre premiers produits seront commercialisés au niveau régional, principalement à la ville et dans l'état de Mexico. Le développement de l'entreprise et l'extension de la production se feront par la suite suivant les demandes du marché.

L'hypothèse que nous voulons vérifier est qu'une exploitation intensive caprine, qui intègre la production primaire jusqu'à la transformation et commercialisation directe des produits, est économiquement rentable.

## **1 Méthodologie**

### **1.1 Localisation du projet**

Pour cette évaluation financière, nous proposons de situer l'exploitation caprine et la fromagerie à Montecillo, une communauté de la ville de Texcoco, dans l'état de Mexico. Cette région offre un climat tempéré subhumide avec des pluies pendant l'été, une température moyenne annuelle de 14,9 °C et une précipitation annuelle de 636,5 mm (García, 1988). Elle est proche des voies de communication et bénéficie ainsi des facilités qui y sont liées pour le bon développement du projet.

L'investissement de départ de ce projet est relativement élevé, car Texcoco est proche de Mexico et le prix des services et des terrains sont plus chers que dans les villes plus petites et plus éloignées.

Cette proposition peut être adaptée à d'autres villes du pays. L'investissement de départ peut être diminué si on considère l'utilisation de matériel de la région qui existe dans les petites villes, ainsi que les aides financières apportées par le gouvernement aux projets agricoles.

## 1.2 Caractéristiques de la production caprine

### 1.2.1 Races

Le troupeau sera composé de chèvres de la race alpine française (spécialisée en production de lait), très répandue dans diverses régions du monde. Une photo des chèvres représentatives de cette race est présentée sur la figure 34.



**Figure 34.** Animaux représentatifs de la race Alpine.

La race alpine est de corpulence moyenne (50 à 70 kg pour les femelles et 80 à 100 kg pour les mâles), au poil ras, cornu ou motte, avec ou sans pampilles et barbiche ; homogène dans sa morphologie, elle présente une large variété de couleurs de robe. Les couleurs prédominantes sont le brun rouge et le noir et occasionnellement avec des taches blanches. Cette race produit 800 à 1000 l de lait par lactation de 8 à 10 mois.

### 1.2.2 Inventaire et mode d'élevage

L'entreprise démarrera avec un troupeau de 100 chèvres adultes gestantes, divisées en deux lots de 50 chèvres. L'objectif de l'organisation de l'élevage en lots, comme déjà dit, est d'avoir une production de lait pendant toute l'année. Les activités d'élevage seront les mêmes pour les deux lots, mais appliquées à différentes dates en considérant l'époque de la mise bas. L'exploitation laitière commencera avec l'achat en février du premier lot de 50 chèvres gestantes de 4 mois avec date probable de la mise bas au mois de mars. Un deuxième lot de chèvres avec les caractéristiques du premier lot sera acheté en juin et la date probable de la mise bas sera le mois de juillet. Les détails généraux de la conduite des techniques de production, par lot, sont présentés dans la figure 35.

### 1.2.3 Infrastructure

L'infrastructure du local de production caprine sera constituée par six cours clôturées avec une aire couverte, abreuvoirs et auges, une salle de stockage, une salle de pratiques vétérinaires, une salle de mise bas, une infirmerie et la salle de traite. Il y aura aussi une surface de pâturage (2 hectares), divisée en lots qui servira de parc ; elle sera équipée d'un module d'irrigation et clôturée avec du fil électrique. Du matériel d'élevage notamment des écorneurs électriques, pince à tatouer, équipement pour l'insémination artificielle, thermos d'azote liquide, réfrigérateur, balance, et divers autres petits équipements nécessaires pour l'élevage et le nettoyage, seront achetés.

### 1.2.4 Activités de production et sanitaires

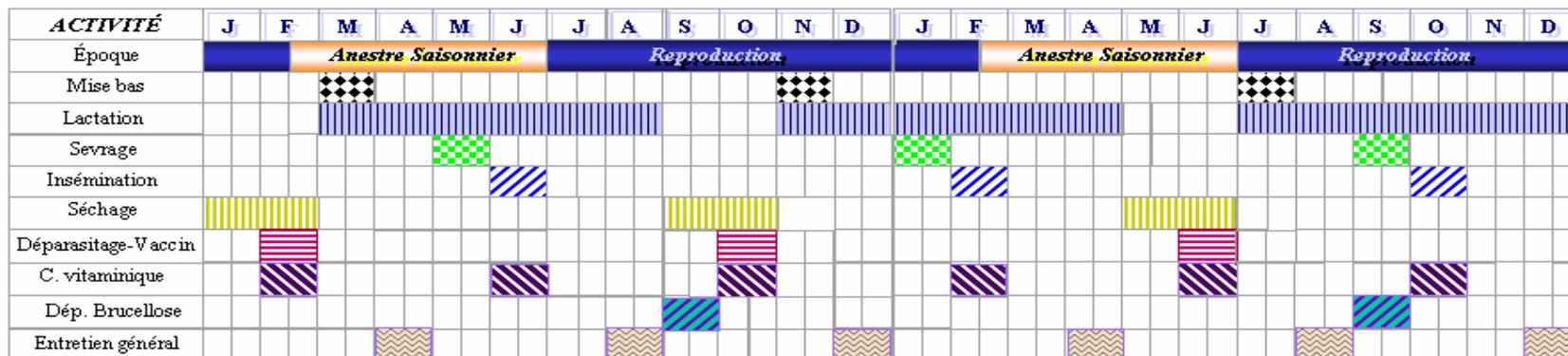
Les activités de production et sanitaires sont programmées comme indiqué sur le calendrier de production de la figure 35. Nous avons suivi ce calendrier afin de calculer les frais de toutes les activités concernant le développement du troupeau. Les principales activités sont les suivantes :

1) **Insémination artificielle.** L'insémination sera pratiquée 90 jours après la mise bas. Il y aura trois périodes d'insémination par an : février, juin et octobre. La première année, deux périodes correspondront au lot 1 (février et octobre) et la troisième au lot 2 (juin). Ensuite, l'année suivante, les périodes seront inversées ; c'est à dire, les deux périodes du lot 1 correspondront au lot 2 et celle du lot 2 au lot 1. Les chèvres adultes qui ne sont pas gestantes après la première insémination seront à nouveau inséminées 4 mois après. Dans le cas des chevrettes qui ne sont pas gestantes après la première insémination, elles seront vendues au marché de la viande.

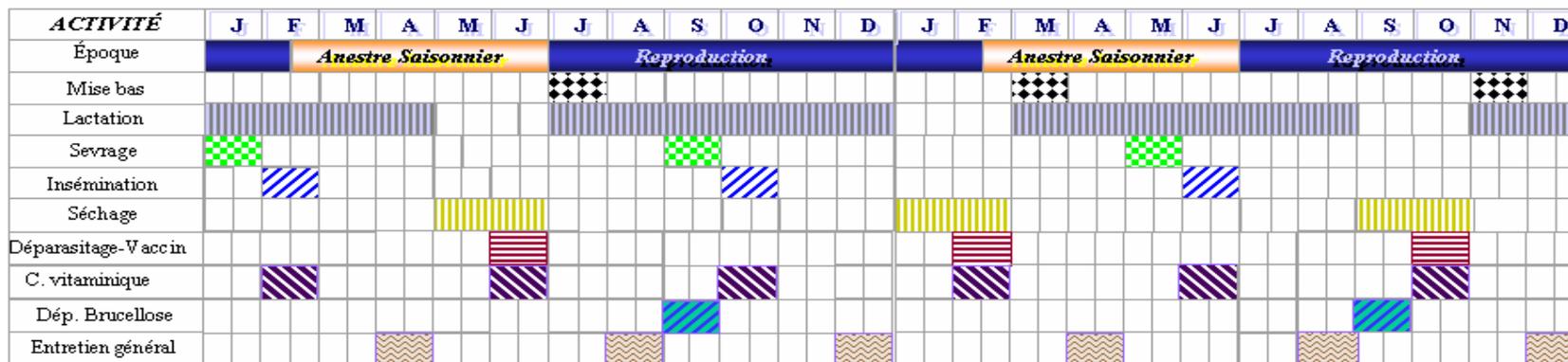
2). **Mise bas.** Les chèvres sont contrôlées pour mettre bas trois fois en deux ans, ce qui correspond à une mise bas tous les 8 mois. Les mise bas pour les deux lots se feront pendant les mois de mars, juillet et novembre, deux correspondront au lot 1, la première année et un au lot 2, et inversement la deuxième année.

## CYCLE DE PRODUCTION ANNUELLE D'UN TROUPEAU DE CHÈVRES ALPINES

### LOT 1

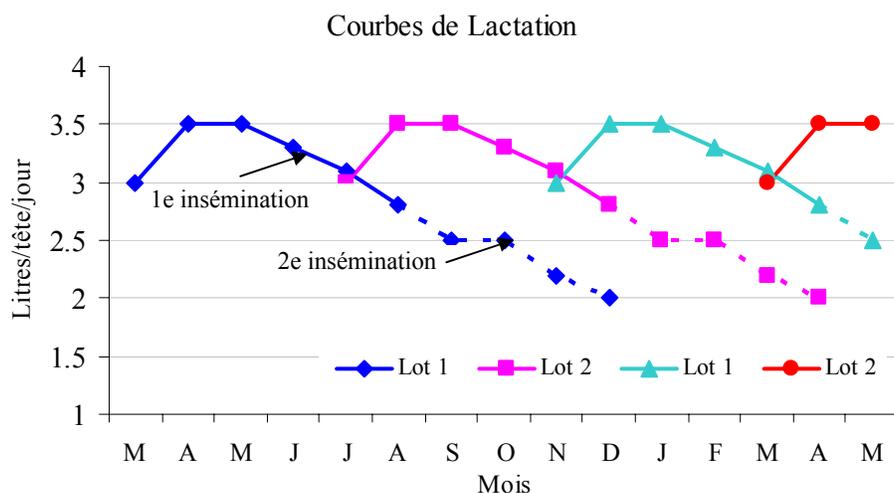


### LOT 2



**Figure 35.** Cycle de production annuelle et périodes d'application des activités de maniage d'un troupeau de chèvres alpines (Gallegos, 2002. Communication personnelle)

3). **Lactation.** Les périodes de lactation dureront six mois, suivront ensuite deux mois de non lactation (séchage), pour les chèvres qui sont gestantes par la première insémination et de 10 mois pour celles qui auront une deuxième insémination. La figure 36 montre l'organisation des périodes de lactation pour les deux lots de chèvres, avec les rendements moyens journaliers par tête attendus sur une période de 10 mois de : 3,0 ; 3,5 ; 3,5 ; 3,3 ; 3,1 ; 2,8 ; 2,5 ; 2,5 ; 2,2 ; 2,0.



**Figure 36.** Courbes de lactation théoriques de deux lots de chèvres (Lot 1 et Lot 2) pendant deux périodes consécutives

4). **Traite.** La traite se fera une fois par jour. Les produits nécessaires pour désinfecter la mamelle et la salle de traite seront mis à disposition.

5). **Allaitement.** Il sera de 400 g/jour le premier mois et de 750 g le deuxième mois (cas des chevrettes d'élevage).

6). **Sevrage.** Le sevrage se fera à l'âge d'un mois pour les chevreaux de boucherie (100% des mâles et 20 % des chevrettes) ; les chevrettes d'élevage sélectionnées seront sevrées à leur deuxième mois.

7). **Séchage** (période de non production de lait). Cette période commencera après le 6<sup>e</sup> mois de lactation (la chèvre aura 3 mois de gestation). Pour les chèvres qui ont eu une 2<sup>e</sup> insémination, le séchage commencera au 10<sup>e</sup> mois. Les médicaments nécessaires (anti-bactéricides) seront à disposition.

8). **Traitements sanitaires et entretien général.** Toutes les activités nécessaires pour la bonne santé des animaux : le déparasitage interne et externe (trois fois par an, en février, juin et octobre, deux correspondent au lot 1 et un au lot 2 pendant la première année et l'inverse la 2<sup>e</sup> année) ; la complémentation vitaminique et minérale, sera faite en même temps que le déparasitage et pendant les périodes critiques (sevrage, insémination) ; la vaccination sera réalisée après le sevrage, avant la mise bas et au 7<sup>e</sup> mois ; le dépistage de la brucellose sera effectué une fois par an ; l'armoire à pharmacie comprendra les médicaments nécessaires pour les soins de 10 % du troupeau avec trois traitements trois fois par an et l'entretien général pour l'écornage des chevrettes, la taille des onglons et le tatouage.

### 1.2.5 Alimentation

L'alimentation du troupeau sera à base de concentrés (Tableau 45), de deux types (de démarrage : à partir du 7<sup>e</sup> jour, et de production), complétée par des bottes d'avoine (paille et grain).

**Tableau 45.** Composition de l'aliment concentré, en base sèche

<b>Composant</b>	<b>% MS</b>
Sorgho	68.2
Farine de soja	10.2
Enveloppe de riz	7.3
Gluten de maïs	6.2
Mélasses	5.9
Complément minéral et vitaminique	2.2

Source : Mera Zúñiga (Communication personnelle, 2002)

La quantité de concentré sera déterminée suivant l'âge et l'étape physiologique de la chèvre, comme indiqué dans le tableau 46.

La consommation sera de 4 % du poids vif (50 kg pour les adultes), en base sèche.

**Tableau 46.** Plan d'alimentation par tête selon l'étape physiologique des animaux

<b>Etape</b>	<b>Concentré (g)</b>	<b>Bottes d'avoine (g)</b>
1. Lactée (7 jour-1 mois)	60	-
2. Sevrage (1-2 mois)	100	-
3. Post-sevrage (3-5 mois)	200	750
4. Développement (6-11 mois)	400	1200
6. Gestation (1-3 mois)	400	1600
5. Gestation (4-5 mois)	500	1500
7. Lactation (1-2 mois)	800	1200
8. Lactation (3-4 mois)	700	1300
9. Lactation (5-6 mois)	600	1400
10. Non lactation	400	1600

Source : Mera Zúñiga (Communication personnelle, 2002)

### 1.2.6 Produits

Les produits à la vente dans l'aire de production caprine seront :

1. Chevreaux de boucherie. Ils seront mis à la vente à l'âge d'un mois, au poids d'environ 10 kg vif. Le prix sera de 350 pesos/chevreau. C'est un produit saisonnier relativement cher, et il sera mis à la vente aux mois d'avril, d'août et de décembre.
2. Chevrettes d'élevage âgées de 13 mois et deux mois de gestation, à un prix de 3 000 pesos/tête.
3. Chevrettes pour la viande. Destinées au marché de la viande, les chevrettes qui n'ont pas été gestantes à la première insémination. Elles auront un poids vif de 45 kg au prix de 17,8 pesos/kg.
4. Chèvres de rebut. Chèvres de plus de 5 ans de production ou qui ne sont pas gestantes après la deuxième insémination. Elles auront un poids vif moyen de 55 kg au prix de 17,8 pesos/kg.
5. Le fumier. Il sera utilisé dans l'aire de pâturage.

### **1.3 Caractéristiques de l'aire de transformation**

L'aire de transformation est la plus importante du projet, car le fromage sera le principal produit, et c'est une manière d'augmenter la valeur du lait de chèvre et d'améliorer la rentabilité de l'entreprise. La méthode de fabrication est décrite dans la partie Méthodes. La méthode de fabrication a été prise en compte pour déterminer les coûts de transformation.

#### **1.3.1 Infrastructure de la fromagerie**

Il s'agit d'une petite agro-industrie de fabrication de fromage pimenté, qui sera constituée de diverses aires : aire technologique, laboratoire, chambre froide, salle de stockage, et salle pour le matériel. Pour faciliter l'évaluation financière, le système de traitement des eaux résiduaires ne sera pas pris en compte.

L'équipement de pasteurisation et de fabrication choisi est d'origine italienne. C'est une mini usine intégrée modèle CS4 adaptée aux petites surfaces, et intégrant les diverses étapes dans une unité de base comme la chaudière qui fournit de l'eau chaude et froide pour la pasteurisation automatique, la cuve de coagulation et la table d'égouttage. La capacité de cet équipement est de 600 l par séance (la quantité de lait à transformer sera d'un peu plus de 300 l/jour), une puissance de 2,5 kW, consommation d'eau pour le nettoyage de 600 l et une consommation de vapeur de 65 kg/h. Les normes de référence sont la 92/46 CEE pour le process de production et la 89/392 CEE pour l'équipement. Les équipements complémentaires sont : une pompe, grilles de séchage, centrale de production d'eau chaude et froide, moules, matériel de laboratoire, et une balance électronique.

#### **1.3.2 Produits proposés**

Le principal produit pour le marché sera le fromage de coagulation mixte, frais, de lait de chèvre pasteurisé, au piment jalapeño rouge et vert avec deux niveaux de brûlant, 0,5 et 1,0 mg de capsaïcinoïdes par 100 g de caillé. Le poids du fromage sera de 150 g au prix de 18,00 pesos, ce qui correspond à 120,00 pesos/kg. Le lactosérum, au début, sera offert au troupeau pour compléter l'alimentation.

### **1.3.3 Réglementation**

L'entreprise appliquera les normes que toute industrie alimentaire et spécifiquement l'industrie laitière et de fabrication de fromage, doit respecter au Mexique, comme la norme sanitaire pour le lait et les produits laitiers pasteurisés ; la réglementation du Secrétariat à la Santé pour les industries laitières ; les normes publiées dans le Journal Officiel de la Fédération pour le lait, les dispositions et spécifications sanitaires (NOM-091-SSA1-1994) et sur la qualité des fromages (NMX-F-092-170).

## **1.4 Frais légaux**

### **1.4.1 Organisation et aspects légaux**

L'entreprise sera une Société Anonyme de Capital Variable. La raison en étant que ce type de société reçoit des aides fiscales et de financement pour le démarrage, le développement des produits et des marchés nationaux et internationaux.

Le but de l'entreprise sera la production, la transformation et la commercialisation des produits du lait de chèvre et le transfert de technologie.

L'autorisation pour la création de l'entreprise se fait auprès du Secrétariat aux Relations Extérieures (SRE) après une demande de licence sanitaire au Secrétariat de la Santé. Cette demande aboutira lorsque l'entreprise sera aux normes légales des industries alimentaires.

Il sera aussi nécessaire de réaliser d'autres démarches administratives, une autorisation d'implantation de l'entreprise doit être demandée à la Direction des Travaux Publics et du Développement Urbain (coût de 200,00 pesos) ; une demande des disponibilités des services (électricité, eau et égouts) et le rattachement à un coût minimal ; une permission de l'impact urbain au Bureau de Développement Urbain (coût de 175,00 pesos) ; une permission de l'impact et du risque environnemental au Secrétariat à l'Ecologie du Gouvernement de l'Etat de Mexico ; une licence d'écologie et protection civile de la ville de Texcoco ; une licence de protection et usage du sol de l'Office des usages du sol (coût de 420,00 pesos, si la surface est inférieure à 150 m<sup>2</sup>, les prix augmentent si elle est supérieure) ; une licence de construction au Bureau Municipal

(coût de 24.00 pesos/m<sup>2</sup>). Les démarches pour obtenir ces permissions peuvent prendre de 10 à 15 jours chacune et il est nécessaire de présenter divers documents, notamment la carte de propriété et le plan du projet. Certains coûts des services peuvent être minorés ou offerts sur demande à l'administration de la ville.

#### **1.4.2 Management et personnel**

L'entreprise sera fonctionnelle avec un administrateur, deux opérateurs dans l'aire caprine et deux opérateurs dans l'aire de transformation. Un vétérinaire fera des visites hebdomadaires.

### **1.5 Analyse économique**

#### **1.5.1 Horizon d'Evaluation**

En considérant la proposition d'une exploitation laitière en lots, une évaluation financière mensuelle pendant une période de trois ans a été décidée. A partir de la troisième année, la production se stabilise par rapport aux coûts. L'évaluation mensuelle permettra de connaître les étapes de production optimale de chaque produit, le lait, les chevreaux, les chevrettes d'élevage et les chèvres de rebut, ainsi que les dépenses liées à l'entretien des animaux. Au dernier mois de la troisième année, nous considérerons la valeur résiduelle des actifs et pour les années successives, nous supposons que le bilan comptable est semblable à celui de la 3<sup>e</sup> année.

Tous les coûts sont estimés en se basant sur les paramètres productifs du troupeau et le procédé de transformation du lait, ainsi que les montants des différents investissements, la rentabilité et le temps de récupération des investissements grâce aux cash-flows sécrétés.

Afin d'obtenir des arguments qui nous permettront de déduire des conclusions sur la rentabilité de ce projet de production, trois critères d'évaluation des projets d'investissement sont estimés : la VAN (Valeur Actuelle Nette), le TRI (Taux de Rentabilité Interne) et l'Indice de Profitabilité (IP) ou le Rapport Bénéfices/Coûts (B/C), lesquels seront définis après.

## **1.5.2 Aspects productifs du troupeau**

### **1.5.2.1 Les paramètres de la production caprine**

La valeur des paramètres productifs de la production laitière et de développement du troupeau est celle rapportée dans la littérature et les données rassemblées des exploitations intensives caprines (Tableau 60, annexe III). Ces données sont :

- 1) Insémination artificielle, tous les 8 mois, réalisée 3 mois après la mise bas.
- 2) Prolifération, 1,5 petit/chèvre/mise bas, dont 50 % femelles et 50 % mâles.
- 3) Fausses couches, 3 %.
- 4) Mortalité, à la naissance 3 %, au sevrage 2 %, pendant le développement 1 % et des adultes 1 %.
- 5) Chèvres de rebut, 10 % la deuxième année et 20 % à partir de la 3<sup>e</sup> année.
- 6) Fertilité 90 %.
- 7) Chevrettes d'élevage, sélection de 80 % des femelles nées, avec les meilleures caractéristiques.
- 8) Chevreaux de boucherie, âgés d'un mois : 100 % de mâles et 20 % des chevrettes qui ne répondent pas aux caractéristiques désirées.
- 9) Période de lactation, de 6 mois pour les chèvres qui sont gestantes à la première insémination et de 10 mois pour celles qui ont une deuxième insémination.
- 10) Insémination des chevrettes à l'âge de 11 mois et à un poids de 45 kg.
- 11) Période reproductive de 7 ans.
- 12) Fumier, 500 g/jour pour les adultes et 200 g pour les chevrettes.

### 1.5.2.2 Méthode de calcul du développement du troupeau

La base du calcul est un troupeau de 100 chèvres, divisées en deux lots de 50 chèvres avec une date différente de la mise bas, ce qui détermine la période d'application des activités d'élevage et avec la valeur des paramètres productifs (Tableau 60, annexe III), on obtient le développement mensuel de la production caprine (Tableau 61, annexe III). Le tableau 47 illustre la base de calcul de la production du troupeau.

**Tableau 47.** Exemple de calcul de la productivité mensuelle du troupeau

Concept	Mois					
	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin
Chèvres gestantes de 4 mois		50				
Chèvres qui viennent de mettre bas			50			
Chèvres d'un mois de lactation				50		
Chevreaux nés vifs (mâles et femelles)			72			
Chevrettes d'un mois d'âge				28		

**Exemple:** les chèvres qui viennent de mettre bas et en lactation sont celles gestantes de 4 mois à la période précédente. Les chevrettes d'un mois d'âge correspondent aux petits nés vifs à la période précédente et divisés par 2 (on suppose qu'à la naissance, 50 % sont femelles et 50 % mâles) en soustrayant la mortalité au sevrage (divisé par 2 : une moitié correspond aux femelles et l'autre aux mâles), multiplié par 80% (chevrettes sélectionnées pour l'élevage).

Les chevrettes d'élevage gestantes seront en premier destinées à remplacer les chèvres de rebut ou mortes, pour maintenir les 100 chèvres en production, les restantes seront vendues comme chèvres d'élevage gestantes. Aux chevrettes d'élevage s'applique aussi la mortalité de développement.

La production totale de lait est la somme des chèvres en lactation multiplié par le rendement correspondant à l'étape de lactation. Le lait destiné à l'alimentation des petits est obtenu à partir de la consommation journalière des chevreaux et chevrettes en allaitement (un mois d'allaitement pour les chevreaux et deux pour les chevrettes d'élevage). Le lait destiné à la fabrication de fromage correspond à la production totale moins le lait pour l'alimentation des petits (cela fera les rendements mensuels présentés

sur le tableau 61 (annexe III). Le fromage destiné au marché est égal à la quantité de lait destiné à la transformation divisé par le rendement fromager (en kg de lait par kg de fromage ; pour des raisons de simplification des calculs, on prendra la masse volumique du lait égale à 1).

Le fumier produit correspond à la quantité de chèvres adultes et de chevrettes par la quantité produite.

### **1.5.3 Investissement**

#### **1.5.3.1 Intégration de l'Investissement**

L'investissement considérera les concepts suivants, les détails, sont présentés sur le tableau 62 (annexe III).

##### **1. Acquisition des terrains**

On prévoit l'achat de deux aires, une de 1000 m<sup>2</sup> pour les constructions destinées au troupeau caprin et l'autre de 200 m<sup>2</sup> pour l'installation fromagère. Le prix, selon l'office du cadastre de la ville de Texcoco est de 150 pesos/m<sup>2</sup>.

La surface de pâturage, de 2 hectares, sera louée car le prix d'achat est élevé, en raison de la proximité de la zone urbaine. Le loyer sera de 5000 pesos/an.

##### **2. Constructions et installations**

*a) Exploitation laitière.* Elle est constituée de 6 cours de 616 m<sup>2</sup> avec un plafond de 3 m, cloisons, poteaux, équipés d'auges, d'abreuvoirs, de couloirs d'alimentation et de service. Il est recommandé de prévoir 1,5 m<sup>2</sup> par chèvre. Agraz (1989), indique comme minimum par chèvre de 0,5 m<sup>2</sup> avec plafond et de 1 m<sup>2</sup> sans plafond. Les autres locaux sont une salle de travaux vétérinaires de 20 m<sup>2</sup>, une salle de stockage de 45 m<sup>2</sup>, une salle de mise bas de 50 m<sup>2</sup>, une infirmerie de 25 m<sup>2</sup>, et la salle de traite de 10 m<sup>2</sup>, l'aire restant correspond aux couloirs d'accès et aux portails. Le plan général est présenté en annexe.

*b) Section de transformation laitière.* La transformation laitière est composée de l'aire de fabrication, la salle froide, la salle de stockage, un petit laboratoire, un bureau et les

toilettes. La construction respectera les normes de toute industrie de transformation laitière. Le coût comprend l'installation d'eau, d'électricité, de gaz et d'égouts. Le coût de traitement des eaux résiduaires n'est pas pris en compte.

### 3. Equipement

a) *Equipement de l'aire caprine.* L'équipement nécessaire pour l'insémination artificielle (thermos d'azote, décongélateur, inséminateur), réfrigérateur, balance et l'équipement de traite.

b) *Equipement de l'aire de transformation laitière.* L'équipement est une unité intégrée qui comprend le nécessaire pour transformer le lait en fromage, une chaudière et une centrale de production et circulation d'eau chaude et froide, la cuve de pasteurisation équipée d'agitateur, de support, de tableau de contrôle, de dispositif d'inclinaison, vannes et conduites, ainsi que des équipements complémentaires comme une pompe, une table d'égouttage, le bac de coagulation, les moules, le matériel de laboratoire et deux balances.

c) *Mobilier et informatique.* Le mobilier nécessaire pour le bureau (bureau, chaises, armoire) est inclus, ainsi que l'ordinateur, l'imprimante, le téléphone et le fax.

### 4. Autres investissements

a) *Camionnette.* L'achat d'une camionnette de 1,5 tonne est nécessaire.

b) *Acquisition des chèvres.* Un troupeau de 100 chèvres de la race alpine française de première gestation de 4 mois, au prix de 3000 pesos/chèvre.

#### **1.5.3.2 Planning de l'investissement**

L'investissement est réalisé pendant les 6 premiers mois, le tableau 63 (annexe III) présente la distribution des investissements de chaque aire et les ressources nécessaires par mois. L'investissement total est de 2 575 149,00 pesos, 70 % (1 802 604,00 pesos) seront financés par le Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage du Développement Rural, de la Pêche et de l'Alimentation (SAGARPA) et 30 % (772 545,00 pesos) sont apportés par l'entreprise. Si bien que les deux options n'ont pas d'incidence financière, parce qu'il s'agit de ressources d'aide à la petite industrie agroalimentaire (SAGARPA) et de

ressources propres, nous évaluons le projet avec un coût financier indépendamment de la source de financement, bénéficiant d'un taux d'intérêt minimal du CETES (Certificats du Trésor Public).

### **1.5.3.3 Amortissement et Valeur Résiduelle des Actifs**

On utilise une dépréciation linéaire des actifs (perte graduelle de la valeur des actifs, causée par l'usage, le temps ou l'obsolescence technologique). Le tableau 64 (annexe III), présente la dépréciation mensuelle et annuelle des actifs, ainsi que sa valeur de cession à l'année 3. La valeur de cession ou valeur résiduelle des actifs s'obtient en soustrayant la dépréciation à l'année 3 de la valeur initiale. Le produit de cession, net d'impôt, est ajouté au dernier cash-flow.

## **1.5.4 Coûts Unitaires**

### **1.5.4.1 Coûts de production de l'aire caprine**

Les coûts de l'aire de production caprine sont constitués des coûts unitaires de l'alimentation, des activités de production, d'entretien et de reproduction (Tableau 65, annexe III) ; des médicaments de l'armoire à pharmacie (Tableau 66, annexe III) ; du matériel d'entretien, de nettoyage et de protection (Tableau 67, annexe III) ; des matières premières (Tableau 68, annexe III) et les coûts de maintenance des actifs (Tableau 69, annexe III).

*a) Coûts de l'alimentation.* Le prix des deux types de concentré prévus est : de démarrage 4 400,00 pesos/tonne et d'élevage-production 2 100,00 pesos/tonne ; les bottes d'avoine (grains et paille) de 28 kg, 22,00 pesos. Le prix du lait est de 4,17 pesos/litre, lequel n'est pas pris en compte dans le coût de l'alimentation car il est issu de la production. Le prix unitaire journalier de l'alimentation est présenté au tableau 48, obtenu à partir des quantités nécessaires par étape physiologique des animaux (Tableau 46, section 1.2.5).

*b) Coûts unitaires d'entretien.* Coût du matériel et des médicaments nécessaires pour réaliser l'entretien général et sanitaire.

**Tableau 48.** Coûts unitaires/jour de l'alimentation par rapport à l'étape physiologique

Étape	Lait		Concentré (kg)			bottes (kg)		Coût
	Consom. kg	Coût pesos	allait.	Sevr./ Prod.	Coût pesos	Avoine	Coût pesos	Total pesos
1. Lactée (7 jour-1mois)	0,400	1,67	0,060		0,26	-	-	0,26
2. Sevrage (1-2 mois)	0,750	3,13		0,100	0,21	-	-	0,21
3. Post-sevrage (3-5 mois)				0,200	0,42	0,750	0,80	1,22
4. Elevage (6-11 mois)				0,400	0,84	1,200	1,29	2,13
6. Gestation (1-3 mois)				0,400	0,84	1,600	1,71	2,55
5. Gestation (4-5 mois)				0,500	1,05	1,500	1,61	2,66
7. Lactation (1-2 mois)				0,800	1,68	1,200	1,29	2,97
8. Lactation (3-4 mois)				0,700	1,47	1,300	1,39	2,86
9. Lactation (5-6 mois)				0,600	1,26	1,400	1,50	2,76
10. Non lactation (sèches)				0,400	0,84	1,600	1,71	2,55

c) *Armoire de pharmacie.* Coût des médicaments et matériel nécessaires pour 10 % du troupeau, pour un traitement de 3 jours, 3 fois par an.

d) *Matériel de nettoyage, entretien et protection.* Coût du matériel nécessaire de nettoyage, entretien et protection. La vie utile de ce matériel est prise en compte.

e) *Eau, électricité, et carburants.* Le coût est obtenu à partir d'une estimation de la consommation journalière d'eau, électricité et carburants nécessaires pour l'exploitation laitière et le nettoyage.

f) *Main d'oeuvre.* Le salaire des opérateurs est 2,5 supérieur au salaire minimum/jour (le salaire minimum/jour de la zone centrale, dont la ville de Texcoco, est de 45,81 pesos) et les frais du conseiller vétérinaire représentent 7 salaires minimum/visite.

g) *Maintenance des constructions, installations et équipement.* Pendant les 4 premières années, le coût de maintenance est de 5 % du coût initial des constructions, des installations et de l'équipement. Pour le terrain de pâturage, il est seulement pris en compte le coût d'irrigation (1,5 m<sup>3</sup> d'eau/m<sup>2</sup>), car le fumier utilisé comme engrais provient de l'exploitation.

### 1.5.4.2 Coûts de production de l'aire de transformation

Les coûts de l'aire de transformation laitière comprennent le prix de la matière première nécessaire à la production du fromage (Tableau 68, annexe III), le prix du matériel de nettoyage et de protection (Tableau 67, annexe III) et le coût de maintenance des constructions, des installations et de l'équipement (Tableau 69, annexe III).

a) *Matière première.* S'estime par rapport aux besoins de ferments, de présure, de piment et de sel, nécessaires pour transformer 1000 l de lait ou 1000 kg de fromage.

b) *Matériel de nettoyage, entretien et protection.* La consommation et le matériel nécessaire selon les besoins.

c) *Eau, électricité, et carburants.* La consommation journalière d'eau, d'électricité et de carburant nécessaires pour la transformation et le nettoyage. Est pris en compte le carburant de la camionnette.

d) *Main d'oeuvre.* Pour les opérateurs 2,5 salaires minimum/jour et pour l'administrateur, 8 salaires minimum/jour.

e) *Maintenance des constructions, installations et équipement.* Les 4 premières années, un coût de maintenance de 5 % du coût initial des constructions, des installations, des équipements et de la camionnette (entretien).

Les prix des diverses matières premières et des matériels nécessaires à l'exploitation caprine et l'aire de fabrication de fromage ont été obtenus des pharmacies vétérinaires de la ville de Texcoco, des centres commerciaux et de distribution. Les consommations d'eau, d'électricité et de carburants sont estimées suivant les approches des rapports d'une petite industrie de transformation de lait de vache de l'Université Autonome Chapingo et les prix des diverses entités fédérales comme la Commission Fédérale d'Electricité, Pétrole Mexicain. Les coûts des démarches administratives ont été obtenus au Bureau des Services Publics de la ville de Texcoco ; les salaires de la Commission des Salaires Minimums ; le téléphone de l'entreprise Téléphones du Mexique ; le prix des équipements de fabrication de fromage ont été demandés à l'entreprise « Ricci matériel, équipements et pièces » de la ville de Texcoco.

## **1.5.5 Coûts, Revenus, Marge Brute et Flux Net de Trésorerie**

### **1.5.5.1 Coûts totaux**

Le tableau 70 (annexe III) synthétise les détails des coûts avant impôt par mois qui représentent l'évolution de l'entreprise sur 3 ans. Ces coûts représentent l'ensemble des coûts de production de l'aire caprine, du terrain de pâturage, de la fabrication de fromage, de la matière première, des ventes, de la main d'œuvre, de la maintenance et de la dépréciation des constructions, des installations et des équipements.

### **1.5.5.2 Revenus**

Les revenus avant impôt présentent l'ensemble des recettes des ventes par mois et l'évolution de l'entreprise sur 3 ans. Dans la dernière période est intégrée la valeur de cession des actifs (Tableau 70, annexe III).

### **1.5.5.3 Marge Brute**

Le tableau 70 (annexe III) présente la marge brute avant impôt (revenus moins coûts).

### **1.5.5.4 Flux Net de Trésorerie**

Le Flux Net de Trésorerie, présenté au tableau 71 (annexe III), correspond à la marge brute après le paiement du crédit de l'investissement et du crédit de production (nécessaire pour produire les premiers 6 mois).

### **1.5.5.5 Procédé de paiement des crédits**

L'entreprise utilise deux crédits : le crédit d'investissement (comme il a été expliqué auparavant, l'investissement est considéré comme crédit) et le crédit de production (crédit à court terme) nécessaire pour démarrer la production les premiers 6 mois. Le taux de charges utilisé est celui des CETES à 28 jours (7,05 % annuel, converti à la période mensuelle).

Le montant du crédit de production est équivalent à la valeur future à 6 mois des marges brutes (négatives) des deux premières périodes de production et permet de couvrir les premiers frais ; le remboursement des crédits commence 6 mois après ; pendant cette première période nous constituons un système d'épargne avec les marges brutes positives de la troisième à la sixième période placées au taux de rentabilité du CETES/2 (7,05%/2, pour les prêts est 7,05 %, mais 3,5 % pour les placements) ; et par la suite, dans les périodes où les marges brutes ne sont pas suffisantes pour payer au minimum les intérêts des crédits, des économies suffisantes doivent être réalisées le mois précédent. Le procédé de paiement est : d'abord l'intérêt du crédit de production, suivi de l'intérêt du crédit d'investissement, ensuite remboursement du capital de production, puis du capital d'investissement.

### 1.5.6 Evaluation de la rentabilité du capital

Pour évaluer la rentabilité des capitaux investis, les chiffres d'affaires et les comptes de résultat prévisionnels pour les trois années prévues, ils seront décomposés mois par mois suivant les méthodes de la comptabilité générale et feront apparaître le bénéfice net ou le cash-flow.

Nous utilisons trois critères d'évaluation de la rentabilité financière du projet : la Valeur Actuelle Nette (VAN) du flux net ou cash-flow (bénéfices nets) ; le Taux de Rentabilité Interne (TRI) et l'Indice de Profitabilité (IP) ou le Rapport Bénéfices/Coûts (B/C). Ces critères mesurent le bénéfice après impôts et amortissements ; ils permettent d'apprécier à chaque période la capacité d'autofinancement de l'entreprise et donc sa possibilité à se développer de façon autonome.

#### 1.5.6.1 La Valeur Actuelle Nette (VAN)

La valeur actuelle nette est la somme des flux nets actualisés à la date zéro (NAFINS, 1999). La VAN est définie :

$$VAN = \sum_{j=0}^{j=n} \frac{FN_j}{(1+i)^j} \quad \text{Equation (3)}$$

Où :  $FN_j$  = Flux net de la période  $j=0$  à  $j=n$

$i$  = Taux d'actualisation

$n$  = Périodes d'évaluation du project

Le taux d'actualisation utilisé dans le calcul de la VAN est le taux de rentabilité minimum exigé par l'entreprise, dans ce cas CETES à 28 jours. Théoriquement, ce taux représente le coût des capitaux utilisés par l'entreprise.

La décision d'investissement par rapport à la VAN :

Le projet d'investissement est considéré convenable si sa VAN est positive. Le projet d'investissement est d'autant plus intéressant que sa VAN est plus grande.

La VAN mesure l'avantage absolu susceptible d'être retiré d'un projet d'investissement. Elle dépend donc de l'importance du capital investi dans le projet. Elle ne permet pas de comparer des projets qui exigent des capitaux investis différents (Barreau *et al.*, 2006).

### 1.5.6.2 Le Taux de Rentabilité Interne (TRI)

Le taux de rentabilité interne  $i$  d'un projet, est défini de deux manières (NAFINSA, 1999) :

a) Comme le taux d'actualisation par lequel on obtient une VAN égale à zéro. C'est-à-dire, le taux pour lequel il y a équivalence entre le capital investi et l'ensemble des flows nets.

Algébriquement, il est représenté ainsi :

$$\sum_{j=0}^{j=n} \frac{FN_j}{(1+i)^j} = 0 \quad \text{Equation (4)}$$

Où :  $i$  est égal au taux de rentabilité interne et FN les flux nets.

b) C'est le taux de rentabilité maximal qui peut être payé ou qui gagne le capital non amorti pendant une période déterminée et qui conduit à la récupération du capital.

La décision de l'investissement par rapport au TRI :

Pour qu'un projet d'investissement soit acceptable, il faut que son taux de rentabilité interne soit supérieur au taux de rentabilité minimum exigé par l'entreprise. Ce taux est appelé alors « taux de rejet », dans ce cas est le taux des CETES à 28 jours.

Un projet d'investissement est d'autant plus intéressant que son taux de rentabilité interne est élevé.

### 1.5.6.3 Le Rapport Bénéfices/Coûts (B/C) ou l'Indice de Profitabilité (IP)

Le rapport bénéfices/coûts du projet est le quotient de la somme des bénéfices actualisés par le montant du capital investi plus la somme des coûts actualisés (NAFINS, 1999). Le rapport B/C est déterminé par l'équation suivante:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{j=0}^{j=n} \frac{BB_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^{j=n} \frac{I_j}{(1+i)^j} + \sum_{j=0}^{j=n} \frac{CO_j}{(1+i)^j}} \quad \text{Equation (5)}$$

Où : BB = Bénéfices bruts

I = Coûts des Investissements

CO = Coûts d'opération

i = Taux d'actualisation (CETES)

n = Vie utile du projet

La décision de l'investissement par rapport au rapport B/C :

Pour qu'un projet d'investissement soit acceptable, il faut que son indice de profitabilité ou le rapport B/C soit supérieur à 1, ça montre l'avantage par peso investi. Si le B/C est inférieur à 1 il vaut mieux retarder le projet, voire l'éliminer.

Un projet d'investissement est d'autant plus intéressant que son indice de profitabilité est plus grand.

### **1.5.7 Analyse de sensibilité**

Une analyse de la sensibilité du projet d'investissement a été réalisée, en variant de 15% en plus ou en moins les coûts des paramètres les plus importants. Les paramètres analysés sont l'alimentation, la main d'œuvre et la somme des deux, ainsi que l'impact du prix de vente du produit principal (fromage) et la faisabilité du projet si au lieu de produire du lait, on l'achète et au lieu de fabriquer le fromage on vend le lait cru. On évalue l'impact d'une augmentation de 8 points du taux de rentabilité. Finalement, comme a été indiqué (ChapII, 3.1.3), s'analyse la sensibilité du projet à une diminution de 50 % du rendement fromager obtenu.

## **2 Résultats et Discussion**

### **2.1 Productivité et structure des coûts et revenus**

L'analyse du développement du troupeau mois par mois nous a permis de déterminer les périodes de production et les quantités à la vente des principaux produits, ainsi que les coûts de production (Tableau 61, annexe III). Il y aura production de lait et de fromage pendant tous les mois de l'année ; les chevreaux de boucherie âgés d'un mois seront offerts durant les mois d'avril, août et décembre ; à partir de la 2<sup>e</sup> année seront proposées les chevrettes gestantes, les non gestantes et les chèvres de rebut, courant janvier, mai et septembre. Avec cette proposition d'exploitation caprine, on peut surmonter la limitation de production de lait sur l'année.

La production de lait attendue est de 98 200 l/an, dont environ 5 % sera destinée à l'alimentation des petits et tout le reste à la transformation, ce qui correspond à 93 700 litres/an (260 litres/jour), mais la production mensuelle de lait varie de 4 600 litres en février à 10 000 litres en août (Tableau 61, annexe III).

Analysant la structure des coûts/revenus (Tableau 70, annexe III), on observe que le projet disposera de revenus à partir de la 3<sup>e</sup> période. Les revenus les plus importants arriveront à partir de la 2<sup>e</sup> année, pendant les périodes où, en plus des fromages, on vend les chevrettes gestantes ; les revenus sont moins importants quand on ne vend que des chevreaux et du fromage, et ils sont les plus bas quand on vend uniquement du fromage.

La part des produits sur les revenus varie en fonction de la période de production : le fromage de 73 à 100 %, les chevrettes gestantes de 0 à 21 %, les chevreaux de 0 à 4 %, les chèvres de rebut de 0 à 2,7 % et les chevrettes non gestantes de 0 à 0,6 %. Le pourcentage de participation sur les revenus annuels, représente dans l'ordre : le fromage 91,8 % suivi respectivement de 6,1 %, 1,4 %, 0,4 % et 0,2 %, pour les autres produits ci-dessus précisés.

Les dépenses augmentent progressivement du premier au sixième mois quand on réalise les investissements et l'achat des deux lots de chèvres, ensuite elles deviennent relativement constantes à partir de la 2<sup>e</sup> année quand la production se stabilise, avec de légères augmentations ou diminutions en fonction de l'étape physiologique des chèvres et des chevrettes d'élevage.

Les dépenses les plus importantes sont la main d'oeuvre avec une participation de 21,3%, suivie de l'alimentation 9,4 %, les frais de vente 10,9 %, l'étiquetage et l'emballage 10,9 %, et enfin les frais divers 9,1 %. Résultat d'un investissement initial important, les coûts de maintenance et d'amortissement des constructions, installations et équipement sont élevés (21,8 %). Le pourcentage restant (16,6 %) correspond à la matière première, aux dépenses de fonctionnement (eau, électricité, carburant), au matériel de protection, de nettoyage, d'entretien des animaux, à l'assurance du véhicule et à la sécurité sociale.

Cette proposition d'exploitation intensive du lait de chèvre et l'intégration de la transformation laitière, permet de stabiliser la production de l'entreprise la 3<sup>e</sup> année, en considérant tous les produits proposés au marché, et les revenus deviennent suffisants à partir du démarrage de la production de lait (3<sup>e</sup> période) pour pourvoir aux besoins des coûts d'opération (Tableau 70, annexe III).

Pour d'autres types d'exploitations caprines au Mexique, les revenus les plus importants proviennent de la vente de chevreaux de boucherie mais un écart plus grand des naissances pose problème. Mellado (1994), indique que la période entre les mises bas peut être réduite jusqu'à 8 mois au Mexique, du fait que la chèvre sous ce climat peut avoir une activité d'ovulation pendant toute l'année.

Les divers concepts des coûts et des revenus seront plus ou moins importants en fonction des objectifs et de la taille des entreprises. Les exploitations caprines intensives

perçoivent les revenus les plus importants des produits dérivés du lait ; la dépense principale provient de la main d'œuvre (Espinoza *et al.*, 1990). Les ventes demandent aussi un pourcentage élevé de ressources.

## **2.2 Flux d'effectif et coût financier**

Comme présenté sur le tableau 62 (annexe III), l'investissement initial est d'environ 2,5 millions de pesos, et il est réalisé pendant les 6 premiers mois du projet. 63 % de l'investissement correspond à l'aire de transformation et le restant à l'exploitation caprine. Cet investissement initial est un peu élevé pour une petite entreprise de transformation laitière comme celle envisagée, mais il doit être possible de diminuer les dépenses de certains postes en fonction de la région de localisation du projet, des avances du projet et des objectifs de l'investissement. La fromagerie commencera à travailler à 60 % de sa capacité, ce qui démontre que l'entreprise a la possibilité de grandir sans investissement additionnel.

Les flux nets de trésorerie sont égaux à zéro dès le démarrage du projet jusqu'à la 28<sup>ème</sup> période où l'investissement initial et le crédit de production sont payés et l'entreprise commence à avoir de bénéfiques nets, en raison de la décision de payer les dettes à partir du 6<sup>e</sup> mois. Comme il a été dit auparavant, dans la dernière période on intègre la valeur résiduelle des actifs (constructions, installations et équipement), en supposant que le cycle de production de l'entreprise est de 3 ans ou 36 périodes (Tableau 71, annexe III).

Le crédit de production demandé pour démarrer les 6 premiers mois et leurs intérêts, sont payés à la 7<sup>ème</sup> période grâce à l'épargne créée. Le crédit d'investissement et les intérêts générés sont payés de la 7<sup>ème</sup> à la 28<sup>ème</sup> période. Ceci montre que le projet de production et transformation laitière, avec les hypothèses décrites générera des bénéfiques nets avant les 2 ans et demi.

Il est difficile de comparer, avec d'autres propositions d'exploitation, le temps de récupération du capital investi dans ce projet, puisque les objectifs et les conditions d'exploitation sont très différents. Agraz (1989), a indiqué que dans les exploitations semi-intensives de chèvres, on récupère plus de 81 % de l'investissement initial pendant la première année et dans les exploitations intensives on récupère 50 % pendant la même période, puis à partir de la 3<sup>ème</sup> année, elles donnent des bénéfiques.

### 2.3 Résultats des critères d'évaluation de la rentabilité financière du projet

Le tableau 49 présente les valeurs des critères d'évaluation du projet d'investissement, sous les hypothèses et sous les suppositions d'investissement, de production, de ventes et de paiement du capital décrits, en considérant ou non la valeur résiduelle des actifs dans la dernière période d'évaluation du projet (période 36).

**Tableau 49.** Valeur des principaux critères d'évaluation du projet d'investissement qui montrent la rentabilité de l'entreprise sur une période de vie de 3 ans

<b>Critère d'évaluation</b>	<b>Avec Valeur Résiduelle</b>	<b>Sans Valeur Résiduelle</b>
Valeur Actuelle Nette	2 489 485	960 288
Taux de Rentabilité Interne par période	14,09 %	11,74 %
Rapport Bénéfices/Coûts ou Indice de profitabilité	1,41	1,15
Taux d'Opportunité utilisé par période (CETES)	0,57 %	0,57 %

Avec la valeur résiduelle, les valeurs des critères d'évaluation sont plus élevées, car la valeur de cession des actifs à la 3<sup>e</sup> année est encore très importante ; et sans la valeur résiduelle (VR) les critères d'évaluation nous montrent plus précisément la rentabilité. La VAN obtenue est positive, ce qui indique que ce projet d'investissement est acceptable. Dans le cas où la valeur résiduelle est considérée, la VAN obtenue est comparable à l'investissement initial et quand la valeur résiduelle n'est pas prise en compte, la VAN est encore très intéressante.

Le TRI obtenu (14,09 % et 11,74 % avec et sans la valeur résiduelle des actifs) est supérieur au taux de rentabilité minimum exigé par l'entreprise de CETES, ce qui indique que si on développe ce projet d'investissement, il aura une rentabilité supérieure à celle attendue. Le rapport B/C obtenu est supérieur à 1 (1,41 et 1,15 avec et sans valeur résiduelle), ce qui indique que les bénéfices obtenus sont suffisants pour couvrir l'investissement et les coûts générés au taux d'actualisation de CETES, autrement dit, la réalisation de l'investissement considéré consiste à recevoir 1,41 ou 1,15 pesos par peso décaissé, c'est-à-dire, l'avantage par peso investi, est de 0,41 ou 0,15 pesos, avec et sans la valeur résiduelle, respectivement.

Ces valeurs des critères d'évaluation, montrent que le projet d'investissement est acceptable sous les suppositions établies pour son développement. Les bénéfices nets (une fois les crédits payés) sont obtenus à partir de la période 27, ce que indique qu'à cette période, l'entreprise récupère les investissements réalisés.

## 2.4 Sensibilité du Projet

Nous analyserons la sensibilité du projet d'investissement par rapport à la variation des valeurs des critères d'évaluation financière, provoquée par la variation de 15 % des coûts des principaux paramètres comme l'alimentation du troupeau, la main d'œuvre, la somme des deux, le prix du fromage, ainsi qu'une variation de 8 % sur le taux de rentabilité, et si nous supposons que l'entreprise n'assure qu'une production de lait ou que l'entreprise achète le lait et le transforme en fromage. Nous comparerons ces situations à notre projet de départ (intégration production laitière-transformation).

### 2.4.1 Sensibilité du projet à une variation du coût de l'alimentation du troupeau

La sensibilité du projet d'investissement, provoquée par la variation de 15 % du coût de l'alimentation du troupeau est présentée tableau 50.

**Tableau 50.** Valeur des critères d'évaluation du projet d'investissement quand les coûts de l'alimentation varient en 15 %

Critère d'évaluation	Alimentation +15 %		Alimentation -15 %	
	Avec VR	Sans VR	Avec VR	Sans VR
VAN	2 435 645	906 449	2 543 324	1 014 127
TRI (% par période)	13,90 %	11,42 %	14,29 %	12,06 %
Rapport B/C	1,40	1,14	1,42	1,16

VR= valeur résiduelle

La variation des valeurs des critères d'évaluation économique (Tableau 50), comparés à ceux sous conditions normales du projet (Tableau 49), montre que ce projet d'investissement est peu sensible aux variations de 15 % du coût de l'alimentation du troupeau. L'entreprise continue à être rentable si le coût de l'alimentation du troupeau augmente de 15 %, il est clair qu'en diminuant le coût de 15 %, les bénéfices sont plus intéressants. Les trois critères ont des valeurs acceptables et ne varient pas beaucoup

comparés à ceux décrits auparavant sous conditions normales de fonctionnement ; la principale différence est que les bénéfices nets, après le paiement des crédits, commencent à partir de la période 28 si le coût de l'alimentation augmente de 15 % et à la période 27 si ce coût diminue de 15 %. La variation de 15 % du coût de l'alimentation a un faible impact sur la rentabilité du projet, compte tenu que ce coût est peu représentatif comparé à l'investissement initial.

#### 2.4.2 Sensibilité du projet à une variation du coût de la main d'oeuvre

Le tableau 51 présente les valeurs des critères d'évaluation du projet d'investissement quand le coût de la main d'oeuvre varie de 15 %.

**Tableau 51.** Valeur des critères d'évaluation du projet quand les coûts de la main d'oeuvre varient de 15 %

Critère d'évaluation	Main d'oeuvre +15 %		Main d'oeuvre -15 %	
	Avec VR	Sans VR	Avec VR	Sans VR
VAN	2 344 141	814 945	2 634 828	1 105 632
TRI (% par période)	13,61 %	10,87 %	14,59 %	12,56 %
Rapport B/C	1,38	1,12	1,44	1,17

VR= valeur résiduelle

Le coût de la main d'oeuvre représente 21,3 % du coût total de production, mais comparé à l'investissement du projet, ce pourcentage devient peu important. L'entreprise est plus sensible à une variation de 15 % du coût de la main d'oeuvre, qu'à la variation du coût de l'alimentation du troupeau. Les valeurs des critères d'évaluation du projet montrent peu de sensibilité à cette variation et l'entreprise continue à être rentable ; les bénéfices commencent à partir de la période 28 quand le coût de la main d'oeuvre augmente et à la période 26 quand il diminue.

#### 2.4.3 Sensibilité du projet à la variation de 15 % des coûts d'alimentation et de main d'oeuvre

La sensibilité des critères d'évaluation du projet provoquée par la variation de 15 % des coûts de l'alimentation et de la main d'oeuvre, est présentée tableau 52.

**Tableau 52.** Valeur des critères d'évaluation du projet quand les coûts de l'alimentation et de la main d'œuvre varient de 15 %

Critère d'évaluation	Alimentation et MO+15 %		Alimentation et MO-15 %	
	Avec VR	Sans VR	Avec VR	Sans VR
VAN	2 290 302	761 105	2 688 668	1 159 471
TRI (% par période)	13,42 %	10,52 %	14,81 %	12,88 %
Rapport B/C	1,37	1,11	1,46	1,18

VR= valeur résiduelle

Comme c'était à prévoir, les critères d'évaluation du projet sont plus sensibles à la variation de 15 % des deux principaux concepts des coûts de production ; mais le projet continue à être rentable. Les valeurs des critères d'évaluation sont encore attractifs si les coûts d'alimentation et de main d'œuvre augmentent de 15 % ; les bénéfices après le paiement des compromis financiers sont obtenus à partir de la période 29 ; dans ce cas, les recettes de la période 14 ne sont pas suffisantes pour le paiement des intérêts des crédits et des économies dans la période 13 sont nécessaires. Si les coûts des ces deux concepts diminuent, les bénéfices nets commencent à la période 25.

#### 2.4.4 Sensibilité du projet à une variation de 15 % du prix de vente du fromage

Les valeurs des critères d'évaluation du projet quand le prix du fromage varie de 15 %, sont présentés sur le tableau 53.

**Tableau 53.** Valeur des critères d'évaluation du projet quand le prix de vente du fromage varie de 15 %

Critère d'évaluation	Prix du fromage+15 %		Prix du fromage-15 %	
	Avec VR	Sans VR	Avec VR	Sans VR
VAN	3 504 598	1 975 401	1 574 117	- 54 888
TRI (% par période)	17,32 %	16,41 %	11,67 %	
Rapport B/C	1,57	1,31	1,25	0,98

VR= valeur résiduelle

Selon les valeurs des critères d'évaluation du projet, nous pouvons déduire que l'entreprise est très sensible à une variation de 15 % du prix de vente du fromage (produit principal qui participe pour 91,8 % des revenus annuels). Une augmentation de 15 % du prix du fromage fait que le projet est beaucoup plus intéressant, les bénéfices

nets (après le paiement des investissements) commencent dans la période 21. Par contre, une diminution du prix donne une VAN négative à la période 36, quand la valeur résiduelle des actifs n'est pas prise en compte, ça ne veut pas dire que le projet n'est pas rentable, mais pour récupérer les investissements et avoir des bénéfices nets (sans considérer les valeurs résiduelles des actifs à l'année 3), le projet a besoin de 37 périodes (un peu plus de 3 ans) ; une conclusion identique peut être déduite avec le rapport B/C (0,98) qui est proche de 1, ce qui indique qu'à la période 36, les coûts totaux (investissements inclus) sont presque récupérés et le projet a besoin d'une période supplémentaire. Le TRI ne peut pas être calculé, dans ce cas (sans considérer les valeurs résiduelles), dû aux bénéfices nets négatifs à la période 36.

Ces résultats nous montrent comment le projet est très sensible à une variation importante du prix du fromage, ça ne veut pas dire que l'entreprise n'est pas rentable, ça indique que pour récupérer les investissements, l'entreprise aura besoin de plus de 3 ans et devra faire appel à l'épargne pendant 4 périodes (la production de lait est moins importante) car les recettes ne sont pas suffisantes pour payer les intérêts des crédits.

#### 2.4.5 Sensibilité du projet à une variation de 8 % du taux de rentabilité

Les valeurs de la VAN, le TRI et le rapport B/C quand le taux de charges augmente de 8% (CETES+8 %), sont présentées sur le tableau 54 ; une diminution ne peut pas être évaluée étant donné que le taux des CETES est de 7,05 %, sinon il deviendrait négatif.

**Tableau 54.** Valeur des critères d'évaluation du projet qui montrent une variation de 8% du taux de rentabilité (CETES + 8 %)

Critère d'évaluation	Taux de rentabilité (CETES+8%)	
	Avec VR	Sans VR
VAN	1 826 832	587 545
TRI (% par période)	13,36 %	10,29 %
Rapport B/C	1,32	1,09
Taux de rentabilité mensuel (CETES+8%)	1,18 %	1,18 %

VR= valeur résiduelle

Le taux de rentabilité des CETES est de 7,05 %/an, lequel arrive à 15,05 % (quand on lui ajoute la variation de 8 %). Les valeurs des critères d'évaluation montrent que le

projet continue à être rentable si le taux de rentabilité augmente de plus du double. Les bénéfices nets sont obtenus à partir de la période 29, où l'entreprise a fini de payer les investissements, et il a été nécessaire de faire des économies pendant une seule période pour payer au minimum les intérêts, car les recettes n'étaient pas suffisantes. Ces résultats indiquent que le projet est peu sensible à une variation du taux de rentabilité.

#### 2.4.6 Sensibilité du projet au type de produit vendu : lait cru ou fromage

Pour évaluer la sensibilité du projet au type de produit final offert au marché, nous comparons les valeurs des critères d'évaluation en considérant 3 hypothèses : une entreprise intégrant la production laitière et la transformation en fromage, ou bien une entreprise qui ne ferait que de la production laitière, ou bien une entreprise qui ne ferait que de la transformation fromagère. La première option est la proposition « normale » qui a été déjà analysée, les deux dernières nous donnent les résultats suivants :

a) L'entreprise est une exploitation laitière.

Les valeurs des critères d'évaluation du projet en considérant seulement la vente de lait, sont présentées tableau 55. Dans ce cas, l'investissement initial descend à 43 % (1 098 850 pesos), car concernant uniquement pour l'aire d'exploitation caprine.

**Tableau 55.** Valeur des principaux critères d'évaluation du projet quand l'entreprise est une exploitation laitière

Critère d'évaluation	Taux de charge (CETES)	
	Avec VR	Sans VR
VAN	- 447 348	- 1 160 106
TRI (% par période)		
Rapport B/C	0,86	0,55

VR= valeur résiduelle

Si l'entreprise se limite à produire du lait sous les conditions proposées dans ce projet, il s'avère difficile qu'elle puisse générer des bénéfices nets. En considérant un prix de vente du lait de 4,17 pesos/litre, les recettes durant un nombre considérable de périodes, sont inférieures aux dépenses. Le crédit de production pour démarrer l'exploitation doit être plus important et la période pour commencer les paiements des intérêts et des crédits doit être de plus de 6 mois. Mais ensuite, il sera également difficile, voire

impossible, d'honorer le remboursement de l'investissement initial (intérêt et capital), étant donné que les marges brutes pour presque la moitié des périodes sont négatives. Il est difficile d'organiser un plan de paiement des investissements et du crédit de production, de ce fait, le temps de récupération des investissements est difficile à évaluer, car ils ne seront pas récupérables à court terme.

Comme présenté dans le tableau 55, même en considérant la valeur résiduelle des actifs, la VAN est négative et le rapport B/C est inférieur à 1, ce qui indique que l'entreprise ne génère pas des bénéfices suffisants pour payer les coûts totaux (coûts de production et investissements). Le TRI ne peut pas être calculé en raison des valeurs négatives des flux nets.

b) L'entreprise produit fromage à partir de l'achat de lait

Si l'entreprise considère l'option d'acheter le lait et produire le fromage, l'investissement initial sera de 64 % (1 651 299 pesos) de la proposition initiale du projet. Les résultats des principaux critères d'évaluation du projet, sous cette supposition d'investissement, sont présentés tableau 56.

**Tableau 56.** Valeur des critères d'évaluation du projet si l'entreprise achète le lait et fabrique le fromage comme produit final

Critère d'évaluation	Taux de charge (CETES)	
	Avec VR	Sans VR
VAN	2 636 013	1 485 340
TRI (% par période)	19,62 %	18,91 %
Rapport B/C	1,51	1,27

VR= valeur résiduelle

Le projet d'investissement sous ces conditions est beaucoup plus intéressant que si l'entreprise intègre l'aire d'exploitation laitière et la fabrication de fromage, et une fois que l'investissement est récupéré, la rentabilité sera plus importante. Dans ce cas, les valeurs des critères d'évaluation sont les plus intéressantes, comparativement aux autres suppositions analysées. Les investissements sont récupérés à la période 20, c'est-à-dire qu'en moins de deux ans l'entreprise aura de bénéfices.

Cette dernière proposition d'investissement, sous les conditions décrites, est la meilleure option pour l'entreprise, acheter du lait et fabriquer du fromage. Malheureusement, cette option n'est pas la meilleure solution, car la demande de lait de chèvre n'est pas satisfaite et une grande quantité d'entreprises qui transforment du lait de chèvre en divers produits, travaillent sous le seuil de capacité de l'installation.

#### 2.4.7 Sensibilité du projet à une diminution de 50 % du rendement fromager

Le rendement de fromage obtenu dans cette étude a été élevé par rapport à celui rapporté dans la littérature, c'est pour ça que nous avons voulu évaluer l'impact d'une diminution de 50 % dans le rendement fromager (Tableau 57).

**Tableau 57.** Valeur des principaux critères d'évaluation du projet quand l'entreprise diminue de 50 % le rendement de fromage

Critère d'évaluation	Taux de charge (CETES)	
	Avec VR	Sans VR
VAN	- 400 892	- 1 930 088
TRI (% par période)		
Rapport B/C	0,93	0,65

VR= valeur résiduelle

Le fromage est le produit principal de ce projet, une réduction du rendement de 50 % provoque que le crédit de production augmente, il est difficile de remplir les paiements des intérêts et le capital. Le crédit de production est payé dans la période 19 et le crédit d'inversion commence à être payé dans la période 20. Toutes les 4 périodes les utilités sont négatives. Un projet de ce type serait faisable si existent des appuis pour l'inversion initiale ou la période de paiement est plus longue, à peu près 10 ans. Dans ce cas le projet est plus intéressant que si l'entreprise produit seulement du lait.

## Conclusion

Au Mexique, la grande majorité des troupeaux de chèvres constituent des exploitations petites ou moyennes, mais de plus en plus, se crée une production spécialisée dans des exploitations caprines de grande taille. En outre, la présence d'une main d'œuvre familiale importante pour la conduite du troupeau et plus particulièrement dans le cas

d'une transformation du lait en fromages, le manque d'infrastructure de collecte du lait, d'une assistance technique permettant l'application des progrès et des organisations destinées à assurer l'écoulement des produits, rendent difficile l'accroissement des effectifs par troupeau et l'accélération de la progression des exploitations caprines.

Ce projet présente une option d'exploitation caprine intensive intégrant la fabrication de fromage, avec une production de lait pendant toute l'année, ce qui permet d'organiser la production et de contrôler les quantités, les types de produits, et les périodes de destination au marché. Avec cette proposition de production, le fromage représente le principal produit offert avec 91,8 % du revenu annuel, suivi des chevrettes d'élevage de 1<sup>ère</sup> gestation avec 6,1 %, les chevreaux 1,4 %, les chèvres de rebut 0,4 % et les chevrettes non gestantes 0,2 %. Alors qu'autrefois il était courant de constater que le revenu caprin était assuré par le lait et par la vente des chevreaux, un peu près à parts égales, les dernières études technico-économiques des troupeaux spécialisés, montrent que le lait représente en moyenne 80 à 85 % des revenus bruts, le reste étant assuré par la vente des chevreaux de boucherie et les chèvres de rebut.

Les indicateurs économiques évalués (la VAN, le TRI et le rapport B/C) montrent que ce projet d'investissement est rentable, partant acceptable ; le temps de récupération des investissements est relativement court (27 mois) pour ce type d'entreprise. L'investissement initial de l'entreprise est un peu élevé par rapport à la taille, mais diverses options peuvent être envisagées pour le réduire, comme : changer l'implantation du projet, se servir des matériaux spécifiques de la région pour la construction, demander des aides gouvernementales (un pourcentage du capital sans intérêt/ un certain nombre d'animaux pour démarrer/ agrandir ou améliorer le troupeau/ insémination artificielle/ assistance technique subventionnées, etc.).

L'entreprise est peu sensible à la variation du coût des principaux concepts relatifs à la production : l'alimentation du troupeau, la main d'œuvre des deux aires de production, la somme de ces deux concepts et le taux de rentabilité. Elle est plus sensible à une diminution du prix du fromage de 15 %, mais les revenus continuent à être positifs sur toutes les périodes, mais l'investissement se récupère sur une période plus longue (37 mois). Dans le cas où l'entreprise, dans les hypothèses du projet, déciderait de se spécialiser dans la production de lait, la rentabilité s'avère négative, ce qui ne veut pas dire que ces résultats soient applicables à toutes les exploitations laitières caprines ;

dans ce cas précis, l'investissement initial est un peu élevé. Par contre, si l'entreprise collecte du lait et le transforme en fromages, c'est l'option la plus rentable, mais cette proposition n'est pas envisageable dans ce projet, car l'offre de lait de chèvre est insuffisante et les entreprises qui transforment ce type de lait en une diversité de produits typiques (« cajeta », sucreries, etc.) travaillent sous le seuil de capacité. Si l'entreprise diminue son rendement fromager de 50 %, n'aurait pas d'utilités nettes dans le court délai et le paiement des crédits est lent ; cependant, continue d'être une option rentable à long terme qui est plus attractive si l'investissement initial diminue.

Les perspectives d'avenir de l'élevage caprin s'avèrent prometteuses ; bien que les sous-produits, tels que le chevreau de boucherie, les peaux, et même les animaux adultes se valorisent parfaitement, le principal produit reste le lait qui est transformé en divers produits qui peu à peu gagnent du terrain sur le marché national et d'exportation (principalement aux Etats-Unis). Une intégration de la production, en exploitant tous les produits sera toujours la meilleure option, le marché des dérivés laitiers, spécialement le fromage et les chevreaux de boucherie (produit saisonnier plus cher que les autres viandes) est attractif, et la demande actuellement est insatisfaite.

Il manque des études de marché, mais les rares existant ont permis de montrer que les fromages de chèvre de qualité commencent à avoir une excellente image auprès des consommateurs, ainsi que les possibilités potentielles d'élargissement de la consommation puisque dans quelques régions où l'on n'achète jamais de fromage de chèvre, les grossistes estiment qu'une augmentation des ventes est possible.

Des études technico-économiques au Mexique, montrent que la rentabilité des exploitations caprines dépend du type d'exploitation et du produit final commercialisé. Quittet (1990), a indiqué que la transformation du lait augmente les revenus de 100 % par rapport à la vente du lait cru et que les coûts d'opération intégrant cette transformation augmentent seulement de 50 %. Ibarra et Andrade (1988), ont trouvé qu'une exploitation intensive de production de lait de chèvre à Querétaro, était rentable (TRI de 21,27 %), mais qu'une intégration à la transformation augmenterait les bénéfices, et que ce type d'exploitation était difficile à disséminer dans tout le pays à cause de l'investissement initial élevé. Espinoza *et al.* (1990), ont signalé, qu'à la Comarca Lagunera, les exploitations caprines se spécialisent dans la vente du lait et des chevreaux de boucherie, représentant 85 % des revenus totaux. Le taux de rentabilité

varie de 7,5 à 265 % dépendant du niveau technologique, et elles représentent une source d'auto emploi et de facilité de vente. Par contre, dans l'Etat de Mexico, García *et al.* (1992), ont spécifié que les exploitations caprines représentent une activité additionnelle à la production agricole et une caisse d'épargne pour les producteurs en cas de besoin ; au nord-est de Jalisco, Martínez (1992), a indiqué que 66 % des producteurs ont des caprins par tradition et les 34 % restants les considèrent comme une bonne affaire ; 79 % des producteurs se spécialisent dans la vente de viande (chevreaux, chevrettes et chèvres de rebut) et 40% vendent le lait à l'industrie des sucreries, le reste étant destiné à l'autoconsommation et à la fabrication de fromage fermier. De Lucas et Arbiza (2001), ont mentionné qu'au nord de Mexique, la chèvre est l'espèce la plus rentable et que l'investissement des exploitations est facilement récupérable ; de plus, la demande nationale de tous les produits dérivés de cette espèce est actuellement insatisfaite ; et que dans les régions du Bajío et de la Comarca Lagunera existent des exploitations avec la meilleure des technologies comparativement aux européennes.

Il existe donc, incontestablement, des opportunités à saisir qu'offre actuellement l'évolution du marché. L'entretien des troupeaux et l'amélioration de la qualité des produits, associés à une recherche de diversification profitant des spécialités régionales ou de formes nouvelles de présentation, doit permettre d'augmenter la production en touchant de nouveaux secteurs jusqu'ici inexploités.



## Conclusions générales et perspectives

### Conclusions générales

Une technologie simple de fabrication de fromage frais de lait de chèvre pasteurisé additionné de piment jalapeño en poudre, a été mise au point. Nous avons utilisé une technologie française de fabrication de fromage que nous devons désormais exporter et adapter aux conditions de fabrication mexicaines.

L'analyse physicochimique des fromages, a mis en évidence, que la composition n'est pas significativement modifiée par l'addition de piment, car il suffit d'en ajouter une très petite quantité pour améliorer le goût des fromages et avoir un nouveau produit à offrir aux consommateurs. De plus les premières étapes de la technologie de fabrication ne sont pas modifiées puisque l'addition de piment est réalisée après l'égouttage.

Grâce à l'évaluation sensorielle, nous avons pu établir en ce qui concerne les descripteurs d'aspect (texture et couleur) et de goût évalués (intensité du caractère brûlant du piment, goût de chèvre, salinité et acidité), que les caractéristiques de couleur (données par le piment) et de texture, influencent fortement l'appréciation des fromages. L'intensité du piment et la couleur ont été les deux principaux descripteurs qui ont le plus influencé le choix. On peut envisager divers effets du piment sur l'appréciation des fromages pimentés : sur l'aspect, principalement la couleur (rouge, vert et blanc) est un attribut qui influence l'acceptation du produit et la corrélation que les sujets ont fait entre l'intensité de la couleur et la concentration de capsaïcinoïdes (brûlant) ; sur la texture car le piment est ajouté en poudre ; sur la perception en tant qu'exhausteur de la saveur. L'étude sensorielle a montré effectivement que le piment agit sur la perception en diminuant l'intensité du caractère « goût de chèvre » par le biais du brûlant, de l'acidité et en partie la salinité.

D'autres aspects ont influencé la diminution de la perception du « goût de chèvre » comme la pasteurisation du lait, l'ajout de ferments qui développent l'acidité et la consommation frais (toute de suite après la fabrication).

Des résultats de l'évaluation sensorielle, il en ressort que les dégustateurs des deux cultures ont bien appréciés les fromages pimentés, bien que les français ne sont pas des consommateurs habitués aux piments, ils connaissent cette épice mondialement répandue et sont prêts à l'accepter en légères quantités (entre 0 et 0,5 mg de capsaïcinoïdes/100 g de caillé égoutté) apportés par du piment rouge et des capsaïcinoïdes. Les mexicains non seulement ont bien accepté les fromages peu et moyennement pimentés, mais ils ont aussi apprécié les fromages sans piment, ce qui nous fait considérer que le procédé de fabrication était adéquat.

Les différences perçues entre les préférences des sujets Français et Mexicains ont été sur leur appréciation pour les fromages moyennement et plus pimentés, en général, et spécifiquement pour ceux enrichis avec piment jalapeño vert. La concentration optimale de capsaïcinoïdes pour les sujets Français n'a pas été déterminée car la préférence diminue continuellement quand on augmente la concentration de piment. La concentration optimale pour les sujets Mexicains est proche de 0,5 mg/100 g de caillé.

Les sujets Français et Mexicains apprécient les fromages peu et moyennement pimentés et peu et moyennement colorés en rouge. La préférence des sujets Français diminue quand on augmente l'intensité du rouge et la concentration de piment. Les sujets Mexicains n'apprécient pas les fromages très foncés et colorés sans piment.

Les connaissances sur les différences culturelles des acceptations sensorielles, sont essentielles pour le développement de produits à succès pour les marchés internationaux. Les préférences alimentaires sont liées aux caractéristiques des sujets comme l'âge, le sexe, le poids, la recherche de nouvelles sensations, la cuisine primaire dans laquelle le sujet a baigné.

L'étude sensorielle a ouvert des pistes d'optimisation de la teneur en piment et de l'influence de la couleur des fromages. Ces résultats devront être confirmés par des travaux réalisés avec des jurys mexicains non expatriés afin de prendre totalement en considération l'influence culturelle. Sur le plan scientifique, les interactions sensorielles entre couleur et goût pimenté sont à approfondir.

Les extraits aqueux de piment jalapeño utilisés dans notre étude, possèdent une activité antibactérienne importante. Les souches les plus sensibles sont celles participant à la fabrication du yaourt, *S. thermophilus* et *Lb. delbrueckii*. Un faible pouvoir inhibiteur

des extraits a pu être mis en évidence vis-à-vis des souches pathogènes *L. monocytogenes* et *B. subtilis*. En revanche, aucun effet n'a pu être montré vis-à-vis des bactéries Gram-négatives, *E. coli*, *S. enterica* et *Ps. fluorescens*.

Les concentrations minimales inhibitrices (CMI) de l'extrait aqueux de piment pour les deux souches les plus sensibles, *S. thermophilus* INRA 302 et *Lb. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* DSM 20081, sont de respectivement 32,5 et 130 µg/ml. Ces concentrations sont plus élevées que celles des fromages pimentés appréciés dans notre étude, qui contiennent entre 5 et 15 ppm lesquelles n'exerceront aucune activité inhibitrice vis-à-vis de ces deux flores lactiques les plus sensibles et donc vis-à-vis de flores indésirables, comme *L. monocytogenes*.

L'activité inhibitrice des extraits aqueux de piment jalapeño, dépend de leur concentration en matière sèche, du pH et de la sensibilité ou de l'insensibilité de la souche testée. De plus, ils peuvent être affectés par un traitement thermique (80 et 100°C). Dans notre étude, les poudres commerciales de capsaïcine et de dihydrocapsaïcine solubilisées dans l'éthanol-eau (50/50 : v/v), à une concentration de 1 mg.ml<sup>-1</sup>, n'ont pas montré d'effet sur la croissance de *S. thermophilus* et de *Lb. delbrueckii*.

Des essais réalisés en additionnant le piment au lait, avant l'ajout de *Lc. lactis* INRA 115, ont montré que le piment (1 ou 2 %) diminue immédiatement le pH du lait, facilitant ainsi la croissance de cette souche, ce qui serait traduit par une diminution de la durée de coagulation.

Il faudrait étudier les propriétés antimicrobiennes du piment dans les fromages, afin de confirmer l'intérêt de l'ajout de piment pour leur préservation.

Le projet intégrant la production intensive du lait de chèvre et la fabrication de fromage pimenté, présente une véritable option de production rentable. La proposition d'organisation de l'exploitation caprine permet d'avoir du lait pendant toute l'année, et de bien organiser les quantités et les périodes de production des divers produits pour le marché. Avec cette proposition, le fromage représente le principal produit offert avec 91,8 % du revenu annuel, suivi des chevrettes d'élevage de 1<sup>ère</sup> gestation 6,1 %, les chevreaux 1,4 %, les chèvres de rebut 0,4 % et les chevrettes non gestantes 0,2 %.

Les indicateurs économiques évalués (la VAN, le TRI et le rapport B/C) montrent que ce projet d'investissement est rentable et donc faisable ; le temps de récupération des investissements est relativement court (27 mois) pour ce type d'entreprise.

L'entreprise est peu sensible à la variation du coût des principaux concepts relatifs à la production : l'alimentation du troupeau, la main d'œuvre des deux aires de production, la somme de ces deux concepts et le taux de rentabilité. Elle est plus sensible à une diminution du prix du fromage de 15 %, mais les revenus continuent à être positifs sur toutes les périodes, mais l'investissement se récupère sur une période plus longue (37 mois). Dans le cas où l'entreprise, dans les hypothèses du projet, déciderait de se spécialiser seulement dans la production de lait, la rentabilité s'avère négative, ce qui ne veut pas dire que ces résultats soient applicables à toutes les exploitations laitières caprines ; dans ce cas précis, l'investissement initial est un peu élevé. Par contre, si l'entreprise collecte du lait et le transforme en fromages, l'option est la plus rentable, mais elle n'est pas envisageable dans ce projet, car l'offre de lait de chèvre est insuffisante et actuellement les entreprises qui transforment le lait de chèvre travaillent sous le seuil de capacité. Si le rendement de fromage diminue de 50 %, l'entreprise peut gérer ses compromis de crédit très doucement, elle a besoin d'une période de récupération de capital plus long. C'est donc, bien le cas d'une entreprise agricole produisant du lait de chèvre et le transformant, qui nous paraît la meilleure option pour le Mexique.

A partir de l'évaluation financière, nous avons pu montrer l'intérêt et la faisabilité d'une création d'entreprise de production - transformation de lait de chèvre. Cette étude devrait être complétée d'une étude de marché actualisée dès le retour au Mexique.

## **Perspectives**

Les facteurs culturels sont, peut-être, les plus forts déterminants des aliments que nous consommons. Cependant, la recherche s'est limitée à déterminer comment la perception, le goût, les composants de la saveur peuvent déterminer la préférence des aliments, mais les aspects culturels n'ont pas été assez étudiés.

En termes de métrologie sensorielle du caractère brûlant du piment, il reste beaucoup d'études à conduire, par exemple sur la cinétique d'adaptation des dégustateurs à cette

propriété, sur les doses frontières entre plaisir et douleur, sur les effets de masquage des autres propriétés gustatives par le caractère brûlant, etc. Et, bien sûr l'effet des différences culturelles ou des habitudes de consommation devrait être approfondi.

Les résultats obtenus *in vitro* sur l'effet antibactérien des extraits aqueux de piment, ne constituent qu'une première étape de recherche pour évaluer les propriétés antibactériennes du piment jalapeño et d'envisager l'utilisation du piment comme bio protecteur naturel des fromages fabriqués dans notre projet. Des études complémentaires doivent être menées afin de confirmer les performances mises en évidence et d'évaluer si les concentrations minimales inhibitrices correspondent à des concentrations pouvant être utilisées commercialement (consommation du produit) dans le cas des piments forts. De telles études, si le rôle antimicrobien du piment était confirmé, apporterait des éclairages nouveaux permettant d'envisager ou non, des procédures de fabrication ou d'addition du piment différentes de celle que nous avons utilisée.

L'utilisation des épices comme inhibiteurs de la croissance microbienne dans les aliments est souvent limitée, car les doses anti-microbiennes effectives peuvent excéder fréquemment les niveaux sensoriellement acceptables. Néanmoins, les mélanges d'épices avec d'autres barrières anti-microbiennes peuvent améliorer la durée de conservation et la sécurité microbienne à des niveaux modérés.

La promotion du lait de chèvre devrait être non seulement dans les pays développés, mais aussi dans les pays où l'accès au lait de chèvre peut être plus facile qu'à d'autres laits, comme celui de la vache. Les perspectives d'avenir de l'élevage caprin s'avèrent prometteuses ; bien que les sous-produits, tels que le chevreau de boucherie, les peaux, et même les animaux adultes se valorisent parfaitement, le principal produit reste le lait qui est transformé en divers produits qui peu à peu gagnent du terrain sur le marché national et d'exportation (principalement aux Etats-Unis). Une intégration de la production, en exploitant tous les produits, sera toujours la meilleure option. Le marché des dérivés laitiers, spécialement le fromage et les chevreaux de boucherie (produit saisonnier plus cher que les autres viandes) est attractif, et la demande actuellement est insatisfaite.

Pour confirmer la faisabilité d'une production intégrée à un élevage, de fromage de chèvre au piment, il manque des études de marché, notamment dans le contexte mexicain, mais les quelques études existantes ont permis de montrer, que les fromages de chèvre de qualité commencent à avoir une excellente image auprès des consommateurs, ainsi que les possibilités potentielles d'élargissement de la consommation puisque, dans quelques régions où l'on n'achète jamais de fromage de chèvre, les grossistes estiment qu'une augmentation des ventes est possible.

Il existe donc, incontestablement, des opportunités à saisir qu'offre actuellement l'évolution du marché. L'entretien des troupeaux et l'amélioration de la qualité des produits, associés à une recherche de diversification profitant des spécialités régionales ou de formes nouvelles de présentation, doit permettre d'augmenter la production en touchant de nouveaux secteurs jusqu'ici inexploités.

---

## Références Bibliographiques

- Abou-Dawood, A. E., I. I. Ghita, and S. M. Taha. 1980. Major and minor components and trace elements of the Egyptian ewes' and goats' milk. *Egyptian J. Dairy Sc.* 8(2):109-115.
- Acero, O. C., A. L. Dorantes, S. H. Hernández, L. G. Gutiérrez, G. Aparicio, and F. M. E. Jaramillo. 2005. Evaluation of phenylpropanoids in ten *Capsicum annuum* L. varieties and their inhibitory effects on *Listeria monocytogenes* Murray, Webb and Swann Scott A. *Food Sci. Technol. Int.* 11(1):5-10.
- Aczel, A. 1986. Application of everpressured layer chromatography in red pepper analysis. Study of the carotenoids responsible for the red color in ground red pepper. *J. High Res. Chrom. and Chro. Com.* 9(7):407-408.
- AFNOR. 1995. Recueil de normes françaises: contrôle de la qualité des produits alimentaires -analyse sensorielle. 5 ed. AFNOR (Association Française de Normalisation), Paris, France.
- Aganga, A. A., J. O. Amarteifio, and N. Nkile. 2002. Effect of stage of lactation on nutrient composition of Tswana sheep and goat's milk. *J. Food Comp. Anal.* 15:533-543.
- Agraz, G. A. A. 1989. *Caprinotecnia*. Vol. I, II et III. 1 ed. Ed. Limusa.
- Ahuya, C. O., A. M. Okeyo, Mwangi-Njuru, and C. Peacock. 2005. Developmental challenges and opportunities in the goat industry: The Kenyan experience. *Small Ruminant Research.* 60:197-206.
- Akagi, A., N. Sano, H. Uehara, T. Minami, H. Otsuka, and K. Izumi. 1998. Non-carcinogenicity of capsaicinoids in B6C3F<sub>1</sub> mice. *Food Chem. Toxicol.* 36:1065-1071.
- Alais, C. 1998. *Ciencia de la leche: principios de técnica lechera*. 12<sup>a</sup> reimpresión ed, CECSA, México.
- Albenzio, M., M. Caroprese, R. Marino, A. Muscio, A. Santillo, and A. Sevi. 2005. Characteristics of Garganica goat milk and Caciocotta cheese. *Small Rum. Res.* xxx:10 pages.
- Alpizar, L. E., A. J. Trujillo, and R. F. J. Herrera. 2002. Determinación de capsaicinoides en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq), colectados en Yucatán. Proceedings of the 16th International Pepper Conference, Tampico, Tamaulipas, México.
- Anifantakis, E. M. and J. G. Kandarakis. 1980. Contribution to the study of the composition of goat's milk. *Milchwissenschaft.* 35(10):617-619.
- Anon. 1986. Metabolism and toxicity of capsaicin. *Nutr. Rev.* 44(1):20-22.
- AOAC. 1999. *Official Methods of Analysis of AOAC*. Vol. 1-2. 16th ed. Cunniff, P, Naryland, USA.

- Arbiza, A. S. I. 1986. Producción de caprinos. AGT Editor, S. A., México, D. F.
- Archer, V. E. and D. W. Jones. 2002. Capsaicin pepper, cancer and ethnicity. *Med. Hypotheses*. 59(4):450-457.
- Arora, D. S. and J. Kaur. 1999. Antimicrobial activity of spices. *Int. J. Antimicrob. Agents*. 12:257-262.
- Awasthi, D. N. and B. P. Singh. 1979. Ascorbic acid and capsaicin in different varieties of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Indian J. Hort.* 36(1):72-76.
- Bajaj, K. L. and G. Kaur. 1986. Polyphenol oxidase activity and chemical composition of some important Indian varieties of chillies (*Capsicum annuum* L.). *Trop. Sci.* 26(2):121-128.
- Balboa, S. I., M. S. Karawya, and A. N. Girgis. 1968. The capsaicin content of capsicum fruits at different stages of maturity. *Lloydia*. 31(3):272-274.
- Bárceñas, P., F. J. Pérez, J. Salmerón, and M. Albisu. 2000. Tratamiento estadístico de datos sensoriales. Algunas aplicaciones en el estudio de distintas variedades de queso. *Alim. Equip. Tecnol.* 19:59-65.
- Baron, R. F. and M. P. Penfield. 1996. Capsaicin heat intensity-concentration, carrier, fat level, and serving temperature effects. *J. Sensory Studies*. 11:295-316.
- Barreau, J., J. Delahaye, and F. Delahaye. 2006. *Gestion Financière: manuel et applications*. 15 ed. Dunod, Paris.
- Batchelor, J. D. and T. J. Bradley. 2000. Determination of the Scoville Heat Value for hot sauces and chilies: an HPLC experiment. *J. Chem. Educ.* 77(2):266-267.
- Beltrán, J. and P. A. Robles. 1988. Determinación del margen bruto de comercialización y clasificación de mercadeo del cabrito en la Comarca Lagunera. Congreso Interamericano de Producción Caprina, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México:E12-E14.
- Bennett, D. J. and G. W. Kirby. 1968. Constitution and biosynthesis of capsaicin. *J. Chem. Soc. (C)*:442-446.
- Biss, K. 1991. Sheep and goat cheese. *J. Soc. Dairy Tech.* 44(4):104-106.
- Blackshaw, L. A., A. J. Page, and E. R. Partosoedarso. 2000. Acute effects of capsaicin on gastrointestinal vagal afferents. *Neuroscience*. 96(2):407-416.
- Borszéki, J., J. Kepes, L. Koltay, and I. Sarudi. 1986. Classification of paprika quality using pattern recognition methods based on elemental composition. *Acta Alim.* 15(2):93-100.
- Boyazoglu, J., I. Hatziminaoglou, and P. Morand-Fehr. 2005. The role of the goat in the society: Past, present and perspectives for the future. *Small Rum. Res.* 60:13-23.
- Boyazoglu, J. and P. Morand-Fehr. 2001. Mediterranean dairy sheep and goat products and their quality. A critical review. *Small Rum. Res.* 40:1-11.
- Brand, G. and L. Jacquot. 2002. Sensitization and desensitization to allyl isothiocyanate (mustard oil) in the nasal cavity. *Chem. Senses*. 27:593-598.
- Braun, C. C., P. B. Kline, and N. C. Silver. 1995. The influence of color on warning label perceptions. *Int. J. Ind. Ergon.* 15:179-187.

- Brezina, P., M. Prusova, S. Pavlikova, M. Marounek, and J. Stetina. 1993. The chemical composition and caseine fractions of goat milk. *Potrav. Vedy*. 11(6):471-478.
- Bucardo, A. I. and I. H. Lépiz. 1992. Situación actual de la ganadería caprina en el Estado de Oaxaca. VIII Reunión Nacional de Caprinocultura, DGETA-SEP, Oaxaca. Oax., México:189-193.
- Buck, S. H. and T. F. Burks. 1986. The neuropharmacology of capsaicin: review of some recent observations. *Pharmacol. Rev.* 38(3):179-226.
- Caballero, B., L. C. Trugo, and P. M. Finglas. 2003. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Vol. 7. 2nd. ed. Academic Press, United Kingdom.
- Campen, C. V. and C. Froger. 2003. Personal profiles of color synesthesia: developing a testing method for artists and scientists. *Leonardo*. 36(4):291-294.
- Campos, H. E. and A. M. A. Valencia. 2002. La explotación caprina en el Estado de Guerrero, México. XVII Reunión Nacional sobre Caprinocultura, UJED, Durango, Dgo., México:331-332.
- Careaga, M., F. E., L. Dorantes, L. Mota, M. E. Jaramillo, and H. Hernandez. 2003. Antibacterial activity of *Capsicum* extract against *Salmonella typhimurium* and *Pseudomonas aeruginosa* inoculated in raw beef meat. *Int. J. Food Microb.* 83:331-335.
- Carpenter, C. E., D. P. Cornforth, and D. Whittier. 2001. Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction. *Meat Sci.* 57:359-363.
- Castro-Ramos, R. 1981. The pepper composition (*Capsicum annuum* L.) and its residues utilization. *Grasas y Aceites*. 32(6):391-394.
- Caude, M. and A. Jardy. 1996. Subject: Méthodes chromatographiques. Analyse et caractérisation des techniques de l'ingénieur, PE 1445 1-6. Accessed Novembre, 2003.
- Cerbulis, J., O. W. Parks, and H. M. J. Farrell. 1982. Composition and distribution of lipids of goats' milk. *J. Dairy Sci.* 65(12):2301-2307.
- Cervellon, M. C. and L. Dubé. 2005. Cultural influences in the origins of food likings and dislikes. *Food Quality and Preference*. 16:455-460.
- Chanda, S., G. Erexson, C. Riach, D. Innes, F. Stevenson, H. Murli, and K. Bley. 2004. Genotoxicity studies with pure *trans*-capsaicin. *Gen. Toxicol. Envir. Mutag.* 557(85-97).
- Chilliard, Y. 1996. Caractéristiques biochimiques des lipides du lait de chèvre : comparaison avec les laits de vache et humain. Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre. Actes du colloque : Le lait de chèvre, un atout pour la santé, INRA. Niort, France:51-65.
- Chilliard, Y. and D. Sauvant. 1987. La sécrétion des constituants du lait. Pages (13-26) in *Le lait matière première de l'industrie laitière*. INRA-CEPIL, ed. INRA, Paris.
- Christensen, C. M. 1983. Effects of color on aroma, flavor and texture judgments of foods. *J. Food Sci.* 48:787-790.
- Cichewicz, R. H. and P. A. Thorpe. 1996. The antimicrobial properties of chile peppers (*Capsicum* species) and their uses in Mayan medicine. *J. Ethnopharm.* 52:61-70.

- CIRAD-GRET. 2002. Memento de l'agronome. Ministère des Affaires Étrangères, Paris.
- CIRVAL. 2005. Subject: Le secteur laitier ovin caprin dans le monde: Le réalité de situations contrastées avec des perspectives de développement très diverses. Accessed [www.cirval.asso.fr](http://www.cirval.asso.fr), Centre International de Ressources et de Valorisation de l'Information des Filières Laitières Petits Ruminants. Juillet, 2005.
- Clark, S. and J. W. Sherbon. 2000. Alpha<sub>s1</sub>-casein, milk composition and coagulation properties of goat milk. *Small Rum. Res.* 38:123-134.
- Clarke, I. and E. D. J. Honeycutt. 2000. Color usage in international business-to-business print advertising. *Ind. Market. Manag.* 29:255-261.
- Cliff, M. A. and B. G. Green. 1996. Sensitization and desensitization to capsaicin and menthol in the oral cavity: interactions and individual differences. *Physiol. Behav.* 59(3):487-494.
- CNIEL. 2006. Subject: Les fromages. Accessed [www.cniel.com](http://www.cniel.com) avril 2006, Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière.
- Collinge, R. 1985. Goats' milk. *Nutr. food Sci.* 97:8-9.
- Collins, M. D., L. M. Wasmund, and P. W. Bosland. 1995. Improved method for quantifying capsaicinoids in *Capsicum* using high-performance liquid chromatography. *HortScience.* 30(1):137-139.
- Contreras, P. M. and E. M. Yahia. 1998. Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity. *J. Agric. Food Chem.* 46(6):2075-2079.
- Coon, D. 2003. Chile Peppers: Heating up Hispanic foods. *Food Tech.* 57(1):39-43.
- Cooper, T. H., J. A. Guzinski, and C. Fisher. 1991. Improved high-performance liquid chromatography method for the determination of major capsaicinoids in *Capsicum* oleoresins. *J. Agric. Food Chem.* 39(12):2253-2256.
- Cordell, G. A. and O. E. Araujo. 1993. Capsaicin: identification, nomenclature, and pharmacotherapy. *The Annals of Pharmacotherapy.* 27(3):330-336.
- Courtis, J. K. 2004. Colour as visual rhetoric in financial reporting. *Accounting Forum.* 28:265-281.
- Cowan, M. M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. *Clin. Microb. Rev.* 12(4):564-582.
- Craft, R. M. and F. Porreca. 1992. Treatment parameters of desensitization to capsaicin. *Life Sci.* 51(23):1767-1775.
- Creppy, E. E., F. Richeux, M. R. Carratu, V. Cuomo, C. Cochereau, R. Ennamany, and D. Saboureau. 2000. Cytotoxicity of capsaicin in monkey kidney cells: lack of antagonistic effects of capsazepine and Ruthenium red. *Arch. Toxicol.* 73:40-47.
- Cruz, C. E. and G. M. Morales. 1992. Importancia social y económica de la producción ovina y caprina en una comunidad campesina de la Mixteca Alta Oaxaqueña. VIII Reunión Nacional de Caprinocultura, DGETA-SEP, Oaxaca. Oax., México:196-200.

- Cruz, L., G. Castañeda-Hernández, and A. Navarrete. 1999. Ingestion of chilli pepper (*Capsicum annuum*) reduces salicylate bioavailability after oral aspirin administration in the rat. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 77:441-446.
- Cserhádi, T., E. Forgács, H. Morais, and T. Mota. 2000. Classification of chili powders by thin-layer chromatography and principal component analysis. *J. Biochem. Biophys. Meth.* 45:221-229.
- Curia, A. V., G. Hough, M. C. Martínez, and M. I. Margalef. 2001. How Argentine consumers understand the Spanish translation of the 9-point hedonic scale. *Food Quality and Preference.* 12:217-221.
- Daljit, S. A. and K. Jasleen. 1999. Antimicrobial activity of spices. *International Journal of Antimicrobial Agents.* 12:257-262.
- Daood, H. G., V. Illés, M. H. Gnayfeed, B. Mészáros, G. Horváth, and P. A. Biacs. 2002. Extraction of pungent spice paprika by supercritical carbon dioxide and subcritical propane. *J. Sup. Fluids.* 23:143-152.
- Darnton-Hill, I., J. Coveney, and G. R. Davey. 1987. Goat milk - nutritional and public health aspects: a review. *Food Tech. in Australia.* 39(12):568-572.
- De Lille, J. and E. Ramírez. 1935. Contribución al estudio de la acción farmacodinámica de los principios activos del chile. *Ann. Inst. Biol. México.* 6:23-37.
- De Lucas, T. J. and A. S. I. Arbiza. 2001. Producción caprina en México y su importancia en el Trópico. XVI Reunión Nacional sobre Caprinocultura, Colegio de Postgraduados. Veracruz. Ver., México.
- Dessirier, J. M., M. O'Mahony, M. Iodi-Carstens, and E. Carstens. 2000. Sensory properties of citric acid: psychophysical evidence for sensitization, self-desensitization, cross-desensitization and cross-stimulus-induced recovery following capsaicin. *Chem. Senses.* 25:769-780.
- Dessirier, J. M., M. O'Mahony, M. Iodi-Carstens, E. Yao, and E. Carstens. 2001. Oral irritation by sodium chloride: sensitization, self-desensitization, and cross-sensitization to capsaicin. *Physiol. Behav.* 72:317-324.
- Dessirier, J. M., M. O'Mahony, J. M. Sieffermann, and E. Carstens. 1998. Mecamylamine inhibits nicotine but not capsaicin irritation on the tongue: psychophysical evidence that nicotine and capsaicin activate separate molecular receptors. *Neurosci. Letters.* 240:65-68.
- DiCecco, J. J. 1976. Gas-liquid chromatographic determination of capsaicin. *J. of the AOAC.* 59(1):1-4.
- DiCecco, J. J. 1979. Spectrophotometric difference method for determination of capsaicin. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 62(5):998-1000.
- Dijksterhuis, G. 1995. Multivariate data analysis in sensory and consumer science: An overview of developments. *Trends Food Sci. Technol.* 6:206-211.
- Dimassi, O., J. Hinrichs, and A. Valle Zárate. 2005. Cheese production potential of milk from Dahlem Cashmere goats using a cheese simulation method. *Small Rum. Res.* xxx:6 pages.

- Dorantes, L., R. Colmenero, H. Hernandez, L. Mota, M. E. Jaramillo, E. Fernandez, and C. Solano. 2000. Inhibition of growth of some foodborne pathogenic bacteria by *Capsicum annuum* extracts. *Int. J. Food Microb.* 57:125-128.
- Dray, A. 1992. Mechanism of action of capsaicin -like molecules on sensory neurons. *Life Sci.* 51(23):1759-1765.
- Duarte, C., M. Moldao-Martins, A. F. Gouveia, S. Beirao da Costa, A. E. Leitao, and M. G. Bernardo-Gil. 2004. Supercritical fluid extraction of red pepper (*Capsicum frutescens* L.). *J. Sup. Fluids.* 30:155-161.
- Dubé, L. and I. Cantin. 2000. Promoting health or promoting pleasure? A contingency approach to the effect of informational and emotional appeals on food liking and consumption. *Appetite.* 35:251-262.
- Dubeuf, J. P. 2005. Structural, market and organizational conditions for developing goat dairy production system. *Small Ruminant Research.* 60:67-74.
- Dubeuf, J. P., P. Morand-Fehr, and R. Rubino. 2004. Situation, changes and future of goat industry around the world. *Small Ruminant Research.* 51:165-173.
- EC. 2002. Opinion of the Scientific Committee on Food on Capsaicin. European Commission. Scientific Committee on Food. SCF/CS/FLAVOUR/8 ADD1 Final. Scientific Opinions. 12 pag.
- Edwards, S. J., E. Q. Colquhoun, and M. J. Clark. 1990. Levels of pungent principles in chilli sauces and capsicum fruit in Australia. *Food Australia.* 42(9):432-435.
- Egwu, G. O., P. A. Onyeyili, G. A. Chibuzo, and J. A. Ameh. 1995. Improved productivity of goats and utilisation of goat milk in Nigeria. *Small Rum. Res.* 16:195-201.
- Ensminger, A. H., M. H. Ensminger, J. E. Konland, and J. R. K. Robson. 1994. *Foods & Nutrition Encyclopedia*. Vol. 2. 2nd ed. CRC Press, United States.
- Espie, W. E. and W. M. A. Mullan. 1990. Compositional aspects of goat milk in Northern Ireland. *Milchwissenschaft.* 45(6):361-362.
- Espinoza, A., P. Saenz, I. Cano, M. Martínez, A. Guerrero, and H. Salinas. 1990. Resultados preliminares del análisis económico de módulos caprinos en la Comarca Lagunera. VI Reunión Nacional sobre Caprinocultura, Colegio de Postgraduados, San Luis Potosí, S.L.P. México:140-142.
- Estrada, B., F. Pomar, J. Díaz, F. Merino, and M. A. Bernal. 1999. Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *Scientia Horticulturae.* 81:385-396.
- FAO. 1998. Subject: Le lait et les produits laitiers dans la nutrition humaine. Accessed <http://www.fao.org/documents>, Avril 2006, 2006.
- FAO. 2006. Subject: Statistiques Alimentaires. Accessed [www.fao.org](http://www.fao.org). Dernière mise au jour mars 2006.
- FAOSTAT. 2006. Subject: [www.fao.org](http://www.fao.org). Accessed Dernière mise au jour mars 2006.
- Favier, J. C. 1987. Composition des fromages de chèvre. *Cah. Nutr. Diét.* 22(2):117-123.

- Fekadu, B., K. A. Soryal, S. S. Zeng, D. Van Hekken, B. Bah, and M. Villaquiran. 2005. Changes in goat milk composition during lactation and their effect on yield and quality of hard and semi-hard cheeses. *Small Rum. Res.* 59:55-63.
- FIRA. 1999. Oportunidades de desarrollo en la industria de la leche y carne de cabra en México, Boletín informativo No. 313. Mexico.
- Fitzgerald, M. 1983. Capsaicin and sensory neurons. *Pain.* 15:109-130.
- FTLQ. 2002. Science et Technologie du Lait. Fondation de Technologie Laitière du Quebec Inc. Ed. Presses Internationales Polytechnique, Quebec, Canada.
- Fuchs, P. N., J. N. Campbell, and R. A. Meyer. 2000. Secondary hyperalgesia persists in capsaicin desensitized skin. *Pain.* 84:141-149.
- Furuse, T., Y. Miura, K. Yagasaki, T. Shiroishi, and T. Koide. 2003. Identification of QTLs for differential capsaicin sensitivity between mouse strains KJR and C57BL/6. *Pain.* 105:169-175.
- Games, D. E., N. J. Alcock, J. Van Der Greef, L. M. Nyssen, H. Maarse, and M. C. Ten Noever de Brauw. 1984. Analysis of pepper and capsicum oleoresins by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry and field desorption mass spectrometry. *J. Chromatogr.* 294:269-279.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Ed. E. García, México.
- Garcia, O. R., M. M. C. Díez, H. L. Coll, and V. C. Barrera. 1981. Estudio de elementos minerales en leches de cabra y oveja. I. Macroelementos. *Anal. Bromatol.* 33(1):1-10.
- García, S. T., A. A. García, and T. J. De Lucas. 1992. Caracterización de los sistemas de producción y del ganado caprino en el Sur del Estado de México. VIII Reunión Nacional de Caprinocultura, DGETA-SEP, Oaxaca, Oax. México:49-54.
- Garza, C. F., G. T. Vera, and G. J. Cawas. 1994. Sacrificio y comercialización del cabrito en la Ciudad de Monterrey. IX Reunión Nacional de Caprinocultura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, B.C.S., México:340-344.
- Gbolade, A. A., O. R. Omobuqajo, and R. O. Soremekun. 1997. Evaluation of the quality of Nigerian chillies for pharmaceutical formulations. *J. Pharm. Biom. Anal.* 15:545-548.
- Gegenfurtner, K. R. and J. Rieger. 2000. Sensory and cognitive contributions of color to the recognition of natural scenes. *Current Biology.* 10(13):805-808.
- Gillette, M. H., C. E. Appel, and M. C. Lego. 1984. A new method for sensory evaluation of red pepper heat. *J. Food Sci.* 49:1028-1033.
- Gilmore, M. and B. G. Green. 1993. Sensory irritation and taste produced by NaCl and citric acid: effects of capsaicin desensitization. *Chem. Senses.* 18(3):257-272.
- Gnayfeed, M. H., H. G. Daood, V. Illés, and P. A. Biacs. 2001. Supercritical CO<sub>2</sub> and subcritical propane extraction of pungent paprika and quantification of carotenoids, tocopherols, and capsaicinoids. *J. Agric. Food Chem.* 49(6):2761-2766.

- Govindarajan, V. S. 1985. *Capsicum*-production, technology, chemistry and quality. Part I. History, botany, cultivation and primary processing. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 22(2):109-176.
- Govindarajan, V. S. 1986a. *Capsicum*-production, technology, chemistry and quality. Part III. Chemistry of the color, aroma and pungency stimuli. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 24(3):245-355.
- Govindarajan, V. S. 1986b. *Capsicum* -production, technology, chemistry, and quality. Part II. Processed products, standards, world production and trade. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 23(3):207-288.
- Govindarajan, V. S., S. Narasimhan, and S. Dhanaraj. 1977. Evaluation of spices and oleoresins. II. Pungency of *Capsicum* by Scoville Heat Units - A standardized procedure. J. Food Sci. Technol. 14(1):28-34.
- Govindarajan, V. S., D. Rajalakshmi, and Chand-Nagin. 1987. *Capsicum*-production, technology, chemistry and quality. Part IV. Evaluation of quality. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 25(3):185-282.
- Govindarajan, V. S. and M. N. Sathyanarayana. 1991. *Capsicum*-Production, technology, chemistry, and quality. Part V. Impact on Physiology, pharmacology, nutrition, and metabolism; structure, pungency, pain, and desensitization sequences. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 29(6):435-474.
- Graham, D. Y., S. Y. Anderson, and T. Lang. 1999. Garlic or jalapeño peppers for treatment of *Helicobacter pylori* infection. American J. Gastroent. 94(5):1200-1202.
- Grandpierre, C., J. Ghisolfi, and J. P. Thouvenot. 1988. Étude biochimique du lait de chèvre. Cah. Nutr. Diét. 23(5):367-374.
- Green, B. G. 1986. Sensory interactions between capsaicin and temperature in the oral cavity. Chem. Senses. 11(3):371-382.
- Green, B. G. 1989. Capsaicin sensitization and desensitization on the tongue produced by brief exposures to a low concentration. Neurosci. Letters. 107:173-178.
- Green, B. G. 1990. Spatial summation of chemical irritation and itch produced by topical application of capsaicin. Percep. Psychophy. 48(1):12-18.
- Green, B. G. 1991. Temporal characteristics of capsaicin sensitization and desensitization on the tongue. Physiol. Behav. 49:501-505.
- Green, B. G. 1993. Evidence that removal of capsaicin accelerates desensitization on the tongue. Neurosci. Letters. 150:44-48.
- Green, B. G. 1996. Rapid recovery from capsaicin desensitization during recurrent stimulation. Pain. 68:245-253.
- Green, B. G. and L. J. Flammer. 1989. Localization of chemical stimulation: capsaicin on hairy skin. Somatosen. Motor Res. 6(5/6):553-566.
- Green, B. G. and B. L. McAuliffe. 2000. Menthol desensitization of capsaicin irritation: evidence of a short-term anti-nociceptive effect. Physiol. Behav. 68:631-639.
- Green, B. G. and H. Rentmeister-Bryant. 1998. Temporal characteristics of capsaicin desensitization and stimulus-induced recovery in the oral cavity. Physiol. Behav. 65(1):141-149.

- Green, B. G. and G. S. Shaffer. 1993. The sensory response to capsaicin during repeated topical exposures: differential effects on sensations of itching and pungency. *Pain*. 53:323-334.
- Greyling, J. P. C., V. M. Mmbengwa, L. M. J. Schwalbach, and T. Muller. 2004. Comparative milk production potential of Indigenous and Boer goats under two feeding systems in South Africa. *Small Rum. Res.* 55:97-105.
- Guéguen, L. 1996. La valeur nutritionnelle minérale du lait de chèvre. Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre. Actes du colloque : Le lait de chèvre, un atout pour la santé, INRA. Niort, France:67-80.
- Guéguen, N. 2003. The effect of glass colour on the evaluation of a beverage's thirst-quenching quality. *Current Psychol. Letters*. 2(11):1-6.
- Guiraud, J. P. 1998. *Microbiologie Alimentaire: technique et ingénierie*. 1ère. ed. DUNOD, Paris.
- Guo, M., Y. W. Park, P. H. Dixon, J. A. Gilmore, and P. S. Kindstedt. 2004. Relationship between the yield of cheese (chevre) and chemical composition of goat milk. *Small Ruminant Research*. 52:103-107.
- Gurdeep-Kaur, K. L. Bajaj, and S. P. Jaiswal. 1980. Studies on variation in protein and mineral contents in dried red fruits of chilli varieties. *Indian Food Packer*. 34(1):21-23.
- Hadjipanayiotou, M. 1995. Composition of ewe, goat and cow milk and of colostrum of ewes and goats. *Small Ruminant Research*. 18:255-262.
- Han, S. S., Y. S. Keum, H. J. Seo, K. S. Chun, S. S. Lee, and Y. J. Surh. 2001. Capsaicin suppresses phorbol ester-induced activation of NF- $\kappa$ B/Rel and AP-1 transcription factors in mouse epidermis. *Cancer Letters*. 164:119-126.
- Harrison, M. K. and N. D. Harris. 1985. Effects of processing treatments on recovery of capsaicin in Jalapeno peppers. *J. of Food Sci.* 50:1764-1765.
- Hartman, K. T. 1970. A rapid gas-liquid chromatographic determination of capsaicin in capsicum spice. *J. Food Sci.* 35:543-547.
- Hersch, F. and J. Jurenitsch. 1979. Off-line mass spectrometric monitoring of HPLC effluents - an improved identification and quantitation method for mixtures of similar compounds: natural capsaicinoids. *Chromatographia*. 12(10):647-650.
- Hernández, S. V. and H. T. Lawless. 1999. A method of adjusted for preferred levels of capsaicin in liquid and solid food systems among panelists of two ethnic groups and comparison to hedonic scaling. *Food Quality and Preference*. 10:41-49.
- Hernández, Z. J. and V. A. Sierra. 1992. Situación particular de la caprinocultura en la Mixteca Baja Oaxaqueña. VIII Reunión Nacional de Caprinocultura, DGETA-SEP, Oaxaca. Oax., México:155-159.
- Herrera, G. M. I., P. P. Peláez, B. M. Fresno, R. E. Rodríguez, M. J. Darías, and R. C. Díaz. 2006. Mineral and trace element concentrations of dairy products from goats' milk produced in Tenerife (Canary Islands). *Int. Dairy J.* 16:182-185.
- Hoffman, P. G., M. C. Lego, and W. G. Galetto. 1983. Separation et quantitation of red pepper major heat principles by reverse-phase high-pressure liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 31(6):1326-1330.

- Hoyos, F. G. 1988. Destino, márgenes y canales de comercialización de la producción caprina con productores de escasos recursos en la Comarca Lagunera. Congreso Interamericano de Producción Caprina, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México:E5-E8.
- Hrboticky, N. and M. Kronl. 1984. Acculturation to Canadian foods by Chinese immigrant boys: changes in the perceived flavor, health value and prestige of foods. *Appetite*. 5(2):117-126.
- Iaschi, S. P. A., J. Hui, F. N. Chong, A. Strange, M. Strange, R. Bencini, and G. K. Tay. 2004. Comparison of the milk quality of the South African Boer and Australian Rangeland goats. *Small Rum. Res.* 53:181-184.
- Ibarra, H. J. and M. Andrade. 1988. Análisis económico y evaluación de una granja caprina en estabulación en el Estado de Querétaro. Congreso Interamericano de Producción Caprina, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México:E1-E4.
- INEGI. 1994. Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal, 1991, Sector Agropecuario. Resultados definitivos. México.
- Ireland, J., J. C. Favier, and M. Feinberg. 2002. Répertoire général des aliments: Produits laitiers. Vol. 2. 2 ed. Ed. Tec&Doc, Londres-Paris-New York.
- Iwai, K., T. Suzuki, and H. Fujiwake. 1979. Formation and acumulation of pungent principle of hot pepper fruits, capsaicin and its analogues, in *Capsicum annuum* var. *annuum* cv. *karayatsubusa* at different growth stages after flowering. *Agric. Biol. Chem.* 43(12):2493-2498.
- Jambu, M. 1999. Méthodes de base de l'analyse des données. Editions Eyrolles, Paris.
- Jarén, G. M., U. Nienaber, and S. J. Schwartz. 1999. Paprika (*Capsicum annuum*) oleoresin extraction with supercritical carbon dioxide. *J. Agric. Food Chem.* 47:3558-3564.
- Jarret, R. L., B. Perkins, T. Fan, A. Prince, K. Guthrie, and B. Skoczenski. 2003. Using EIA to screen *Capsicum* spp. germplasm for capsaicinoid content. *J. Food Comp. Anal.* 16:189-194.
- Jaubert, A. 1996. Les vitamines et les nucléotides du lait de chèvre. Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre. Actes du colloque : Le lait de chèvre, un atout pour la santé, INRA. Niort, France:81-92.
- Jinpin, Y., G. N. Muraleedharan, and C. Amitabh. 1994. Supercritical carbon dioxide extraction of scotch bonnet (*Capsicum annuum*) and quantification of capsaicin and dihydrocapsaicin. *J. Agric. Food Chem.* 42(6):1303-1305.
- Johnson, E. K., H. C. J. Thompson, and M. C. Bowman. 1982. Trace analysis of natural capsaicinoids in animal feed, human urine, and wastewater by high-presure liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 30(2):324-329.
- Johnston, J. J., D. A. Goldade, and R. B. Chipman. 2002. Capsaicin migration through maple sap collection tubing. *Crop Protection.* 21:1109-1112.
- Jolicoeur, H. 2001. Les chasse-ours à base de poivre de Cayenne. Page 13. Société de la faune et des parcs du Québec ed. Direction du développement de la faune. Québec.

- Jones, N. L., S. Shabib, and P. M. Sherman. 1997. Capsaicin as an inhibitor of the growth of the gastric pathogen *Helicobacter pylori*. FEMS Microbiology Letters. 146:223-227.
- Kaale, E., A. Van-Schepdael, E. Roets, and J. Hoogmartens. 2002. Determination of capsaicinoids in topical cream by liquid-liquid extraction and liquid chromatography. J. Pharm. Biom. Anal. 30:1331-1337.
- Karrer, T. and L. Bartoshuk. 1991. Capsaicin desensitization and recovery on the human tongue. Physiol. Behav. 49:757-764.
- Karrer, T. and L. Bartoshuk. 1995. Effects of capsaicin desensitization on taste in humans. Physiol. Behav. 57(3):421-429.
- Kawada, T., K. I. Hagihara, and K. Iwai. 1986. Effects of capsaicin on lipid metabolism in rats fed a high fat diet. J. Nutr. 116:1272-1278.
- Kawada, T. and K. Iwai. 1985. In vivo and in vitro metabolism of dihydrocapsaicin, a pungent principle of hot pepper, in rats. Agric. Biol. Chem. 49(2):441-448.
- Kawada, T., T. Suzuki, M. Takahashi, and K. Iwai. 1984. Gastrointestinal absorption and metabolism of capsaicin and dihydrocapsaicin in rats. Toxicol. Appl. Pharmacol. 72:449-456.
- Khadi, B. M., J. V. Goud, and V. B. Patil. 1987. Variation in ascorbic acid and mineral content in fruits of some varieties of chilli (*Capsicum annuum* L.). Plant Foods Hum. Nut. 37(1):9-15.
- Kirschbaum-Titze, P., C. Hiepler, E. Mueller-Seitz, and M. Petz. 2002a. Pungency in paprika (*Capsicum annuum*). 1. Decrease of capsaicinoids content following cellular disruption. J. Agric. Food Chem. 50(5):1260-1263.
- Kirschbaum-Titze, P., E. Mueller-Seitz, and M. Petz. 2002b. Pungency in paprika (*Capsicum annuum*). 2. Heterogeneity of capsaicinoid content in individual fruits from one plant. J. Agric. Food Chem. 50(5):1264-1266.
- Knights, M. and G. W. Garcia. 1997. The status and characteristics of the goat (*Capra hircus*) and its potential role as a significant milk producer in the tropics: A Review. Small Rum. Res. 26:203-215.
- Korel, F., N. Bagdatlioglu, M. O. Balaban, and Y. Hisil. 2002. Ground red peppers: capsaicinoids contents, Scoville scores, and discrimination by an electronic nose. J. Agric. Food Chem. 50(11):3257-3261.
- Kosuge, S. and M. Furuta. 1970. Studies on the pungent principle of *Capsicum*. Part XIV. Chemical constitution of the pungent principle. Agric. Biol. Chem. 34(2):248-256.
- Kozma-Kovács, E., E. Kevei-Pichler, and I. Lendvai. 1977. Determination of the capsaicin content in raw green paprika. Acta Alim. 6(1):1-19.
- Krajayklang, M., A. Klieber, and P. R. Dry. 2000. Colour at harvest post-harvest behavior influence paprika and chilli spice quality. Posth. Biol. Technol. 20:269-278.
- Kuda, T., A. Iwai, and T. Yano. 2004. Effect of red pepper *Capsicum annuum* var. conoides and garlic *Allium sativum* on plasma lipid levels and cecal microflora in mice fed beef tallow. Food Chem. Toxicol. 42:1695-1700.

- Laskaridou-Monnerville, A. 1999. Determination of capsaicin and dihydrocapsaicin by micellar electrokinetic capillary chromatography and its application to various species of *Capsicum*, Solanaceae. *J. Chromatogr. A.* 838:293-302.
- Lavin, J. G. and H. T. Lawless. 1998. Effects of color and odor on judgments of sweetness among children and adults. *Food Quality and Preference.* 9(4):283-289.
- Law, M. W. 1983. High pressure liquid chromatographic determination of capsaicin in oleoresin and personal protection aerosols. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 66(5):1304-1306.
- Lawless, H. T., N. Sheng, and S. S. C. P. Knoops. 1995. Multidimensional scaling of sorting data applied to cheese perception. *Food Quality and Preference.* 6:91-98.
- Lee, C. J., E. Y. Yoo, J. H. Shin, J. Lee, H. S. Hwang, and B. D. Kim. 2004. Non-pungent *Capsicum* contains a deletion in the capsaicinoids synthetase gene, which allows early detection of pungency with SCAR markers. *Mol. Cells.* 19(262-267).
- Lee, K. R., T. Suzuki, M. Kobashi, K. Hasegawa, and K. Iwai. 1976. Quantitative microanalysis of capsaicin, dihydrocapsaicin and nordihydrocapsaicin using mass fragmentography. *J. Chromatogr.* 123:119-128.
- Leite, S. E., S. T. L. Montenegro, E. O. Lima, T. V. Nogueira, and F. J. M. Barbosa. 2005. Antimicrobial effectiveness of spices: an approach for use in food conservation systems. *Brazilian Arch. Biol. Tech.* 48(4):549-558.
- Lépiz, I. H., V. A. Sierra, and A. I. Bucardo. 1992. Las "matanzas" de cabras en los estados de Puebla y Oaxaca. VIII Reunión Nacional de Caprinocultura, DGETA-SEP, Oaxaca. Oax., México:210-214.
- Letarte, A., L. Dubé, and L. Troche. 1997. Similarities and differences in affective and cognitive origins of food likings and dislikes. *Appetite.* 28:115-129.
- Leuschner, R. G. and V. Ielsch. 2003. Antimicrobial effects of garlic, clove and red hot chilli on *Listeria monocytogenes* in broth model systems and soft cheese. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 54(2):127-133.
- Liu, L. and S. A. Simon. 1998. The influence of removing extracellular Ca<sup>2+</sup> in the desensitization responses to capsaicin, zingerone and olvanil in rat trigeminal ganglion neurons. *Brain Res.* 809:246-252.
- Lloyd, S. 1982. Goat medicine and surgery. *Br. vet. J.* 138(1):70-85.
- Logue, A. W. and M. E. Smith. 1986. Predictors of food preferences in adult humans. *Appetite.* 7:109-125.
- Maga, J. A. 1975. *Capsicum*. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 6:177-199.
- Mahé, S. 1996. Valeur nutritionnelle du lait en alimentation humaine. Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre. Actes du colloque : Le lait de chèvre, un atout pour la santé, INRA. Niort, France:9-26.
- Mandadi, S., M. Numazaki, M. Tominaga, M. B. Bhat, P. J. Armati, and B. D. Roufogalis. 2004. Activation of protein kinase C reverses capsaicin-induced calcium-dependent desensitization of TRPV1 ion channels. *Cell Calcium.* 35:471-478.
- Marshall, J. T. and V. L. Doperalski. 1981. Jalapeno pepper pungency as a quality controlfactor for process cheese. *J. Dairy Sci.* 64(4):627-633.

- Martin, B., S. Buchin, and C. Hurtaud. 2003. Conditions de production du lait et qualités sensorielles des fromages. *INRA Prod. Anim.* 16:283-288.
- Martin, P. 1996. La composition protéique du lait de chèvre : ses particularités. Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre. Actes du colloque : Le lait de chèvre, un atout pour la santé, INRA. Niort, France:9-26.
- Martínez, L. R. 1992. Regionalización y diagnóstico estático de la ganadería caprina en el noreste de Jalisco. VIII Reunión Nacional de Caprinocultura, DGETA-SEP, Oaxaca. Oax., México:160-164.
- Masada, Y., K. Hashimoto, T. Inoue, and M. Suzuki. 1971. Analysis of the pungent principles of *Capsicum annuum* by combined gas chromatography-mass spectrometry. *J. Food Sci.* 36:858-860.
- Mathew, A. G., Y. S. Lewis, R. Jagadishan, E. S. Nambudiri, and N. Krishnamurthy. 1971. Oleoresin capsicum. *Flavour Ind.* 2:23.
- Maurya, K. R., R. C. Jha, B. K. Singh, and M. L. Chaudhary. 1984. Physico-chemical qualities of some varieties of chilli (*Capsicum annuum* Linn.). *Indian Food Packer.* 38(4):37-40.
- McBurney, D. H., C. D. Balaban, D. E. Christopher, and C. Harvey. 1997. Adaptation to capsaicin within and across days. *Physiol. Behav.* 61(2):181-190.
- Meléndez, M. A. J., I. M. Vicario, and F. J. Heredia. 2005. Correlation between visual and instrumental colour measurements of orange juice dilutions: effect of the background. *Food Quality and Preference.* 16:471-478.
- Mellado, B. M. 1994. Manejo reproductivo del ganado caprino en agostadero. IX Reunión Nacional de Caprinocultura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz 94. La Paz, B. C. S. México:79-101.
- Meschy, F. 2002. Eléments minéraux majeurs: données récentes chez les caprins. *INRA Prod. Anim.* 15(4):267-271.
- Middleton, G. and C. H. Fitz-Gerald. 1981. Chemical analysis of goat's milk produced in South East Queensland. *Aust. J. Dairy Tech.* 36(3):115-117.
- Miller, M. S., K. Brendel, T. F. Burks, and I. G. Sipes. 1983. Interaction of capsaicinoids with drug-metabolizing systems. *Biochem. Pharmacol.* 32(3):547-551.
- Millqvist, E. and M. Bende. 2001. Capsaicin cough sensitivity is decreased in smokers. *Respir. Med.* 95:19-21.
- Molina, T. J., C. A. García, and C. E. Ramírez. 1999. Antimicrobial properties of alkaloids present in flavouring plants traditionally used in Mesoamerica: affinin and capsaicin. *J. Ethnopharm.* 64:241-248.
- Monserenusorn, Y., S. Kongsamut, and P. D. Pezalla. 1982. Capsaicin: a literature survey. *Crit. Rev. Toxicol.* 10:321-339.
- Morgan, F., T. Massouras, M. Barbosa, L. Roseiro, F. Ravasco, I. Kandarakis, V. Bonnin, M. Fistakoris, E. Anifantakis, G. Jaubert, and K. Raynal-Ljutovac. 2003. Characteristics of goat milk collected from small and medium enterprises in Greece, Portugal and France. *Small Ruminant Research.* 47:39-49.

- Mowlem, A. 2005. Marketing goat dairy produce in the UK. *Small Ruminant Research*. 60:207-213.
- NAFINSA. 1999. *Diplomado en el ciclo de vida de los proyectos de inversión*. Nacional Financiera ed. Ediciones en color, S. A. de C. V., México, D.F.
- Nagin, C. and V. S. Govindarajan. 1985. Paper chromatographic determination of total capsaicinoids in green chillies (*Capsicum annuum*). *J. Food Sci. Tech.* 22(4):285-287.
- Nagin, C. R. and V. S. Govindarajan. 1981. Paper chromatographic determination of total capsaicinoids in Capsicums and their oleoresins with precision, reproducibility, and validation through correlation with pungency in Scoville units. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 64(2):311-317.
- Narayanan, C. S., M. A. Sumathikutty, B. Sankarikutty, K. Rajaraman, A. V. Bhat, and A. G. Mathew. 1980. Studies on separation of high pungent oleoresin from Indian chilli. *J. Food Sci. Tech.* 17(3):136-138.
- Nasrawi, C. W. and R. M. Pangborn. 1990a. Temporal effectiveness of mouth-rinsing on capsaicin mouth-burn. *Physiol. Behav.* 47:617-623.
- Nasrawi, C. W. and R. M. Pangborn. 1990b. Temporal gustatory and salivary responses to capsaicin upon repeated stimulation. *Physiol. Behav.* 47:611-615.
- Nelson, E. K. 1919a. The constitution de capsaicin -the pungent principle of capsicum. *J. Am. Chem. Soc.* 41:1115-1121.
- Nelson, E. K. 1919b. Vanillyl-acyl amides. *J. Am. Chem. Soc.* 41:2121-2130.
- Nelson, E. K. 1920. The constitution of capsaicin -the pungent principle of *Capsicum*, II. *J. Am. Chem. Soc.* 42:597-599.
- Nelson, E. K. and L. C. Dawson. 1923. The constitution of capsaicin, the pungent principle of *Capsicum*. III. *J. Am. Chem. Soc.* 45:2179-2181.
- Nopanitaya, W. 1973. Long term effects of capsaicin on fat absorption and the growth of the rat. *Growth.* 37:269-279.
- Nopanitaya, W. 1974. Effects of capsaicin in combination with diets of varying protein content on the duodenal absorptive cells of the rat. *Diges. Dis.* 19(5):439-448.
- North, H. 1949. Colorimetric determination of capsaicin in oleoresin of *Capsicum*. *Anal. Chem.* 21(8):934-936.
- Nosti-Vega, M., R. Vázquez-Ladrón, and R. Castro-Ramos. 1982. Utilization possibilities of by-products from table olive industry. *Grasas y Aceites.* 33(3):135-139.
- Ogbadu, G. H., M. A. Aina, and J. D. Olarewaju. 1989. Total capsaicinoids content of some capsicums species grown in Northern Nigeria. *Trop. Sci.* 29(3):151-155.
- Olivier, J. J., S. W. P. Cloete, S. J. Schoeman, and C. J. C. Mueller. 2005. Performance testing and recording in meat and dairy goats. *Small Rum. Res.* 60:83-93.
- Pachauri, D. K. and M. P. Gupta. 1982. Note on the physico-chemical state of calcium and magnesium in goat milk. *Indian J. Anim. Sci.* 52(12):1271-1272.

- Park, Y. W. 2000. Comparison of mineral and cholesterol composition of different commercial goat milk products manufactured in USA. *Small Rum. Res.* 37:115-124.
- Paz, F. M. T., C. J. Camejo, S. V. Suárez, and M. Alfonso. 2002. Sensory quality of semi-hard short matured cheeses. *Alimentaria.* 38:93-96.
- Peacock, C. 2005. Goats: A pathway out of poverty. *Small Ruminant Research.* 60:179-186.
- Pedrero, D. L. and R. M. Pangborn. 1989. Evaluación sensorial de los alimentos, métodos analíticos. Editorial Alambra Mexicana, México.
- Peraza, C. C. 2001. Subject: Le fromage artisanal au Mexique. CIRVAL (Centre International de Ressources et de Valorisation de l'Information des Filières Laitières Petits Ruminants). Accessed [www.cirval.asso.fr](http://www.cirval.asso.fr), juillet 2005.
- Perucka, I. and W. Oleszek. 2000. Extraction and determination of capsaicinoids in fruit of hot pepper *Capsicum annum* L. by spectrophotometry and high-performance liquid chromatography. *Food Chem.* 71:287-291.
- Pitchford, N. J. and K. T. Mullen. 2005. The role of perception, language, and preference in the developmental acquisition of basic color terms. *J. Exp. Child Psychol.* 90:275-302.
- Prescott, J. 1998. Comparisons of taste perceptions and preferences of Japanese and Australian consumers: overview and implications for cross-cultural sensory research. *Food Quality and Preference.* 9(6):393-402.
- Prescott, J. 1999. The generalizability of capsaicin sensitization and desensitization. *Physiol. Behav.* 66(5):741-749.
- Prescott, J. and G. Bell. 1995. Cross-cultural determinants of food acceptability: Recent research on sensory perceptions and preferences. *Trends Food Sci. Tech.* 6:201-205.
- Prescott, J., G. Bell, R. Gillmore, M. Yoshida, M. O'Sullivan, S. Korac, S. Allen, and K. Yamazaki. 1997. Cross-cultural comparisons of Japanese and Australian responses to manipulations of sweetness in foods. *Food Quality and Preference.* 8(1):45-55.
- Prescott, J., G. A. Bell, R. Gillmore, M. Yoshida, M. O'Sullivan, S. Korac, S. Allen, and K. Yamazaki. 1998. Cross-cultural comparisons of Japanese and Australian responses to manipulations of sourness, saltiness and bitterness in foods. *Food Quality and Preference.* 9(1-2):53-66.
- Prescott, J. and R. J. Stevenson. 1996a. Desensitization to oral zingerone irritation: effects of stimulus parameters. *Physiol. Behav.* 60(6):1473-1480.
- Prescott, J. and R. J. Stevenson. 1996b. Psychophysical responses to single and multiple presentations of the oral irritant zingerone: relationship to frequency of chili consumption. *Physiol. Behav.* 60(2):617-624.
- Quinones-Seglie, C. R., E. E. Burns, and B. Villalon. 1989. Capsaicinoids and pungency in various capsicums. *Lebensm. Wiss. u. Technol.* 22(4):196-198.
- Quittet, E. 1990. La cabra, guía práctica para el ganadero. Versión en español por Díaz Yubero, Miguel A.

- Ramos-Palacio, J. J. 1977. Spectrophotometric determination of capsaicin. *J. of the AOAC*. 60(4):970-972.
- Ramos-Palacio, J. J. 1979. Further study of the spectrophotometric determination of capsaicin. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 62(5):1168-1170.
- Reilly, C. A., D. J. Crouch, and G. S. Yost. 2001a. Quantitative analysis of capsaicinoids in fresh peppers, oleoresin capsicum and pepper spray products. *J. Forensic Sci.* 46(3):502-509.
- Reilly, C. A., D. J. Crouch, G. S. Yost, and A. A. Fatah. 2001b. Determination de capsaicin, dihydrocapsaicin, and nonivamide in self-defense weapons by liquid chromatography-mass spectrometry and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J. Chromatogr. A*. 912:259-267.
- Reilly, C. A., D. J. Crouch, G. S. Yost, and A. A. Fatah. 2002. Determination of capsaicin, nonivamide, and dihydrocapsaicin in blood and tissue by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J. Analyt. Toxicol.* 26:313-319.
- Reilly, C. A., W. J. Ehlhardt, D. A. Jackson, P. Kulanthaivel, A. E. Mutlib, R. J. Espina, D. E. Moody, D. J. Crouch, and G. S. Yost. 2003. Metabolism of capsaicin by cytochrome P450 produces novel dehydrogenated metabolites and decreases cytotoxicity to lung and liver cells. *Chem. Res. Toxicol.* 16(3):336-349.
- Remeuf, F. and J. Lenoir. 1985. Caractéristiques physico-chimiques de laits de chèvre et leur aptitude à la coagulation par la présure. *Rev. Laitière Fran.* 446:32-40.
- Rhyu, H. Y. 1978. Some comments on the stimulation of sensory threshold by Kaerber and Scoville methods. *J. of Food Sci.* 43(5):1632-1633.
- Richard, H. 1992. *Epices et Aromates*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
- Ríos, J. L. and M. C. Recio. 2005. Medicinal plants and antimicrobial activity. *Journal of Ethnopharmacology*. 100:80-84.
- Rowland, B. J., B. Villalon, and E. E. Burns. 1983. Capsaicin production in sweet bell and pungent jalapeno peppers. *J. Agric. Food Chem.* 31(3):484-487.
- Rozin, P., C. Fischler, S. Imada, A. Sarubin, and A. Wrzesniewski. 1999. Attitudes to food and the role of food in life in the U.S.A., Japan, Flemish Belgium and France: Possible implications for the diet-health debate. *Appetite*. 33:163-180.
- Rozin, P. and D. Schiller. 1980. The nature and acquisition of a preference for chili pepper by humans. *Motivation and Emotion*. 4(1):77-101.
- Rymal, K. S., R. D. Cospers, and D. A. Smith. 1984. Injection-extraction procedure for rapid determination of relative pungency in fresh jalapeño peppers. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 67(3):658-659.
- S.S.H.A. 1998. *Évaluation sensorielle, manuel méthodologique*. Lavoisier Tec&Doc, Paris.
- Salam, A., J. Szolcsanyi, and G. Mozsik. 1997. Capsaicin and the stomach. A review of experimental and clinical data. *J. Physiology*. 91:151-171.
- Salimath, B. P. and M. N. Satyanarayana. 1987. Inhibition of calcium and calmodulin dependent phosphodiesterase activity in rats by capsaicin. *Biochem. Biophys. Res. Com.* 148(1):292-299.

- Salinas, G. H., F. G. Hoyos, and E. P. Saenz. 1989. El sistema de producción caprino y sus factores limitantes en la Región Lagunera. V Reunión Nacional sobre Caprinocultura, UAZ. Zacatecas, Zac. México:15-19.
- Sambaiah, K. and M. N. Satyanarayana. 1989. Effect of capsaicin on triglyceride accumulation and secretion in ethanol fed rats. *Indian J. Med. Res.* 90:154-158.
- Sambaiah, K., M. R. Srinivasan, M. N. Satyanarayana, and N. Chandrasekhara. 1984. Influence of capsaicin on the absorption of amino acids and fat in rats. *J. Food Sci. Technol.* 21(3):155-157.
- Sanna, L. and R. J. Swientek. 1984. HPLC quantifies heat levels in chili pepper products. *Food Processing.* 45(11):70.
- Saporta, G. 1990. Probabilités, analyse des données et statistique. Editions Technip, Paris.
- Sarfarazi, M., B. Cave, A. Richardson, J. Behan, and E. M. Sedgwick. 1999. Visual event related potentials modulated by contextually relevant and irrelevant olfactory primes. *Chem. Senses.* 24:145-154.
- Saria, A., F. Lembeck, and G. Skofitsch. 1981. Determination of capsaicin in tissues and separation of capsaicin analogues by high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr.* 208:41-46.
- Sass, N. L., M. Rounsavill, and H. Combs. 1977. A high-yield method for the extraction and purification of capsaicin. *J. Agric. Food Chem.* 25(6):1419-1420.
- Sato, K., S. S. Sasaki, Y. Goda, T. Yamada, O. Nunomura, K. Ishikawa, and T. Maitani. 1999. Direct connection of supercritical fluid extraction and supercritical fluid chromatography as a rapid quantitative method for capsaicinoids in placentas of *Capsicum*. *J. Agric. Food Chem.* 47(11):4665-4668.
- Schutz, H. G. 1998. Evolution of the sensory science discipline. *Food Technol.* 52(8):42-46.
- Schwiggert, U., R. Carle, and A. Schieber. 2006. Characterization of major and minor capsaicinoids and related compounds in chili pods (*Capsicum frutescens* L.) by high-performance liquid chromatography/atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta.* 557:236-244.
- Scoville, W. L. 1912. Note on *Capsicum*. *J. Am. Pharm. Assoc.* 1:453-454.
- SEA-AAC. 2004. Subject: Exploration des débouchés au Mexique pour les producteurs laitiers manitobains. Information sur les marchés - l'Amérique latine et les Antilles, Service d'exportation agroalimentaire, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Accessed (<http://ats.agr.ca/latin/f3157.htm>), avril 2006.
- Seze, M., L. Wiart, J. M. Ferriere, M. P. Seze, P. A. Joseph, and M. Barat. 1999. Instillations intravésicales de capsaïcine en urologie. Des principes pharmacologiques aux applications thérapeutiques. *Progrès en Urologie.* 9:615-632.
- SIACON-SAGARPA. 2006. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON), SAGARPA. [http://www.siea.sagarpa.gob.mx/ar\\_comdeanuadin.html](http://www.siea.sagarpa.gob.mx/ar_comdeanuadin.html).
- SIAP-SAGARPA. 2006. Subject: [www.sagarpa.mx](http://www.sagarpa.mx). Accessed Dernière mise au jour mars 2006.

- Silva, P. T. and P. M. M. Mora. 1989. Producción caprina tradicional en la Mixteca Alta Oaxaqueña. V Reunión Nacional sobre Caprinocultura, UAZ, Zacatecas, Zac., México:32-35.
- Soryal, K. A., S. S. Zeng, B. R. Min, S. P. Hart, and F. A. Beyene. 2004. Effect of feeding systems on composition of goat milk and yield of Domiati cheese. *Small Rum. Res.* 54:121-129.
- Spanyar, P. and M. Blazovich. 1969. Thin-layer chromatography method for the determination of capsaicin. *Analyst.* 94:1084-1089.
- Stevens, D. A. 1996. Individual differences in taste perception. *Food Chem.* 56(3):303-311.
- Surh, Y. J. 1999. Molecular mechanisms of chemopreventive effects of selected dietary and medicinal phenolic substances. *Mut. Res.* 428:305-327.
- Surh, Y. J. 2002. Anti-tumor promoting potential of selected spice ingredients with antioxidative and anti-inflammatory activities: a short review. *Fd. Chem. Toxic.* 40:1091-1097.
- Surh, Y. J., S. H. Ahn, K. C. Kim, J. B. Park, Y. W. Sohn, and S. S. Lee. 1995. Metabolism of capsaicinoids: evidence for aliphatic hydroxylation and its pharmacological implications. *Life Sci.* 56(16):305-311.
- Surh, Y. J., E. Lee, and J. M. Lee. 1998. Chemoprotective properties of some pungent ingredients present in red pepper and ginger. *Mut. Res.* 402:259-267.
- Surh, Y. J. and S. S. Lee. 1995. Capsaicin, a double-edged sword: toxicity, metabolism, and chemopreventive potential. *Life Sci.* 56(22):1845-1855.
- Surh, Y. J. and S. S. Lee. 1996. Capsaicin in hot chili pepper: carcinogen, co-carcinogen or anticarcinogen? Short review. *Fd. Chem. Toxic.* 34(3):313-316.
- Suzuki, J. I., F. Tausig, and R. E. Morse. 1957. Some observations on red pepper. I. A new method for the determination of pungency in red pepper. *Food Technology.* 11:100-104.
- Suzuki, T., T. Kawada, and K. Iwai. 1980. Effective separation of capsaicin and its analogues by reversed-phase high-performance thin-layer chromatography. *J. Chromatogr.* 198(2):217-223.
- Szallasi, A. and P. M. Blumberg. 1996. Vanilloid receptors: new insights enhance potential as a therapeutic target. *Pain.* 68:195-208.
- Szolcsanyi, J. 1983. Capsaicin: hot new pharmacological tool. *Trends Pharmacol. Sci.* 4:495.
- Szolcsanyi, J. 2004. Forty years in capsaicin research for sensory pharmacology and physiology. *Neuropeptides.* 38:377-384.
- Tanaka, J., D. Weiskopf, and P. Williams. 2001. The role of color in high-level vision. *Trends Cognitive Sci.* 5(5):211-215.
- Tandon, G. L., S. V. Dravid, and G. S. Siddappa. 1964. Oleoresin of Capsicum (red chillies) -some technological and chemical aspects. *J. Food Sci.* 29(1):1-5.
- Tirimanna, A. S. L. 1972. Quantitative determination of the pungent principle (capsaicin) of Ceylon chillies (*Capsicum* species). *Analyst.* 97:372-375.

- Todd, P. H. and C. Perun. 1961. Gas-liquid chromatographic analysis of capsicum amides. *Food Technology*. 15:270-272.
- Todd, P. H. J., M. G. Bensinger, and T. Biftu. 1975. TLC screening techniques for the qualitative determination of natural and synthetic capsaicinoids. *J. Chromatogr. Sci.* 13(12):577-579.
- Todd, P. H. J., M. G. Bensinger, and T. Biftu. 1977. Determination of pungency due to Capsicum by gas-liquid chromatography. *Journal of Food Science*. 42(3):660-665.
- Touhami, M. 1996. Intérêt nutritionnel du lait de chèvre. Intérêts nutritionnel et diététique du lait de chèvre. Actes du colloque : Le lait de chèvre, un atout pour la santé, INRA. Niort, France:93-100.
- Trejo-González, A. and C. Wild-Altamirano. 1973. A new method for the determination of capsaicin in capsicum fruits. *J. Food Sci.* 38(2):342-344.
- Trujillo, G. A. M., P. F. Castrejón, L. M. S. Rubio, W. A. E. Ducoing, and A. A. Alarcón. 1998. Características de las canales de cabritos alpinos francés y cruza de alpinos francés-boer alimentados en pastoreo. XIII Reunión Nacional sobre Caprinocultura, UASLP, San Luis Potosí, México:181-187.
- Tsuchiya, H. 2001. Biphasic membrane effects of capsaicin, an component in *Capsicum* species. *J. Ethnopharm.* 75:295-299.
- Van Hekken, D. and N. Y. Farkye. 2003. Hispanic cheeses: the quest for queso. *Food Tech.* 57(1):32-38.
- Wahab, A. B. A. 1984. A combined gas chromatography-mass spectrometry (GCMS) study on the pungent principles in chillies (*Capsicum* species). *Mardi Res. Bull.* 12(3):290-297.
- Wattiaux, M. and W. T. Howard. 2006. Subject: Le lait. Accessed 2005.
- Weaver, K. M. and D. B. Awde. 1986. Rapid high-performance liquid chromatographic method for the determination of very low capsaicin levels. *J. Chromatogr.* 367(2):438-442.
- Weaver, K. M., R. G. Luker, and M. E. Neale. 1984. Rapid quality control procedure for the determination of Scoville heat units and the detection of chillies in black pepper, via high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr.* 301(1):288-291.
- Weisenfelder, A. E., V. L. Huffman, B. Villalon, and E. E. Burns. 1978. Quality and processing attributes of selected jalapeño pepper cultivars. *J. Food Sci.* 43:885-887.
- Yeh, L. L., K. O. Kim, P. Chompreeda, H. Rimkeeree, N. J. N. Yau, and D. S. Lundahl. 1998. Comparison in use of the 9-point hedonic scale between Americans, Chinese, Koreans, and Thai. *Food Quality and Preference*. 9(6):413-419.
- Yuste, F., V. Castro, and F. Walls. 1980. Determination of capsaicin in some Mexican varieties of the genus *Capsicum*. *Rev. Soc. Quim. Mex.* 24(4):166-167.
- Zan, M., V. Stibilj, and I. Rogelj. 2005. Milk fatty acid composition of goats grazing on alpine pasture. *Small Rum. Res.* xxx:xxx-xxx.
- Zarc International, I. 2003. Subject: Les *Capsicum*, www.zarc.com. Accessed 10 juin, 2004.

- Zellner, D. A. and P. Durlach. 2002. What is refreshing? An investigation of the color and other sensory attributes of refreshing foods and beverages. *Appetite*. 39:185-186.
- Zellner, D. A., T. A. Garriga, E. Rohm, S. Centeno, and S. Parker. 1999. Food liking and craving: A cross-cultural approach. *Appetite*. 33:61-70.
- Zeng, S. S., E. N. Escobar, and T. Popham. 1997. Daily variations in somatic cell count, composition, and production of Alpine goat milk. *Small Rum. Res.* 26:253-260.
- Zeng, S. S., K. A. Soryal, B. Fekadu, B. Bah, and T. Popham. 2006. Predictive formulae for goat cheese yield based on milk composition. *Small Rum. Res.* xxx:7 pages.

## ANNEXE 1. Analyses physico-chimiques : lait et fromages

### Déterminations de l'acidité et de la densité

#### 1. Mesure du pH

**Principe.** Les valeurs de pH représentent l'acidité du lait à un moment donné. Elles sont plus significatives que les valeurs de l'acidité surtout pour déterminer la stabilité du lait à la chaleur. Le pH du lait varie entre 6,6 et 6,8 ; les valeurs inférieures et supérieures à ce rang sont considérées anormales. Le pH du lait dépend principalement de la présence de caséines et d'anions phosphoriques et citriques (FTLQ, 2002).

**Mode opératoire.** Le pH se mesure à l'aide d'un pH-mètre. Le pH-mètre est un appareil électronique muni d'une électrode qu'on plonge dans le lait. L'électrode qui renferme une solution aqueuse acide, comporte une membrane de verre spécial perméable aux ions H<sup>+</sup>.

**Expression des résultats.** La différence entre les ions H<sup>+</sup> de la solution contenue dans l'électrode et les ions H<sup>+</sup> du lait est convertie en une différence de potentiel électrique. Le pH-mètre transforme cette différence de potentiel en unités pH (FTLQ, 2002).

#### 2. Mesure de l'acidité titrable

L'acidité naturelle du lait est attribuable à la présence de caséines, de substances minérales, de traces d'acides organiques et de réactions secondaires dues aux phosphates. L'acidité développée du lait est causée par l'acide lactique et d'autres acides provenant de la dégradation microbienne du lactose dans les laits altérés. Cette acidité peut varier de 0,10 à 0,30 %. Les laits ont normalement une acidité de 13–17 °D. (FTLQ, 2002). Normes : AOAC, 947.05 et NF V 04-206.

**Principe.** L'acidité titrable mesure la quantité d'acide présente dans un échantillon de lait. L'acidité potentielle titrée par l'hydroxide de sodium en présence de phénolphthaléine comme indicateur. On l'exprime en pourcentage d'acide lactique.

**Mode opératoire.** Un échantillon de 10 ml de lait est introduit à la pipette dans un bécher, s'ajoutent 2 ou 3 gouttes d'une solution de phénolphthaléine à 1 % dans l'éthanol à 95 % et se titre par une solution d'hydroxyde de sodium N/9, jusqu'au début d'un

virage au rose perceptible. On considère que le virage est atteint quand la coloration rose persiste pendant une dizaine de secondes.

**Expression des résultats.** L'acidité s'exprime en gramme d'acide lactique par litre de lait. Dans la pratique on utilise souvent le terme « degré Dornic ». Le degré Dornic (°D) est défini comme le volume en dixième de millilitre (1/10) de NaOH (0,11N) utilisé pour titrer 10 ml de lait en présence de la phénophtaléine. Ainsi 1 °D = 1 mg d'acide lactique dans 10 ml de lait, soit 0,1 g/l ou 0,01 % d'équivalent acide lactique.

### 3. Densité

La détermination de la densité se réalise en utilisant un aéromètre spécialement adapté, que l'on appelle lactodensimètre, gradué à la température de 15 °C et comportant parfois un thermomètre. Si la température n'est pas exactement de 15 °C, il faudra corriger la densité lue.

**Principe.** La densité est le rapport des masses d'un volume de lait et d'un même volume d'eau à 15 °C. Ce masse résulte des diverses densités des constituants du lait : eau, matière grasse, protéines, sucres, etc. La quantité de ces différents constituants n'étant pas constante, la densité du lait est donc variable. La matière grasse (MG) et la matière sèche dégraisse (MSD) influent particulièrement de la densité.

**Mode opératoire.** Bien mélanger le lait en évitant d'y incorporer des bulles d'air et le transvaser avec précaution dans une éprouvette de 250 ml environ, propre et sèche : la température doit être comprise entre 10 et 20 °C. Plonger doucement le densimètre en lui imprimant un mouvement de rotation. Après stabilisation, faire la lecture au bord supérieur du ménisque d'affleurement du lait avec la tige de l'appareil. La densité doit toujours être prise au moins 3 heures après la traite en raison de la présence de gaz dissous qu'il est préférable de laisser s'échapper.

**Expression des résultats.** La densité moyenne du lait est comprise entre 1,030 et 1,033 à 15°C. Elle atteint 1,0355 pour un lait de mélange totalement dégraissé. Correction de la densité : il suffit de savoir qu'un degré de température modifie la densité de 0,0002 degré densimétrique de part et d'autre de la température de référence (Manuel technique de déterminations du lait. LSGA).

### Détermination de la matière sèche

L'analyse de la teneur en eau d'un aliment est une des mesures importantes de contrôle de la qualité, mais il est difficile d'obtenir des résultats exacts et précis. La matière sèche totale peut être déterminé, soit par le calcul, soit par l'analyse. Normes : AOAC 925.23, NF V 04-207 et FIL 21B : 1987.

**Principe.** La matière sèche du lait est le résidu obtenu après évaporation complète de l'eau du lait.

**Mode opératoire.** Introduire 10 ml de lait dans des cupules d'aluminium de diamètre supérieur ou égal à 5 cm, en contenant sable de Fontainebleau et une baguette de verre (servant d'agitateur), préalablement séchés, refroidis et pesés. Le tout est mélangé uniformément. Les échantillons sont placés dans une étuve à une température de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant 5 heures ou jusqu'à poids constant. Après refroidissement des échantillons dans un dessiccateur à la température de la pièce, on les pèse. Le pourcentage de solides totaux correspond à ce qui reste lorsque le pourcentage de teneur en eau est retranché de 100 %.

**Expression des résultats.** Le calcul de la teneur en eau, exprimée en pourcentage par unité de masse, est de la façon suivante :

$$\text{Teneur en eau} = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100$$

où :  $M_0$  = masse de la cupule + sable + baguette ;  $M_1$  = masse initiale de la cupule + sable + baguette + lait ; et  $M_2$  = masse finale de la cupule + sable + baguette + lait.

### Détermination de la matière grasse

La détermination de la matière grasse peut se faire directement sur le lait par extraction avec des solvants organiques ou par déstabilisation chimique du système, ou encore par des méthodes physiques telles que la spectroscopie infrarouge et l'analyse par résonance magnétique nucléaire (RMN).

**Principe.** Méthode Roesse-Gottlieb (AOAC 905.02). Les lipides sont généralement solubles dans les solvants organiques (éther, chloroforme) mais peu ou non miscibles dans les milieux aqueux. L'extraction de la matière grasse se fait par agitation de

l'échantillon en présence de solvants organiques. Il y a plusieurs différences entre les différents groupes de lipides quant à leur hydrophobicité et leur composition. C'est pour cette raison qu'il est impossible de choisir un solvant universel et qu'on doit utiliser plusieurs solvants pour l'extraction totale de la matière grasse du lait (FTLQ, 2002).

**Mode opératoire.** La méthode consiste à mettre en présence, dans une ampoule spécialement conçue (butyromètre de Pian), un échantillon de 10 ml de lait, une faible quantité d'hydroxyde d'ammonium (NH<sub>4</sub>OH) et 10 ml d'éthanol. La matière grasse, libérée par le traitement alcalin, est ensuite extraite par un mélange d'éther éthylique (20 ml) et d'éther de pétrole (20 ml). On procède à une agitation de 2 minutes de l'ampoule après chaque ajout de solvant, et laissée reposée pendant 2 heures. La phase étherée est récupérée, dans un bêcher préalablement séché et taré, et conservée. Une deuxième extraction est effectuée à l'aide des deux éthers seulement en utilisant les mêmes quantités. Chaque fois la phase étherée récupérée est décantée dans le même récipient. Finalement, le solvant se laisse évaporer et la matière grasse est séchée à l'étuve (102°C) jusqu'à poids constant.

**Expression des résultats.** La teneur en matière grasse (MG), est exprimée en pourcentage par unité de masse, de la façon suivante :

$$\text{MG \%} = \frac{M_{R+MG} - M_R}{M_E} \times 100$$

Où : M<sub>R+MG</sub> = masse du récipient (R) + la matière grasse (MG) ; M<sub>R</sub> = masse du récipient avant l'extraction ; et M<sub>E</sub> = masse de l'échantillon

La différence absolue entre les duplicata doit être inférieure ou égale à 0,03 % de matière grasse (FTLQ, 2002).

### **Détermination de la matière azotée et des protéines**

La méthode de référence officielle pour déterminer la quantité de protéines dans les produits laitiers est la méthode Kjeldahl (AOAC, 920.105, NF V 04-211, FIL 20B : 1993). Cette méthode mesure l'azote total mais environ 5 % de l'azote total contenu dans le lait se retrouve sous forme d'azote non protéique. Les valeurs de protéines sont alors surestimées d'environ 5 % en raison de la présence de l'azote non protéique. Toutes les méthodes basées sur la détermination de l'azote total nécessitent un facteur

de conversion. Chaque protéine possède son propre facteur, dont la valeur dépend de sa composition en acides aminés. Un facteur de 6,38 est utilisé pour les produits laitiers, ce qui permet, à partir de la quantité d'azote dosée, de déterminer la teneur en protéines (FTLQ, 2002). Il est possible de déterminer trois fractions protéiques différentes dans le lait par l'analyse au Kjeldahl à l'aide de méthodologie spécifique de précipitation des protéines laitières soit :

- a). L'azote total (NT) = tout l'azote contenu dans le lait ;
- b). L'azote non caséique (NCN) = le contenu en azote soluble et l'azote non protéique obtenu par précipitation acide à pH 4,6 ;
- c). L'azote non protéique (NPN) = le contenu en azote non protéique obtenu par précipitation à l'acide trichloracétique 12 % ;

Les protéines vrais =  $(NT - NPN)$  et les caséines =  $(NT - NCN)$ .

**Principe.** Le dosage de l'azote par la méthode Kjeldahl s'effectue en trois étapes, soit la minéralisation (digestion), la distillation et le titrage. La minéralisation, ou digestion, de l'échantillon vise à convertir la totalité de l'azote organique en ions ammonium ( $NH_4^+$ ). Les molécules organiques mises en présence d'acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ )/sulfate de potassium ( $K_2SO_4$ ), catalysées par de sulfate de cuivre, sont décomposées par oxydation pour donner principalement du  $CO_2$  et de l'eau. L'azote organique, est converti en sulfate d'ammonium  $(NH_4)_2SO_4$ . On ajoute un excès d'hydroxyde de sodium (NaOH) au digestat refroidi pour permettre la transformation de l'azote, sous forme de sulfate d'ammonium, en ammoniac ( $NH_3$ ). L'ammoniac est distillé dans un excédent d'acide borique et déterminé par titrage avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl).

**Mode opératoire.** La méthode Kjeldahl permet de doser différentes fractions protéiques du lait : l'azote total (NT), l'azote non protéique (NPN), l'azote non caséique (NCN) et les protéines vraies. Pour l'azote total (NT), l'échantillon de lait est digéré sans préparation. La quantité d'azote dosé est l'azote organique total qui correspond aux protéines et à l'azote non protéique. On obtient l'azote non protéique par précipitation des protéines et des protéoses peptones à l'acide trichloroacétique (TCA) 12 %. La fraction soluble restante contient l'azote non protéique, qu'on évalue par la méthode

Kjeldahl. On détermine le dosage de protéines vraies par la différence entre l'azote total et l'azote non protéique. Pour l'azote non caséique (NCN), les caséines sont sélectivement précipitées à leur pH isoélectrique de 4,6 à l'aide d'acide acétique et d'acide de sodium : On les élimine par filtration. Ensuite, on dose le surnageant contenant l'azote soluble et l'azote non protéique selon la méthode Kjeldahl. La quantité de caséines est déterminée par la différence entre l'azote total et l'azote non caséique. Pour ce qui est des protéines vraies, on fait précipiter les protéines du lait avec du TCA 12 % comme pour le NPN. Le précipité récolté sur le filtre est directement analysé afin de connaître le contenu en azote.

**Expression des résultats.** La teneur en azote est exprimée en pourcentage par unité de masse :

$$N(\%) = \frac{(14 \times (V_s - V_b) \times \text{Norm})}{m} \times 100$$

où :  $V_s$  = Volume de HCl nécessaire pour titrer la solution de l'échantillon (mL) ;  $V_b$  = Volume de HCl nécessaire pour titrer le blanc (permet d'éliminer les interférences possibles occasionnées par les différents réactifs) [mL] ; Norm. = normalité de la solution de HCl exprimé en mol/1000 mL ;  $m$  = masse en grammes de l'échantillon ; et 14 = masse moléculaire de l'azote (g d'azote/mol).

### **Dosage du lactose**

Les deux principales méthodes utilisées habituellement pour la détermination du lactose dans le lait sont une méthode enzymatique et une méthode par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) (FTLQ, 2002). Les techniques enzymatiques (AOAC 984.15, FIL 79B : 1991) permettent de quantifier efficacement plusieurs mono et oligosaccharides même si les différents glucides sont en mélanges. Les enzymes sont des catalyseurs biologiques très spécifiques. Ils reconnaissent leur substrat de réaction parmi un large éventail de molécules de structure apparentée (FTLQ, 2002).

**Principe.** Le lactose est hydrolysé en glucose et  $\beta$ -galactose en présence de  $\beta$ -galactosidase et de l'eau. Le  $\beta$ -galactose est alors oxydé par NAD en acide galactonique en présence de  $\beta$ -galactose d'hydrogenase ; équivaut au NADH formé, stoechiométrique avec le contenu du lactose, est mesuré pour une absorbance de 340 nm.

**Mode opératoire.** La méthode utilise 4 réactifs : #1 : lyophilisat composé de tampon citrate, pH 6,6, environ 35 mg NAD ; #2 : suspension enzymatique composée de  $\beta$ -galactosidase (environ 100U) dans du sulfate d'ammonium ; #3 : tampon de diphosphate de potassium, pH 8,6 ; #4 : suspension enzymatique composée de  $\beta$ -galactose-déshydrogénase (environ 40U) dans de sulfate d'ammonium.

L'échantillon (1 ml de lait) est ajouté à environ 60 ml d'eau. Il est clarifié avec les réactifs de Carrez : 5 ml de solution I de Carrez (3,6 g  $K_4[Fe(CN)_6] \times 3H_2O$  = hexacyanoferrate-II de potassium/100 ml), 5 ml de solution II de Carrez (7,2 g  $ZnSO_4 \times 7H_2O$  = sulfate de zinc heptahydrate/100 ml). Le pH est ajusté de 7,5 à 8,5 en ajoutant 10 ml de NaOH 0,1 M. La solution est complétée à 100 ml, mélangée et filtrée.

**Tableau 58.** Dosage du lactose

Pipeter dans la cuvette	Blanc (ml)	Standard (ml)	Echantillon (ml)
Sol. #1	0,200	0,200	0,200
Sol. #2	0,050	0,050	0,050
Echantillon	-	-	0,100
Standard (1 g lactose/l)		0,100	
Mélanger, incuber de 20 à 25 °C, 20 min. Rajouter ensuite :			
Sol. #3	1	1	1
Eau distillée	2	1,9	1,9
Mélanger, après 3 min mesurer l'absorbance à 340 nm ( $A_1$ ). Rajouter ensuite :			
Sol. #4	0,050	0,050	0,050
Mélanger, après 30 min, mesurer l'absorbance ( $A_2$ ). Répéter la mesure après 5min.			

**Expression des résultats.** La formule générale pour le calcul des concentrations du lactose est la suivante :

$$c = \frac{V \times PM}{\varepsilon \times d \times v \times 1000} \times \Delta A \quad (\text{en g/l})$$

où : V = volume du test (ml) ; v = volume de l'échantillon (ml) ; PM = poids moléculaire de la substance à doser ; d = épaisseur de la cuvette (cm) ;  $\varepsilon$  = coefficient d'absorption du NADPH : à 340 nm = 6,3 (l x mmole<sup>-1</sup> x cm<sup>-1</sup>)

Se calculent les différences d'absorbance du témoin (blanc) et l'essai (échantillon). Déduire la différence d'absorbance du témoin de celle de l'essai. Si l'échantillon a été dilué lors de la préparation, multiplier le résultat par le facteur de dilution.

**Détermination des cendres totales**

Les cendres sont les substances résultant de l'incinération de la matière sèche du lait (NF V 04-208, 1989, AOAC 945.46).

**Principe.** Incinération de la matière sèche à 525±25 °C pendant 12 h et pesée du résidu obtenu.

**Mode opératoire.** Pour déterminer la teneur en cendres totales, des capsules en porcelaine sont séchées à l'étuve pendant 30 minutes, refroidies et pesées. Dans la capsule ainsi préparée, un échantillon de 5 ml de lait est déposé et disséqué complètement à l'étuve à 102 °C et après placée au four à la température indiquée.

**Expression des résultats.** Le taux de cendres totales (% C) est exprimé par rapport au produit sec par la relation :

$$\% C = [(M3 - M1) / (M2 - M1)] \times 100$$

Où : M1 = masse en gramme de la capsule vide ; M2 = masse de la capsule + masse de la prise d'essai séchée à 105 °C à l'étuve ; M3 = masse de la capsule contenant le résidu après incinération.

**Détermination des sels minéraux**

**Principe.** Lorsque les atomes d'un élément sont excités par une flamme, ils émettent des radiations de longueur d'onde déterminée dont l'intensité peut être mesurée par spectrométrie. La concentration initiale du cation à doser est déduite de la valeur absolue de l'intensité de l'émission spectrale mesurée.

**Mode opératoire.** Après séchage à l'étuve, 5 ml de lait ont été incinérés à 550 °C pendant 12 h. Pour la détermination de calcium et magnésium, les cendres sont solubilisées avec 1 ml d'acide chlorhydrique concentré, le mélange est transvasé dans une fiole de 100 ml et le creuset est lavé avec de l'eau distillée plusieurs fois, récupéré dans la fiole. De l'eau distillée est ajoutée jusqu'à  $\frac{3}{4}$  de la fiole, plus 10 ml de chlorure de lanthane (18 g d'oxyde de lanthane + 250 ml d'HCl concentré dans 100 ml d'eau distillée), et se complète avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Le sodium et le potassium suivent le même procédé, mais éliminant le chlorure de lanthane.

*Courbes d'étalonnage et dosage des échantillons.* Des courbes d'étalonnage préparées des solutions standards de concentrations allant de 4 à 12 mg/L pour le Ca ; 0,4 à 1,2 mg/L pour le Mg ; 0,8 à 2,4 mg/L pour le Na et 4 à 12 mg/L pour le K. Les mesures sont effectuées à différentes longueurs d'onde : 422,7 ; 285,2 ; 589,0 et 766,5 pour le Ca, Mg, Na et K respectivement.

**Expression des résultats.** Les concentrations sont calculées à partir des valeurs d'absorbances par des équations linéaires de régression :  $DO = ax + b$ . Où DO = Densité optique ; x = quantité de l'élément et a, b = constantes.

### Dosage du Phosphore

**Principe.** La matière organique du lait est détruite à température élevée et le phosphore est transformé en orthophosphate inorganique qui avec molybdate d'ammonium se forme phosphomolybdate d'ammonium de couleur bleue. Le dosage s'effectue en mesurant la densité optique des solutions contre une gamme étalon à 660 nm.

**Mode opératoire.** Un échantillon de 5 ml de lait est déposé dans un creuset en porcelaine préalablement séché et taré et évaporé à l'étuve (103 °C) et ensuite déposé au four pendant 12 heures. Les cendres doivent être blanches. Après refroidissement au dessiccateur, le creuset est à nouveau pesé. Les cendres sont solubilisées avec 5 ml d'acide sulfurique concentré, cette solution est introduite dans une fiole jaugée de 250 ml, le creuset est rincé plusieurs fois et on complète avec de l'eau distillée. Une gamme étalon est préparée à partir de 8 différentes concentrations de phosphore.

**Tableau 59.** Gamme étalon et dosage du phosphore

Tubes	0	1	2	3	4	5	6	7	lait
Sol. mère de P	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	3,0	0
Sol. minéral	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10 N	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Molybdate	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Sol. réd. 1 % ac. asc.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Eau distillée ml	4,2	3,8	3,4	3,0	2,6	2,2	1,8	1,2	3,2
Conc. du P mg/l	0	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	6,0	X

**Expression des résultats.**  $x$  mg de P/l de solution A. 5 ml de solution A renferment  $x/200$  mg P. Or, le phosphore contenu dans ces 5 ml provient de 1 ml de lait dilué au  $1/50$ , soit :  $x/200$  mg P/ml de lait dilué au  $1/50 = x/4$  mg/ml lait, donc : Concentration  $[P] = x/4$  g/l lait

### **Dosage de chlorures**

**Mode opératoire.** Un échantillon de 10 g de fromage  $\pm 5$  mg est pesé et bien homogénéisé dans un mortier avec 90 ml d'eau distillée. Les électrodes doivent être propres avant de passer 15 ml d'une solution « pour chloruromètre » avec laquelle se conditionne l'appareil et s'éliminent les traces de NaCl de cette solution. L'appareil est calibré avec une solution à 1 g/l de NaCl. Dans le récipient contenant la solution d'étalonnage, la suspension aqueuse de fromage est mesurée en introduisant 1 ml.

## ANNEXE 2. Analyse sensorielle : questionnaires

PRODUIT : Fromage frais pimenté au lait de chèvre pasteurisé.

Nom : \_\_\_\_\_ Age : \_\_\_\_\_

Prénom : \_\_\_\_\_

Onze échantillons vous sont proposés dans un ordre défini. Goûtez chaque échantillon et notez votre appréciation sur l'échelle. Indiquer quels descripteurs ont influencé votre choix (plusieurs réponses possibles : +1 influence positive, -1 négative et 0 pas d'influence). S'il y a un descripteur que vous avez remarqué qui ne figure pas, notez le dans les remarques.

Echelle:	très Désagréable	désagréable	plutôt désagréable	plutôt agréable	agréable	très agréable
Code: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre
+1= positif 0 = pas inf. -1= négatif	—	—	—	—	—	—
Echelle:						
Code: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre
Note:	—	—	—	—	—	—
Echelle:						
Code: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre
Note:	—	—	—	—	—	—
Echelle:						
Code: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre
Note:	—	—	—	—	—	—
Echelle:						
Code: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre
Note:	—	—	—	—	—	—

Echelle:							
Code:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre	
Note:	—	—	—	—	—	—	
Echelle:							
Code:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre	
Note:	—	—	—	—	—	—	
Echelle:							
Code:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre	
Note:	—	—	—	—	—	—	
Echelle:							
Code:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre	
Note:	—	—	—	—	—	—	
Echelle:							
Code:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre	
Note:	—	—	—	—	—	—	
Echelle:							
Code:	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Descripteur:	Couleur	Texture	intensité du piment	goût de chèvre	Sel	Autre	
Note:	—	—	—	—	—	—	

Vos remarques sur les échantillons:

Merci.

vendredi 25 mars 2005.

PRODUIT : Fromage frais pimenté au lait de chèvre pasteurisé.

Nom : \_\_\_\_\_

Age : \_\_\_\_\_

Prénom : \_\_\_\_\_

1). Huit échantillons vous sont proposés dans un ordre défini. Observez et goûtez chaque échantillon et notez votre appréciation sur les échelles d'évaluation.

Code échantillon: \_\_\_\_\_

Echelle:	très Désagréable	désagréable	plutôt désagréable	plutôt agréable	agréable	très agréable
Couleur	<input type="radio"/>					
Goût	<input type="radio"/>					
Intensité du Piment	<input type="radio"/>					

Code échantillon: \_\_\_\_\_

Echelle:	très Désagréable	désagréable	plutôt désagréable	plutôt agréable	agréable	très agréable
Couleur	<input type="radio"/>					
Goût	<input type="radio"/>					
Intensité du Piment	<input type="radio"/>					

Code échantillon: \_\_\_\_\_

Echelle:	très Désagréable	désagréable	plutôt désagréable	plutôt agréable	agréable	très agréable
Couleur	<input type="radio"/>					
Goût	<input type="radio"/>					
Intensité du Piment	<input type="radio"/>					

Code échantillon: \_\_\_\_\_

Echelle:	très Désagréable	désagréable	plutôt désagréable	plutôt agréable	agréable	très agréable
Couleur	<input type="radio"/>					
Goût	<input type="radio"/>					
Intensité du Piment	<input type="radio"/>					

Code échantillon: \_\_\_\_\_

Echelle:	très Désagréable	désagréable	plutôt désagréable	plutôt agréable	agréable	très agréable
Couleur	<input type="radio"/>					
Goût	<input type="radio"/>					
Intensité du Piment	<input type="radio"/>					

Code échantillon: \_\_\_\_\_

Echelle:	très Désagréable	désagréable	plutôt désagréable	plutôt agréable	agréable	très agréable
Couleur	<input type="radio"/>					
Goût	<input type="radio"/>					
Intensité du Piment	<input type="radio"/>					

Code échantillon: \_\_\_\_\_

Echelle:	très Désagréable	désagréable	plutôt désagréable	plutôt agréable	agréable	très agréable
Couleur	<input type="radio"/>					
Goût	<input type="radio"/>					
Intensité du Piment	<input type="radio"/>					

Code échantillon: \_\_\_\_\_

Echelle:	très Désagréable	désagréable	plutôt désagréable	plutôt agréable	agréable	très agréable
Couleur	<input type="radio"/>					
Goût	<input type="radio"/>					
Intensité du Piment	<input type="radio"/>					

2). Classement des échantillons du moins apprécié au plus apprécié.

Echantillon	1	2	3	4	5	6	7	8
Code								

Vos remarques sur les échantillons:

Merci.

Mercredi 15 juin 2005.



Tableau 61. Développement mensuel et productivité du troupeau

CONCEPT	PRIX UNIT.	ANNÉE 1											
		JAN	FÉV	MAR	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DÉC
Chevrettes gestantes 1 mois													
Chevrettes gestantes 2 mois													
Chevrettes gestantes 3 mois													
Chèvres pleines 4m-Sèche 1 m			50,0				50,0				45,0		
Chèvres mise-bas-lactation				50,0				50,0				45,0	
Chèvres lactation 1 mois					50,0				50,0				45,0
Chèvres lactation 2 mois						50,0				50,0			
Chèvres lact. 3m-Inséminées							50,0				50,0		
Chèvres lact. 4m-Pleines 1m								45,0				45,0	
Chèvres lact. 5m-Pleines 2m									45,0				45,0
Chèvres lact. 6m-Pleines 3m										45,0			
Chèvres lact. 4m-Vides 1m								5,0				5,0	
Chèvres lact. 5m-Vides 2m									5,0				5,0
Chèvres lact. 6m-Vides 3m										4,5			
Chèvres lact. 7m-Insém.2 fois											4,5		
Chèvres lact. 8m-Pleines 1m												4,1	
Chèvres lact. 9m-Pleines 2m													4,1
Chèvres lact. 10m-Pleines 3m													
Chèvres de rebut : 1m vides												0,5	
Chèvres de rebut : 2m vides													0,5
Chevrettes renouv.-Insém. 11m													
Total chèvres inséminées							50,0				54,5		
Chevrettes renouv. vides 1m													
Chevrettes renouv. vides 2m													
Total naissances vives				72,8				72,8				63,5	
Femelles nées vives				36,4				36,4				31,8	
Mâles nés vifs				36,4				36,4				31,8	
Chevrettes 1 mois					28,5					28,5			24,9
Chevrettes 2 mois						28,5					28,5		
Chevrettes 3 mois							28,5					28,5	
Chevrettes 4 mois								28,5					28,5
Chevrettes 5 mois									28,5				28,5
Chevrettes 6 mois										28,2			
Chevrettes 7 mois											28,2		
Chevrettes 8 mois												28,2	
Chevrettes 9 mois													28,2
Chevrettes 10 mois													
MORTALITÉ													
Chèvres										0,5			
Chèvres fausse couche												1,4	
À la naissance				2,3				2,3				2,0	
Au Sevrage					1,5				1,5				1,3
Au Développement (3-10 m)										0,3			
Chèvres de rebut													
ACHATS													
Chèvres pleines	3 000		50,0				50,0						
VENTES													
Chevreaux	350				42,8				42,8				37,3
Chevrettes pleines	3 000												
Chevrettes non pleines	801												
Chèvres de rebut	979												
Fromage (milles kg)	120 000			0,9	1,1	1,3	1,2	2,1	2,2	2,2	1,3	2,0	2,2
PRODUCTION													
Lait (mille litres)	4 170			4,7	5,3	5,4	5,0	9,5	9,8	9,0	5,5	9,0	9,5
Lait alim. chevreaux (1000 l)	4 170			0,9	0,6			0,9	0,7			0,8	0,6
Lait transformation (1000 l)	4 170			3,7	4,6	5,4	5,0	8,6	9,1	9,0	5,5	8,2	8,9
Fromage (1000 kg)	120 000			0,9	1,1	1,3	1,2	2,1	2,2	2,2	1,3	2,0	2,2
Fumier (kg)	1,5		25,0	39,6	30,7	30,7	55,7	70,3	61,4	61,1	61,1	73,6	66,1

Tableau 61. Continuation (Année 2)

CONCEPT	ANNÉE 2											
	JAN	FÉV	MAR	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DÉC
Chevrettes gestantes 1 mois			25,4				25,4				22,2	
Chevrettes gestantes 2 mois				25,4				25,4				22,2
Chevrettes gestantes 3 mois					5,5				1,8			
Chèvres pleines 4m-Sèche 1 m		49,1				50,0				50,0		
Chèvres mise-bas-lactation			49,1				50,0				50,0	
Chèvres lactation 1 mois				49,1				50,0				50,0
Chèvres lactation 2 mois	45,0				49,1				50,0			
Chèvres lact. 3m-Inséminées		45,0				49,1				50,0		
Chèvres lact. 4m-Pleines 1m			40,5				44,1				45	
Chèvres lact. 5m-Pleines 2m				40,5				44,1				45
Chèvres lact. 6m-Pleines 3m	45,0				40,5				44,1			
Chèvres lact. 4m-Vides 1m			4,5				4,9				5,0	
Chèvres lact. 5m-Vides 2m				4,5				4,9				5,0
Chèvres lact. 6m-Vides 3m	4,5				4,5				0,6			
Chèvres lact. 7m-Insém.2 fois		4,5				4,5				0,6		
Chèvres lact. 8m-Pleines 1m			4,1				4,1				0,5	
Chèvres lact. 9m-Pleines 2m				4,1				4,1				0,5
Chèvres lact. 10m-Pleines 3m	4,1				4,1				4,1			
Chèvres de rebut : 1m vides			0,5				0,5				0,1	
Chèvres de rebut : 2m vides				0,5				0,5				0,1
Chevrettes renouv.-Insém. 11m		28,2				28,2				24,6		
Total chèvres inséminées		77,7				81,8				75,2		
Chevrettes renouv. vides 1m			2,8				2,8				2,5	
Chevrettes renouv. vides 2m				2,8				2,8				2,5
Total naissances vives			69,2				70,6				70,6	
Femelles nées vives			34,6				35,3				35,3	
Mâles nés vifs			34,6				35,3				35,3	
Chevrettes 1 mois				27,1				27,7				27,7
Chevrettes 2 mois	24,9				27,1				27,7			
Chevrettes 3 mois		24,9				27,1				27,7		
Chevrettes 4 mois			24,9				27,1				27,7	
Chevrettes 5 mois				24,9				27,1				27,7
Chevrettes 6 mois	28,2				24,6				26,9			
Chevrettes 7 mois		28,2				24,6				26,9		
Chevrettes 8 mois			28,2				24,6				26,9	
Chevrettes 9 mois				28,2				24,6				26,9
Chevrettes 10 mois	28,2				28,2				24,6			
MORTALITÉ												
Chèvres	0,5								0,5			
Chèvres fausse couche			1,5				1,5				1,5	
À la naissance			2,1				2,2				2,2	
Au Sevrage				1,4				1,4				1,4
Au Développement (3-10 m)	0,3				0,2				0,3			
Chèvres de rebut									5,0			
ACHATS												
Chèvres pleines												
VENTES												
Chevreux				40,7				41,5				41,5
Chevrettes pleines					2				23,6			
Chevrettes non pleines					2,8				2,8			
Chèvres de rebut	0,5				0,5				4,1			
Fromage (milles kg)	2,2	1,1	2,0	2,1	2,2	1,3	2,2	2,3	2,2	1,3	2,0	2,2
PRODUCTION												
Lait (milles litres)	9,0	4,5	9,2	9,2	9,1	5,2	9,6	9,9	8,8	5,2	9,2	9,8
Lait alim. chevreux (1000 l)			0,9	0,6			0,9	0,6			0,8	0,6
Lait transformation (1000 l)	9,0	4,5	8,3	8,6	9,1	5,2	8,8	9,3	8,8	5,2	8,3	9,2
Fromage (1000 kg)	2,2	1,1	2,0	2,1	2,2	1,3	2,2	2,3	2,2	1,3	2,0	2,2
Fumier (kg)	65,5	74,0	86,2	79,4	67,8	76,2	88,7	81,8	66,1	73,5	86,4	79,1

Tableau 61. Continuation (Année 3)

CONCEPT	ANNÉE 3											
	JAN	FÉV	MAR	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DÉC
Chevrettes gestantes 1 mois			24,2				24,6				24,6	
Chevrettes gestantes 2 mois				24,2				24,6				24,6
Chevrettes gestantes 3 mois	4,5				4,7				0,5			
Chèvres pleines 4m-Sèche 1 m		50,0				50,0				50,0		
Chèvres mise-bas-lactation			50,0				50,0				50,0	
Chèvres lactation 1 mois				50,0				50,0				50,0
Chèvres lactation 2 mois	50,0				50,0				45,5			
Chèvres lact. 3m-Inséminées		50,0				50,0				45,5		
Chèvres lact. 4m-Pleines 1m			45,0				45,0				41,0	
Chèvres lact. 5m-Pleines 2m				45,0				45,0				41,0
Chèvres lact. 6m-Pleines 3m	45,0				45,0				45,0			
Chèvres lact. 4m-Vides 1m			5,0				5,0				4,6	
Chèvres lact. 5m-Vides 2m				5,0				5,0				4,6
Chèvres lact. 6m-Vides 3m	0,3				5,0							
Chèvres lact. 7m-Insém.2 fois		0,3				5,0						
Chèvres lact. 8m-Pleines 1m			0,3				4,5					
Chèvres lact. 9m-Pleines 2m				0,3				4,5				
Chèvres lact. 10m-Pleines 3m	0,5				0,3				4,5			
Chèvres de rebut : 1m vides							0,5					
Chèvres de rebut : 2m vides								0,5				
Chevrettes renouv.-Insém. 11m		26,9				27,4				27,4		
Total chèvres inséminées		77,1				82,4				72,9		
Chevrettes renouv. vides 1m			2,7				2,7				2,7	
Chevrettes renouv. vides 2m				2,7				2,7				2,7
Total naissances vives			70,6				70,6				70,6	
Femelles nées vives			35,3				35,3				35,3	
Mâles nés vifs			35,3				35,3				35,3	
Chevrettes 1 mois				27,7				27,7				27,7
Chevrettes 2 mois	27,7				27,7				27,7			
Chevrettes 3 mois		27,7				27,7				27,7		
Chevrettes 4 mois			27,7				27,7				27,7	
Chevrettes 5 mois				27,7				27,7				27,7
Chevrettes 6 mois	27,4				27,4				27,4			
Chevrettes 7 mois		27,4				27,4				27,4		
Chevrettes 8 mois			27,4				27,4				27,4	
Chevrettes 9 mois				27,4				27,4				27,4
Chevrettes 10 mois	26,9				27,4				27,4			
MORTALITÉ												
Chèvres	0,5								0,5			
Chèvres fausse couche			1,5				1,5				1,5	
À la naissance			2,2				2,2				2,2	
Au Sevrage				1,4				1,4				1,4
Au Développement (3-10 m)	0,3				0,3				0,3			
Chèvres de rebut	5,0								1			
ACHATS												
Chèvres pleines												
VENTES												
Chevreaux				41,5				41,5				41,5
Chevrettes pleines	17,7				19,4				24,1			
Chevrettes non pleines	2,5				2,7				2,7			
Chèvres de rebut	4,1								9,5			
Fromage (milles kg)	2,2	1,1	2,1	2,2	2,3	1,3	2,2	2,3	2,1	1,1	1,9	2,1
PRODUCTION												
Lait (milles litres)	9,0	4,6	9,5	9,5	9,3	5,3	9,8	10,0	8,4	4,7	8,7	9,4
Lait alim. chevreaux (1000 l)			0,9	0,6			0,9	0,6			0,8	0,6
Lait transformation (1000 l)	9,0	4,6	8,6	8,8	9,3	5,3	8,9	9,4	8,4	4,7	7,9	8,7
Fromage (1000 kg)	2,2	1,1	2,1	2,2	2,3	1,3	2,2	2,3	2,1	1,1	1,9	2,1
Fumier (kg)	66,5	74,6	87,3	80,1	69,0	77,2	89,7	82,7	64,2	72,5	85,2	78,0

## Concepts et calendrier d'investissement et amortissement

**Tableau 62.** Concepts d'investissement (pesos)

No	CONCEPTS D'INVESTISSEMENT	QUANTITÉ	PRIX UNITAIRE	TOTAL
	Aire de production de lait			
1	Terrain d'élevage (m2)	1000	150	150 000,00
2	Terrain de pâturage, loyer (Ha)	2	5 000	10 000,00
3	Locaux équipés (m2) : auges, abreuvoirs, couloir de service,	700	500	350 000,00
4	Salle de traite (m2)	10	1 500	15 000,00
5	Clôture électrique	1	15 000	15 000,00
6	Équipement de traite mécanique	1	20 000	20 000,00
7	Équipement d'irrigation	2	15 000	30 000,00
8	Création de pâturage	2	5 000	10 000,00
9	Équipement d'insémination artificielle	1	10 000	10 000,00
10	Balance (cap. 100 kg)	1	3 850	3 850,00
11	Réfrigérateur	1	10 000	10 000,00
12	Ordinateur et imprimante	1	20 000	20 000,00
13	Achat des chèvres	100	3 000	300 000,00
	<b>Sous-total</b>			943 850,00
14	Terrain de la fromagerie (m2)	200	150	30 000,00
15	Construction de la fromagerie	200	2 250	450 000,00
16	Tonneau de réception du lait et/ou coagulation	1	82 470	82 469,72
17	Équipement de pasteurisation (cap. 600 l)	1	412 349	412 348,60
18	Pompe	1	30 295	30 294,68
19	Table d'acier inoxydable	2	23 742	47 483,04
20	Grille de séchage	10	1 376	13 763,20
21	Centrale de production et circulation d'eau chaude	1	108 041	108 041,12
22	Centrale de production et circulation d'eau froide	1	161 561	161 561,20
23	Mixeur	1	103 087	103 087,15
24	Moules	1500	4	5 250,00
25	Matériel d'analyse du lait	1	10 000	10 000,00
26	Balance (cap. 10 kg)	2	3 500	7 000,00
27	Camionnette Nissan	1	140 000	140 000,00
28	Équipement de bureau	1	15 000	15 000,00
29	Équipements divers	1	15 000	15 000,00
	<b>Sous-total</b>			1 631 298,71
	<b>T O T A L :</b>			2 575 148,71
<b>BESOINS DE FINANCEMENT</b>				
CAPITAL EXTERNE				
	Ressources du Ministère de l'Agriculture			1 802 604,10
	Crédit			
<b>CAPITAL DU PRODUCTEUR</b>				
				772 544,61
<b>TOTAL</b>				

## HYPOTHÈSES

* 30% de l'investissement initial est apporté par l'entreprise =	772 545	30,00%
* 70% apportés par le Ministère de l'Agriculture =	1 802 604	70,00%
* 0% de crédit privé =	0	0,00%
CAPITAL TOTAL du projet =	2 575 149	<b>100,00%</b>

**Tableau 63.** Calendrier mensuel d'investissement (pesos)

CONCEPTS	CALENDRIER MENSUEL D'INVESTISSEMENT										TOTAL
	INV. INITIAL	JAN	FÉV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	DÉC		
Aire de production de lait											
1 Terrain d'élevage (m2)	150 000										150 000
2 Terrain de pâturage, loyer (Ha)		10 000									10 000
3 Locaux équipés (m2) : auges, abreuvoirs, etc.	350 000										350 000
4 Salle de traite (m2)			15 000								15 000
5 Clôture électrique		15 000									15 000
6 Équipement de traite mécanique			20 000								20 000
7 Équipement d'irrigation		30 000									30 000
8 Création de pâturage	10 000										10 000
9 Équipement d'insémination artificielle						10 000					10 000
10 Balance (cap. 100 kg)			3 850								3 850
11 Réfrigérateur			10 000								10 000
12 Ordinateur et imprimante			20 000								20 000
13 Achat des chèvres			150 000				150 000				300 000
14 Terrain de la fromagerie (m2)	30 000										30 000
15 Construction de la fromagerie	450 000										450 000
16 Tonneau de réception du lait et/ou coagulation			82 470								82 470
17 Équipement de pasteurisation (cap. 600 l)			412 349								412 349
18 Pompe			30 295								30 295
19 Table d'acier inoxydable			47 483								47 483
20 Grille de séchage			13 763								13 763
21 Centrale de prod. et circulation d'eau chaude			108 041								108 041
22 Centrale de prod. et circulation d'eau froide			161 561								161 561
23 Mixeur			103 087								103 087
24 Moules			5 250								5 250
25 Matériel d'analyse du lait			10 000								10 000
26 Balance (cap. 10 kg)			7 000								7 000
27 Camionnette Nissan			140 000								140 000
28 Équipement de bureau			15 000								15 000
29 Équipements divers			15 000								15 000
TOTAL :	990 000	55 000	1 370 149	0	0	10 000	150 000	0	0	0	2 575 149
BESOINS DE FINANCEMENT											
CAPITAL EXTERNE	990 000		812 604								1 802 604
CAPITAL DU PRODUCTEUR	0	55 000	557 545	0	0	10 000	150 000	0	0	0	772 545
TOTAL	990 000	55 000	1 370 149	0	0	10 000	150 000	0	0	0	2 575 149

**Tableau 64.** Dépréciation annuelle, mensuelle et valeur résiduelle des actifs à l'année 3 (pesos)

	CONCEPTS	PRIX TOTAL	VIE UTILE	DÉPRÉCIATION ANUELLE	DÉPRÉCIATION MENSUELLE	VALEUR RÉSIDUELLE à l'année 3
	Aire de production de lait					
1	Terrain d'élevage (m2)	150 000	à vie	0	-	150 000,00
2	Terrain de pâturage, loyer (Ha)	10 000	à vie	0	-	10 000,00
3	Locaux équipés (m2) : auges, abreuvoirs, etc.	350 000	10	35 000	2 916,67	245 000,00
4	Salle de traite (m2)	15 000	10	1 500	125,00	10 500,00
5	Clôture électrique	15 000	10	1 500	125,00	10 500,00
6	Équipement de traite mécanique	20 000	10	2 000	166,67	14 000,00
7	Équipement d'irrigation	30 000	10	3 000	250,00	21 000,00
8	Création de pâturage	10 000			-	10 000,00
9	Équipement d'insémination artificielle	10 000	5	2 000	166,67	4 000,00
10	Balance (cap. 100 kg)	3 850	5	770	64,17	1 540,00
11	Réfrigérateur	10 000	5	2 000	166,67	4 000,00
12	Ordinateur et imprimante	20 000	3	6 667	555,56	-
13	Achat des chèvres	300 000,00				300 000,00
14	Terrain de la fromagerie (m2)	30 000	à vie	0,00	-	30 000,00
15	Construction de la fromagerie	450 000	20	22 500	1 875,00	382 500,00
16	Tonneau de réception du lait et/ou coagulation	82 470	10	8 247	687,25	57 728,80
17	Équipement de pasteurisation (cap. 600 l)	412 349	10	41 235	3 436,24	288 644,02
18	Pompe	30 295	10	3 029	252,46	21 206,28
19	Table d'acier inoxydable	47 483	10	4 748	395,69	33 238,13
20	Grille de séchage	13 763	10	1 376	114,69	9 634,24
21	Centrale de prod. et circulation d'eau chaude	108 041	10	10 804	900,34	75 628,78
22	Centrale de prod. et circulation d'eau froide	161 561	10	16 156	1 346,34	113 092,84
23	Mixeur	103 087	10	10 309	859,06	72 161,01
24	Moules	5 250	1	5 250	437,50	- 10 500,00
25	Matériel d'analyse du lait	10 000	3	3 333	277,78	-
26	Balance (cap. 10 kg)	7 000	5	1 400	116,67	2 800,00
27	Camionnette Nissan	140 000	5	28 000	2 333,33	56 000,00
28	Équipement de bureau	15 000	5	3 000	250,00	6 000,00
29	Equipements divers	15 000	3	5 000	416,67	
	<b>TOTAL</b>	<b>2 575 149</b>		<b>218 825</b>	<b>18 235,41</b>	<b>1 918 674,10</b>

## Coûts Unitaires

**Tableau 65.** Coûts Unitaires des activités d'entretien de l'aire caprine (pesos)

Base du calcul:		Troupeau		100 chèvres adultes	
<b>Complémentation Minérale</b>			<b>Traitement Antiparasitaire Intérieur et Extérieur</b>		
Nom commercial	SELS MINÉRAUX		Nom commercial	IVERMECTINA 10 mg	
Prix unitaire	5,00	Kg	Prix unitaire	275,00	50 ml
Consommation/tête/jour	0,015	Kg	Traitement	0,2	ml/10 kg PV
Consommation/tête/an	5,4	Kg	Adultes (avant la mise-bas)	1,0	ml/tête/trait
			Chevrettes (7 mois)	0,8	ml/tête/trait
			Seringues	2,20	Prix unit.
			Quantité de seringues	1	/10 têtes
<b>Dépistage de la brucellose</b>			<b>Complémentation Vitaminique</b>		
Nom commercial			Nom commercial	ADE	
Prix unitaire	100,00	par tête	Prix unitaire	200,00	100 ml
Traitement	1,0	tête/an	Dose adultes	2,0	ml/tête/trait
	100,00	par tête	Dose chevrettes	1,0	ml/tête/trait
Seringues	1,0	par tête	Seringues	2,20	Prix unit.
Prix unitaire	2,20		Quantité de seringues	1	10 têtes
<b>Insém. Artificielle-synchronisation des chaleurs</b>			<b>Traitement de séchage</b>		
Prix unitaire	100,00	par tête	Nom commercial	SERINGUE SÉCHAGE	
3 fois/adulte/2 ans/lot			Prix unitaire	19,00	Seringue
3 fois/an/2 lots: février, juin, octobre			Dose (4e mois de gestation)	1,0	/tête/trait.
			Dose/an	1,5	/tête/an
<b>Traite</b>			<b>Ecornage</b>		
Désinfection	YODO		Anti-infectieux	FURACÍN	
Prix unitaire	50,00	litre	Prix unitaire	143,00	500 ml
Dose	3,0	ml/tête	Dose	4,0	ml/tête
Une traite/journée			Coton	10,00	par 20 têtes
			Scie de liz	10,00	par 20 têtes
<b>Identification</b>			<b>Tatouage</b>		
Prix unitaire	7,50	/tête	Prix encre	75,00	/200 têtes
Marqueur (200 têtes)	50,00		Coton	10,00	/100 têtes
Coût du marqueur/tête	0,25		Coût du tatouage/tête	0,48	
<b>Taille des onglons</b>			<b>Accouchement</b>		
Anti-infectieux	Désinfectant		Anti-infectieux	Désinfectant	
Prix unitaire	17,00	100ml	Prix unitaire	17,00	100ml
Dose	2,0	ml/tête	Dose	2,0	ml/tête
Année	6,0	ml/tête	Matériel: gants aseptisés	1,0	
			Coût/an	2,00	

**Tableau 66.** Prix des médicaments et coûts pour traitement (pesos)

<b>Médicaments et vaccins</b>						
Nom commercial	BACTERINA SIETE					
Prix unitaire	225,00	flacon de 250 ml				
Traitement: adultes	2,5	ml/tête/trait				
	3,8	ml/tête/an				
<b>Armoire à Pharmacie</b>	Nous considérons 5% de têtes/lot avec un traitement de 3 jours tous les 4 mois		10%			
<b>Antibiotique</b>						
Nom commercial	OXITETRACICLINA		Nom commercial	COMPLEJO B Fuerte		
Prix unitaire	245,00	flacon de 500 ml	Prix unitaire	55,00	flacon de 100 ml	
Traitement	1,0	ml/10 kg PV	Traitement	1,0	ml/10 kg PV	
	5,0	ml/tête/trait		5,0	ml/tête/trait	
	15,0	ml/tête/an		15,0	ml/tête/an	
<b>Anti-Diarrhées</b>			<b>Anti-inflammatoire</b>			
Nom commercial	SULFA + TRIMETROPÍN			Nom commercial	DESIN. NO ESTEROIDAL	
Prix unitaire	315,00	flacon de 100 ml		Prix unitaire	100,00	flacon de 100 ml
Traitement	1,0	ml/20 kg PV		Traitement	1,0	ml/5 kg PV
	2,5	ml/tête/trait			10,0	ml/tête/trait
	7,5	ml/tête/an			30,0	ml/tête/an
<b>Antibiotique</b>			<b>Cicatrisant</b>			
Nom commercial	FURASOLIDONA			Nom commercial	CICATRIZANTES	
Prix unitaire	85,00	Spray 400 ml		Prix unitaire	17,00	flacon de 100 ml
Traitement	2,0	ml/tête/trait		Traitement	5,0	ml/tête/trait
	6,0	ml/tête/an			15,0	ml/tête/an
<b>Anti-Diarrhées</b>			<b>Antibiotique</b>			
Nom commercial	KAOLÍN PECTINA			Nom commercial	GENTAMICINA+AMOXICILINA	
Coût unitaire	35,00	flacon de 250 ml		Coût unitaire	183,00	flacon de 100 ml
Traitement	15,0	ml/tête/trait		Traitement	5,0	ml/tête/trait
	45,0	ml/tête/an			15,0	ml/tête/an
<b>Antibiotique</b>			<b>Anti-Mastite</b>			
Nom commercial	PENICILINA G PROCAÍNICA			Nom commercial	TUBOS ANTIMASTITIS	
Prix unitaire	215,00	flacon de 100 ml		Prix unitaire	20,00	Seringue
Traitement	5,0	ml/tête/trait		Traitement	1,0	par tête/trait
	15,0	ml/tête/an			3,0	Seringues/an
<b>Anti-Mastite</b>			<b>Sérum glucosé</b>			
Nom commercial	FIBROLÍTICO INYECTABLE			Nom commercial	SUERO GLUCOSADO	
Prix unitaire	330,00	flacon de 100 ml		Prix unitaire	35,00	flacon de 500 ml
Traitement	3,0	ml/tête/trait		Traitement	1,0	flacon/tête
	9,0	ml/tête/an			1,0	flacon/tête/an
<b>Calcium</b>			<b>Sérum physiologique</b>			
Nom commercial	CALCIO			Nom commercial	SUERO SALINO FISIOLÓGICO	
Prix unitaire	99,00	flacon de 100 ml		Prix unitaire	23,00	flacon de 500 ml
Traitement	3,0	ml/tête/trait		Traitement	1,0	flacon/tête
	9,0	ml/tête/an			1,0	flacon/tête/an

**Tableau 67.** Prix du matériel d'entretien, nettoyage et protection (pesos)

<b>Matériel : production caprine</b>			<b>Matériel : fromagerie</b>		
Unité	Concept	Prix unit. (pesos)	Unité	Concept	Prix unit. (pesos)
Pièce	Seringue	2,20	Pièce	Masque	0,39
Pièce	Venoclise/aplic. Sérum	22,00	Pièce	Coiffe	1,44
Pièce	Gants de plastique	1,00	Pièce	Blouses	172,50
Pièce	Masque	0,39	Paire	Bottes	230,00
Pièce	Coiffe	1,44	Pièce	Tablier imperméable	209,30
Pièce	Salopette	289,80	Paire	Gants de protection	25,30
Paire	Bottes	230,00	Paire	Gants type électricien	47,15
Pièce	Tablier imperméable	209,30		Matériel de Nettoyage	
Par	Gants de protection	25,30	l	Détergent antibactérien	16,56
Par	Gants type électricien	47,15	m	Flanelle	11,00
m	Flanelle	11,00	Pièce	Balai	28,00
Kg	Détergent antibactérien	16,56	Pièce	Petit tonneau	22,00
Pièce	Balai	28,00	m	Tuyau d'arrosage	22,00
Pièce	Petit tonneau	22,00	m	Tissu à égouttage	11,00
m	Tuyau d'arrosage	22,00	m	Tissu pour filtrer	16,50
	Taille des onglons			Divers	
Pièce	Couteau	39,00	Pièce	Balance	500,00
Pièce	Ciseaux	220,00	Pièce	Calculatrice	1 870,00
Pièce	Pincés à pression	165,00			
Pièce	Scie	55,00			
Pièce	Lime	39,00			
Pièce	Émeri	22,00			
m	Lasso	8,00			
	Divers				
Pièce	Pelle	165,00			
Pièce	Pic	82,50			
Pièce	Brouette	385,00			
Pièce	Petit tonneau	12,00			
Pièce	Écorneurs électriques	880,00			
Pièce	Pince à tatouer	550,00			

**Tableau 68.** Fromagerie: prix unitaire de la matière première (pesos)

<b>Présure</b>			<b>Ferments</b>		
Nom commercial	CUAJO		Nom commercial	EZAL	
Prix unitaire	90,00	litre	Prix unitaire	131,10	sachet
Dose/ 1000 l de lait	100	ml	Dose/ 1000 l de lait	1	sachet
Coût/1000 l de lait	9,00		Coût/1000 l de lait	150,77	
<b>Emballage et Étiquetage</b>			<b>Sel</b>		
Prix unitaire	7,00	kg	Nom commercial	SAL DE MESA	
			Prix unitaire	3,50	kg
			Dose/1000 kg de fromage	20	kg
			Coût/1000 kg de fromage	70,00	
<b>Analyse de la qualité du lait</b>			<b>Piment sec en poudre</b>		
Prix unitaire	50,00	1000 l de lait	Prix unitaire	50,00	kg
			Dose/1000 kg de fromage	9	kg
			Coût/1000 kg de fromage	450,00	kg
<b>Coûts commerciaux</b>			<b>Carburant</b>		
Frais de ventes	7,00	par kg	Consommation	15	l/jour
			Prix unitaire	6,68	litre
			Coût/an	36 573,00	
<b>Électricité, Eau et diesel</b>			<b>Téléphone</b>		
			Frais de connexion	1 987,20	
			Abonnement mensuel	227,70	
			Coût mensuel	1 000,00	
<b>Électricité</b>			<b>Eau pour l'installation</b>		
Prix unitaire	0,70	KWh	Frais fixe bimensuel	624,96	
Consom. prod. caprine	1000	KWh/2 mois	Consom. prod. caprine	1	m3/jour
Fromagerie	3000	KWh/2 mois	Fromagerie	1	m3/jour
Coût/an	16 800,00		Coût/mois	312,48	
<b>Diesel</b>			<b>Eau d'irrigation</b>		
Prix unitaire	5,49	litre	Prix unitaire	0,40	m3
Consommation	300	l/mois	Surface	2	Ha
Coût/an	19 764,00		Consommation	15000	m3/Ha/an
			Coût/an	12 000,00	



## Revenus, Coûts et Marge Brute

**Tableau 70.** Revenus, coûts totaux et marge brute (sans coût financier) (pesos)

CONCEPT	ANNEE 1											
	JAN	FÉV	MAR	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DÉC
<b>REVENUS</b>												
Chevreaux	0	0	0	14 972	0	0	0	14 972	0	0	0	13 071
Chevrettes 1e gestation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chevrettes 11m non gestantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chèvres de rebut	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fromage pimenté	0	0	110 503	135 873	159 951	145 946	252 174	268 362	264 251	161 093	241 922	262 253
V. de rendement des terrains												
V. de rendement des const.												
V. de rendement des équipes												
V. de rendement du véhicule												
V. de rendement du mobilier												
V. de rendement du troupeau												
a.) TOTAL REVENUS	0	0	110 503	150 845	159 951	145 946	252 174	283 334	264 251	161 093	241 922	275 324
<b>COÛTS</b>												
Alimentation	0	3 120	4 507	4 114	4 958	7 943	9 261	8 801	9 812	9 752	10 352	10 257
Mise-bas	0	0	125	0	0	0	125	0	0	0	112	0
Traite	0	0	233	225	233	225	465	465	448	253	446	461
Insémination artificielle	0	0	0	0	0	5 000	0	0	0	5 450	0	0
Désinfections et Vaccination	0	399	0	0	0	399	0	0	0	553	0	0
Vitamines	0	211	0	0	0	485	0	0	0	602	0	0
Dépistage de la brucellose	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Séchage de chèvres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	855	0	0
Tatouage	0	0	35	0	0	0	35	0	0	0	30	0
Marquage	0	0	0	221	0	0	0	221	0	0	0	193
Ecornage	0	0	0	61	0	0	0	61	0	0	0	53
Taille des onglons	0	0	0	17	0	0	0	27	0	0	0	35
Armoire à pharmacie	0	1 158	0	0	0	2 317	0	0	0	2 855	0	0
Maintenance du pâturage	0	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500					1 500	1 500
Main d'oeuvre caprine	0	4 596	4 940	4 825	4 940	8 261	8 490	8 490	8 261	8 490	8 261	8 490
Sécurité sociale	0	1 237	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474
Matériel de protection caprine	0	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259
Matériel de nettoyage caprin	0	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204
Equipement d'élevage	0	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
Présure	0	0	34	41	49	45	77	82	81	49	74	80
Ferments	0	0	565	695	818	746	1 289	1 372	1 351	824	1 237	1 341
Emballage et étiquetage	0	0	6 446	7 926	9 330	8 514	14 710	15 654	15 415	9 397	14 112	15 298
Sel de fromagerie	0	0	64	79	93	85	147	157	154	94	141	153
Piment	0	0	414	510	600	547	946	1 006	991	604	907	983
Analyse de la qualité du lait	0	0	187	230	271	248	428	455	448	273	410	445
Main d'oeuvre en fromagerie	0	0	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866
M. de protection fromagerie	0	0	546	546	546	546	546	546	546	546	546	546
M. de nettoyage fromagerie	0	0	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
Coût des ventes	0	0	6 446	7 926	9 330	8 514	14 710	15 654	15 415	9 397	14 112	15 298
Maintenance d'installations	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Maintenance d'équipement	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carburant	0	1 503	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006
Électricité	0	175	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400
Téléphone	0	3 215	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228
Eau	0	156	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312
Diesel	0	0	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647
Amortissement d'installations	4 917	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042
Amortissement de l'équipe	250	9 888	9 888	9 888	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055
Amortissement de voiture	0	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333
Amortissement de mobilier	0	806	806	806	806	806	806	806	806	806	806	806
Assurance de la voiture	0	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467
Divers	517	3 591	7 285	7 573	7 964	9 235	9 820	9 997	9 990	9 697	9 922	10 211
b.) TOTAL COÛTS	5 683	39 970	80 603	83 765	88 075	102 051	108 492	110 432	110 354	107 135	109 605	112 787
<b>MARGE BRUTE (a. - b.)</b>	(5 683)	(39 970)	29 900	67 079	71 876	43 895	143 682	172 902	153 897	53 958	132 317	162 537

Tableau 70. Continuation... Année 2 (pesos)

CONCEPT	ANNEE 2											
	JAN	FÉV	MAR	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DÉC
<b>REVENUS</b>												
Chevreaux	0	0	0	14 247	0	0	0	14 523	0	0	0	14 523
Chevrettes 1e gestation	0	0	0	0	59 879	0	0	0	70 814	0	0	0
Chevrettes 11m non gestantes	0	0	0	0	2 261	0	0	0	2 261	0	0	0
Chèvres de rebut	441	0	0	0	441	0	0	0	3 965	0	0	0
Fromage pimenté	264 467	131 882	244 834	252 462	267 141	153 124	258 424	273 921	260 856	152 136	245 827	269 903
V. de rendement des terrains												
V. de rendement des const.												
V. de rendement des équipes												
V. de rendement du véhicule												
V. de rendement du mobilier												
V. de rendement du troupeau												
a.) TOTAL REVENUS	264 908	131 882	244 834	266 709	329 721	153 124	258 424	288 444	337 896	152 136	245 827	284 426
<b>COÛTS</b>												
Alimentation	11 460	10 020	12 357	11 545	11 686	10 978	12 627	12 179	11 078	11 071	11 942	11 874
Mise-bas	0	0	122	0	0	0	124	0	0	0	124	0
Traite	439	208	456	441	437	241	479	479	426	235	452	467
Insémination artificielle	0	7 773	0	0	0	8 178	0	0	0	7 523	0	0
Désinfections et Vaccination	0	585	0	0	0	568	0	0	0	583	0	0
Vitamines	0	709	0	0	0	720	0	0	0	703	0	0
Dépistage de la brucellose	0	0	0	0	0	0	0	0	18 371	0	0	0
Séchage de chèvres	0	932	0	0	0	950	0	0	0	950	0	0
Tatouage	0	0	33	0	0	0	34	0	0	0	34	0
Marquage	0	0	0	210	0	0	0	214	0	0	0	214
Ecornage	0	0	0	58	0	0	0	59	0	0	0	59
Taille des onglons	0	0	0	35	0	0	0	35	0	0	0	36
Armoire à pharmacie	0	2 833	0	0	0	2 866	0	0	0	2 939	0	0
Maintenance du pâturage	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500					1 500	1 500
Main d'oeuvre caprine	8 490	7 803	8 490	8 261	8 490	8 261	8 490	8 490	8 261	8 490	8 261	8 490
Sécurité sociale	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474
Matériel de protection caprine	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259
Matériel de nettoyage caprin	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204
Équipement d'élevage	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
Présure	81	40	75	77	82	47	79	84	80	46	75	82
Ferments	1 352	674	1 252	1 291	1 366	783	1 321	1 401	1 334	778	1 257	1 380
Emballage et étiquetage	15 427	7 693	14 282	14 727	15 583	8 932	15 075	15 979	15 217	8 875	14 340	15 744
Sel de fromagerie	154	77	143	147	156	89	151	160	152	89	143	157
Piment	992	495	918	947	1 002	574	969	1 027	978	571	922	1 012
Analyse de la qualité du lait	448	224	415	428	453	260	438	465	442	258	417	458
Main d'oeuvre en fromagerie	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866
M. de protection fromagerie	546	546	546	546	546	546	546	546	546	546	546	546
M. de nettoyage fromagerie	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
Coût des ventes	15 427	7 693	14 282	14 727	15 583	8 932	15 075	15 979	15 217	8 875	14 340	15 744
Maintenance d'installations	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458
Maintenance d'équipement	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125
Carburant	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006
Électricité	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400
Téléphone	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228
Eau	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312
Diesel	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647
Amortissement d'installations	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042
Amortissement de l'équipe	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055
Amortissement de voiture	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333
Amortissement de mobilier	806	806	806	806	806	806	806	806	806	806	806	806
Assurance de la voiture	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467
Divers	11 188	10 536	11 043	11 050	11 244	10 998	11 097	11 265	12 766	10 809	10 991	11 332
b.) TOTAL COÛTS	123 531	116 367	121 939	122 016	124 154	121 449	122 530	124 387	140 893	119 366	121 370	125 123
<b>MARGE BRUTE (a. - b.)</b>	141 377	15 515	122 895	144 692	205 567	31 675	135 894	164 057	197 003	32 770	124 457	159 302

Tableau 70. Continuation... Année 3 (pesos)

CONCEPT	ANNEE 3											
	JAN	FÉV	MAR	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DÉC
<b>REVENUS</b>												
Chevreaux	0	0	0	14 523	0	0	0	14 523	0	0	0	14 523
Chevrettes 1e gestation	53 114	0	0	0	58 301	0	0	0	72 442	0	0	0
Chevrettes 11m non gestantes	1 974	0	0	0	2 152	0	0	0	2 194	0	0	0
Chèvres de rebut	3 965	0	0	0	28	0	0	0	9 273	0	0	0
Fromage pimenté	264 377	136 800	253 484	260 724	274 667	157 002	262 021	277 175	248 373	137 281	232 511	257 469
V. de rendement des terrains												180 000
V. de rendement des const.												648 625
V. de rendement des équipes												629 009
V. de rendement du véhicule												58 333
V. de rendement du mobilier												6 806
V. de rendement du troupeau												342 566
a.) TOTAL REVENUS	323 430	136 800	253 484	275 246	335 148	157 002	262 021	291 698	332 281	137 281	232 511	2 137 331
<b>COÛTS</b>												
Alimentation	11 569	10 117	12 476	11 636	11 942	11 201	12 850	12 398	10 867	10 862	11 764	11 708
Mise-bas	0	0	124	0	0	0	124	0	0	0	124	0
Traite	443	211	466	451	465	248	486	486	407	212	430	444
Insémination artificielle	0	7 715	0	0	0	8 239	0	0	0	7 290	0	0
Désinfections et Vaccination	0	587	0	0	0	587	0	0	0	587	0	0
Vitamines	0	714	0	0	0	736	0	0	0	696	0	0
Dépistage de la brucellose	0	0	0	0	0	0	0	0	18 186	0	0	0
Séchage de chèvres	0	950	0	0	0	950	0	0	0	950	0	0
Tatouage	0	0	34	0	0	0	34	0	0	0	34	0
Marquage	0	0	0	214	0	0	0	214	0	0	0	214
Ecornage	0	0	0	59	0	0	0	59	0	0	0	59
Taille des onglons	0	0	0	36	0	0	0	36	0	0	0	36
Armoire à pharmacie	0	2 951	0	0	0	2 951	0	0	0	2 847	0	0
Maintenance du pâturage	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500					1 500	1 500
Main d'oeuvre caprine	8 490	7 803	8 490	8 261	8 490	8 261	8 490	8 490	8 261	8 490	8 261	8 490
Sécurité sociale	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474	2 474
Matériel de protection caprine	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259	259
Matériel de nettoyage caprin	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204
Equipement d'élevage	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
Présure	81	42	77	80	84	48	80	85	76	42	71	79
Ferments	1 352	700	1 296	1 333	1 404	803	1 340	1 417	1 270	702	1 189	1 317
Emballage et étiquetage	15 422	7 980	14 787	15 209	16 022	9 158	15 285	16 169	14 488	8 008	13 563	15 019
Sel de fromagerie	154	80	148	152	160	92	153	162	145	80	136	150
Piment	991	513	951	978	1 030	589	983	1 039	931	515	872	966
Analyse de la qualité du lait	448	232	430	442	466	266	444	470	421	233	394	437
Main d'oeuvre en fromagerie	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866	17 866
M. de protection fromagerie	546	546	546	546	546	546	546	546	546	546	546	546
M. de nettoyage fromagerie	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234	234
Coût des ventes	15 422	7 980	14 787	15 209	16 022	9 158	15 285	16 169	14 488	8 008	13 563	15 019
Maintenance d'installations	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458	3 458
Maintenance d'équipement	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125	5 125
Carburant	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006	3 006
Électricité	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400
Téléphone	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228	1 228
Eau	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312	312
Diesel	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647	1 647
Amortissement d'installations	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042	5 042
Amortissement de l'équipe	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055	10 055
Amortissement de voiture	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333	2 333
Amortissement de mobilier	806	806	806	806	806	806	806	806	806	806	806	806
Assurance de la voiture	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467	467
Divers	11 198	10 618	11 167	11 166	11 369	11 089	11 166	11 330	12 565	10 563	10 801	11 154
b.) TOTAL COÛTS	123 643	117 262	123 303	123 298	125 527	122 447	123 290	125 095	138 678	116 655	119 273	123 163
<b>MARGE BRUTE (a. - b.)</b>	199 787	19 538	130 181	151 949	209 621	34 556	138 731	166 603	193 603	20 625	113 239	2 014 168





**Tableau 71.** Continuation... Année 3 (pesos)

CONCEPT	ANNEE 3											
	JAN	FÉV	MAR	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DÉC
A) VENTES-COÛTS "AVEC PROJET"	199 787	19 538	130 181	151 949	209 621	34 556	138 731	166 603	193 603	20 625	113 239	2 014 168
B) VENTES-COÛTS "SANS PROJET"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C) UTILITÉ (A-B)	199 787	19 538	130 181	151 949	209 621	34 556	138 731	166 603	193 603	20 625	113 239	2 014 168
D) AUTRES PROFITS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E) TOTAL INVESTISSEMENTS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F) COÛT FINANCIER (Taux CETES)												
a. Crédit d'investissement (CI)	327 039	129 113	110 311	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b. Intérêts du CI	1 862	735	628	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c. Dette totale du CI (a+b)	328 901	129 848	110 939	-	-	-	-	-	-	-	-	-
d. Paiement des intérêts du CI	1 862	735	628	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e. Paiement du capital du CI	197 926	18 803	110 311	-	-	-	-	-	-	-	-	-
f. Paiement total du CI (d+e)	199 787	19 538	110 939	-	-	-	-	-	-	-	-	-
g. Dette nette du CI (a-e)	129 113	110 311	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
h. Crédit de Production (CP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
i. Intérêts du CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
j. Dette totale du CP (h+i)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
k. Paiement des intérêts du CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
l. Paiement du capital du CP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m. Paiement total du CP (k+l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n. Dette nette du CP (h-l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
o. Paiement total CI+CP (f+m)	199 787	19 538	110 939	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p. Épargne	-	-	-	19 243	171 246	381 354	416 994	556 910	725 095	920 760	944 003	1 059 925
q. Intérêts de l'épargne	-	-	-	55	487	1 084	1 185	1 583	2 061	2 617	2 683	3 013
r. Épargne totale (p+q)	-	-	-	19 297	171 733	382 438	418 179	558 493	727 157	923 377	946 686	1 062 938
s. Profit (C+r)	199 787	19 538	130 181	171 246	381 354	416 994	556 910	725 095	920 760	944 003	1 059 925	3 077 105
G) Valeurs Résiduelles												
H) Capital d'Investissement Additionnel												
I) Récupération du Capital												
J) BENEFCES (C+D-E-F+G+H) avec VR	-	-	19 243	151 949	209 621	34 556	138 731	166 603	193 603	20 625	113 239	2 014 168
K) BENEFCES (C+D-E-F+G+H) sans VR	-	-	19 243	151 949	209 621	34 556	138 731	166 603	193 603	20 625	113 239	148 828

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE  
DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL  
POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :

**Madame Catherine DACREMONT, Professeur, ENSBANA, Dijon**

**Monsieur Jean-Louis LAMBERT, Professeur, ENITHA, NANTES**

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

**Madame AVALOS DE LA CRUZ Dora Angélica**

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE,  
une thèse intitulée :

**"Faisabilité de la production au Mexique de fromages de chèvre additionnés de piment :  
aspects technologiques, sensoriels, sanitaires et économiques"**

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : « **Procédés biotechnologiques et alimentaires** »

Fait à Vandoeuvre, le 20 février 2007

Le Président de l'I.N.P.L.,

F. LAURENT



NANCY BRABOIS  
2, AVENUE DE LA  
FORET-DE-HAYE  
BOITE POSTALE 3  
F - 5 4 5 0 1  
VANDOEUVRE CEDEX