

ANNEXE

AU RAPPORT COMMUN DE L'ACADEMIE DES TECHNOLOGIES ET DE
L'ACADEMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE INTITULE
« PROGRES TECHNOLOGIQUES AU SEIN DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES
IMPACT SUR LA QUALITE DES PRODUITS. I – LA FILIERE LAITIERE »

**REDIGE PAR UN GROUPE D'EXPERTS PRESIDE PAR LE
PROFESSEUR GERARD BRULE**

30 septembre 2003

SOMMAIRE

REMARQUE LIMINAIRE	3
RESUME	4
I - LA FILIERE LAITIERE.....	8
Le lait au fil de l’histoire	8
Contexte technico-économique de la filière.....	8
Du lait aux produits laitiers	9
Le consommateur face aux produits laitiers.....	12
II - INNOVATIONS AU SEIN DE LA FILIERE LAITIERE	13
Maîtrise quantitative et qualitative de la production laitière.....	13
Diffusion du progrès génétique	13
Systèmes de production du lait.....	15
Production du lait et techniques de traite.....	18
Maîtrise sanitaire	20
Le lait dans tous ses états	21
De la ferme à l’usine.....	21
Laits de consommation.....	22
Les produits fermentés : du yaourt aux spécialités laitières probiotiques	24
Nouveaux concepts en technologie fromagère.....	28
De la crème au beurre tartinable.....	33
Des coproduits aux ingrédients fonctionnels.....	38
De l’emballage aux linéaires	39
III - DES PRODUITS ADAPTES AUX ATTENTES DES CONSOMMATEURS	41
Des exigences parfois difficiles à concilier.....	41
Tradition, typicité et sécurité.....	41
Fraîcheur et longue conservation.....	42
Une offre adaptée.....	42
Une filière et des produits sécurisés	42
Des produits bons pour la santé.....	44
Diversité et typicité.....	45
Service et praticité	47
Préoccupations sociétales	47
Demain, de nouveaux laits ?	48

REMARQUE LIMINAIRE

L'étude présentée dans cette annexe a été réalisée à la demande de l'Académie des Technologies et l'Académie d'Agriculture de France dans le cadre des travaux qu'elles ont engagés avec l'appui du GISRIA¹ pour repérer l'impact de l'évolution des technologies de production et de transformation des produits laitiers sur la qualité sanitaire, nutritionnelle et organoleptique des aliments.

Elle a été élaborée sous la responsabilité de **Gérard Brulé**, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, directeur du Laboratoire de Recherches de Technologies Laitières (INRA/ENSAR), qui a très largement contribué à sa rédaction et à sa relecture, mais a également mobilisé un grand nombre de chercheurs et d'ingénieurs de la filière laitière.

Il s'agit de :

André Ayerbe	ARILAIT- RECHERCHES
Catherine Béal	INRA-Grignon
P.Billon	Institut de l'Elevage
V.Brocard	Institut de l'Elevage
Marie-Hélène Chassagne	Fromageries BEL
Georges Corrieu	INRA-Grignon
T.Delcroix	FNGDS
Stéphane Desobry	ENSAIA-INPL Nancy
Jean-Pierre Guyonnet	ARILAIT - RECHERCHES
Joël Hardy	ENSAIA-INPL Nancy
Vincent Heuchel	Institut de l'Elevage
Laurent Laloux	AFSSA
François Laurent	ENSAIA-INPL Nancy
Yves Le Roux	ENSAIA-INPL Nancy
Guy Linden	Professeur des Universités, CIRAD
Jean-Claude Mocquot	Institut de l'Elevage
P.Paccart	Institut de l'Elevage
Henry Eric Spinnler	INRA-Grignon

Le secrétariat du groupe était assuré par **Christian Bourdel** (Agropolis-Museum). Le groupe qui a aidé Gérard Brulé à la mobilisation des chercheurs et à la relecture comprenait également André Ayerbe, et Guy Linden.

¹ Groupement d'intérêt scientifique recherche industrie alimentaire.

RESUME

Le lait est consommé par l'homme depuis des siècles, sous différentes formes : boisson, crème, beurre et fromages. C'est également aujourd'hui une matière première qui peut être transformée en une gamme très large de produits aux textures et saveurs variées.

Depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, l'acquisition de connaissances scientifiques et techniques a progressivement permis de très bien maîtriser toutes les étapes de la production et de la transformation du lait. La pratique de la pasteurisation (1880), de la stérilisation en autoclave (fin XIX^{ème} siècle) et des techniques de concentration ou de déshydratation du lait ont donné naissance à une véritable industrie, ont permis la création d'entreprises modernes, privées ou coopératives, et ont permis d'adapter l'offre à la demande.

La filière laitière française représente près du quart du chiffre d'affaires des industries agroalimentaires et se situe, avec la filière allemande, au 1^{er} rang de l'activité européenne. L'analyse des activités laitières par grande région française révèle, par ailleurs, une multiplicité de produits et une grande hétérogénéité. L'évolutions de la consommation des produits laitiers, au cours de la dernière décennie, montre que la consommation de lait liquide est en baisse (10 % environ) alors que celle des produits fermentés frais a augmenté de plus de 30 % et celle des fromages de 10 % dans tous les pays de la communauté européenne. La quasi-totalité du lait produit (93,5 %) est collectée et acheminée à l'usine en vue de sa transformation.

Les éleveurs ont bénéficié des progrès de la génétique et des modes de conduite des troupeaux. Les bases théoriques et pratiques de la sélection laitière se sont développées au cours du XX^{ème} siècle à partir des travaux anglo-saxons. Les éléments les plus déterminants dans le progrès génétique ont été la généralisation de l'insémination artificielle, l'indexation des taureaux sur leur descendance et la cryoconservation des semences. L'organisation de l'amélioration génétique du cheptel français a été définie en 1966 dans la « loi sur l'élevage ». Depuis peu, les travaux de cartographie physique de gènes marqueurs et de mise en évidence de zones d'intérêt associées (QTL) permettent de mettre en œuvre dans les trois principales races une sélection assistée par marqueurs (SAM).

De 1950 à 1980, l'optimisation de la conduite alimentaire de la vache laitière a bénéficié des progrès réalisés en productions végétales, dans l'industrie de l'alimentation du bétail, dans l'industrie chimique et pharmaceutique ainsi que dans l'industrie des agroéquipements. Le pilotage de la composition du lait, qualifié « aliment santé », en particulier des teneurs en micro-éléments ou micro-nutriments, est devenu un enjeu de première importance.

Aujourd'hui, la quasi-totalité des éleveurs laitiers dispose d'une machine à traire. Le pilotage par micro-processeurs permet de gérer le flux de lait de chaque animal en fin de traite et les automates de nettoyage, pilotés par des microprocesseurs et permettant une programmation «à la carte », se sont rapidement imposés. L'utilisation de capteurs commence à se développer.

Pendant longtemps, le lait a été un vecteur de maladies (tuberculose et brucellose) : une action collective d'éradication a permis de conduire le cheptel bovin français à une situation sanitaire satisfaisante. La réfrigération du lait à la ferme, qui s'est généralisée vers les années 70, a constitué un grand progrès d'un point de vue hygiénique, mais la flore dominante n'est pas la même car le froid favorise le développement des espèces psychrotrophes susceptibles d'altérer la qualité et la stabilité des laits.

Produira-t-on demain, de nouveaux laits ? Il n'est pas impossible que l'on puisse, par transgénèse, faire produire par une chèvre ou une vache un « lait humanisé » dont les caractéristiques protéiques et glucidiques pourraient être identiques à celles du lait de femme, ainsi que des laits mieux adaptés aux contraintes de la transformation. Enfin, le lait est un gisement de molécules d'intérêts technologique et biologique dont on maîtrise les procédés d'extraction et de purification.

Parmi les innovations touchant à la production et à la collecte, la réfrigération du lait à la ferme et les progrès réalisés en logistique et en traçabilité des laits ont permis une amélioration notable de la qualité et de la sécurité de transport et une réduction des coûts de collecte.

La préparation de laits de consommation UHT représente une amélioration à la fois nutritionnelle et sensorielle par rapport au lait stérilisé. De même, l'élaboration de laits adaptés aux besoins physiologiques (1^{er} âge, femme enceinte, hyperprotéiné, hypoallergénique) représente des avancées essentielles sur le plan nutritionnel.

De plus, le séchage par atomisation des laits - destinés plus particulièrement à l'exportation - a entraîné des gains de productivité et une amélioration de la qualité organoleptique, nutritionnelle et technologique.

Les laits fermentés et les yaourts se sont largement développés ces deux dernières décennies grâce à des améliorations de fabrication, à leurs propriétés nutritionnelles et à leurs caractéristiques organoleptiques agréables, appréciées par un large éventail de consommateurs.

Parmi ces évolutions technologiques, il convient de mentionner la maîtrise de la diversification de la fermentation lactique qui a permis les succès commerciaux de spécialités laitières probiotiques. Ces progrès sont dus, notamment, à la recherche de nouvelles souches de micro-organismes, au développement de cultures mixtes maîtrisées et à l'utilisation de ferments concentrés congelés ou lyophilisés.

Les développements de la mécanisation et de l'automatisation ont accompagné l'industrialisation de l'activité fromagère. La mécanisation a permis de remplacer le fromager dans nombre d'opérations routinières et répétitives. L'automatisation, par la mise en place de dispositifs numériques et/ou analogiques de contrôle et de régulation du procédé de fabrication, l'a fort judicieusement complétée ; il en résulte des gains de productivité, une plus grande régularité et une meilleure sécurité hygiénique en limitant la contamination par les opérateurs.

Ces acquis technologiques ont nécessité d'importants investissements humains et matériels. Ils concernent la quasi-totalité des spécialités fromagères. Associés à la standardisation physico-chimique et biologique des laits et des ferments, ces progrès ont conduit à une baisse de la typicité des produits. Des acquis cognitifs sur la dynamique des flores microbiennes devraient permettre de progresser dans ce domaine. Par ailleurs, une meilleure connaissance des microflores fromagères et un meilleur contrôle des conditions environnementales dans les processus de fabrication ont permis, d'ores et déjà, de maîtriser la qualité hygiénique et d'améliorer la qualité organoleptique des produits.

Parmi les nouveaux concepts de la technologie fromagère il faut mentionner, en premier lieu, le pré-fromage liquide. Introduit dans les années 70, ce procédé MMV (du nom des inventeurs) ne peut pas se substituer aux technologies traditionnelles mais permet la

fabrication de nouveaux produits apportant de la valeur ajoutée au fabricant et des bénéfices qualitatifs au consommateur.

Dans le domaine de l'utilisation de sa matière grasse butyrique, de nouvelles techniques et l'évolution de la réglementation ont conduit à la mise au point de nouveaux produits allégés, « frigo-tartinables », gras déshydratés. Au nombre des innovations technologiques il faut citer, par ordre chronologique d'application, l'écémage centrifuge et la cristallisation fractionnée des lipides. Ces technologies ont abouti à la commercialisation d'une gamme de crèmes de consommation et de beurres.

L'activité laitière génère un grand nombre de coproduits (lactosérum divers, lait écrémé, babeurre, micro- et ultra-filtrat...) qui représente environ 40 % de la matière sèche du lait produit (75 % de lactose et 25 % de protéines) ; ces coproduits sont soit déshydratés en l'état soit fractionnés pour en extraire les différents constituants en vue de l'exploitation de leurs propriétés nutritionnelles, physiologiques ou techno-fonctionnelles ; l'activité « produits industriels » s'est développée dans un contexte de nécessité de dégagement des excédents de lait et des coproduits ; elle évolue aujourd'hui grâce aux connaissances acquises en sciences du lait et à l'émergence de nouvelles techniques de séparation moléculaire, vers une activité d'ingrédients fonctionnels de mieux en mieux adaptés aux attentes du marché du secteur agroalimentaire et para-pharmaceutique.

Des avancées importantes ont également été effectuées dans le secteur de l'emballage des produits laitiers parmi lesquels il faut relever la brique en matériaux complexés, le polyéthylène, le polypropylène et le polystyrène pour les produits frais (yaourts, fromages...) le *packaging* composite des fromages à pâte molle...

Les attentes et exigences des consommateurs sont de plus en plus complexes et parfois difficiles à concilier. Ainsi, par exemple, la recherche d'une sécurité maximale sur le plan microbiologique conduit à produire des aliments aseptisés qui ont perdu certaines qualités nutritionnelles et présentent moins d'attrait organoleptique.

De même, la longue conservation est très souvent incompatible avec la notion de fraîcheur des produits.

Enfin, toujours dans la perspective de concilier tradition et sécurité, les produits gastronomiques sont très souvent en contradiction avec les exigences et attentes actuelles des consommateurs en matière de sécurité alimentaire et de service.

Ce constat d'une difficile harmonisation entre une fabrication traditionnelle et une sécurité optimale des produits laitiers doit être un peu tempéré.

En effet, les progrès techniques et scientifiques réalisés tout au long de la chaîne (traite mécanique, transport et stockage réfrigérés, épuration microbienne thermique ou athermique...) ont un impact vital et important sur la qualité hygiénique du lait et des produits dérivés.

De forts investissements en recherche ont abouti à la mise en évidence de l'important « potentiel » nutritionnel et biologique du lait (micro-nutriments, nombreux peptides aux activités biologiques diverses, acide gras linoléique conjugué, -CLA-...).

Les contre-indications de consommation liées à une intolérance au lactose par déficience en lactase, à une allergie aux protéines, à la teneur en cholestérol et en acides gras saturés aux propriétés athérogènes... ont conduit l'industrie laitière à développer des produits adaptés à ces contraintes nutritionnelles et physiologiques.

Par ailleurs, comme dans d'autres filières, les industriels laitiers sont toujours à l'affût d'innovations pouvant leur donner un avantage concurrentiel en ce qui concerne la mise au point de nouveaux produits, leur conservation et leur praticité pour le consommateur.

Toutes ces évolutions doivent, cependant, être replacées dans un contexte sociétal de contraintes économiques et réglementaires qui rendent difficile la pérennisation de la typicité des produits.

Ainsi, le lait par sa richesse bio- et techno-fonctionnelle est une matière première permettant de développer une large gamme de produits alimentaires de grande consommation ou de produits plus spécifiques. Les acquis scientifiques et technologiques ont permis d'importants progrès dans le traitement artisanal et/ou industriel des produits laitiers. Cependant, de nombreuses autres perspectives de développement demeurent.

I - LA FILIERE LAITIERE

LE LAIT AU FIL DE L'HISTOIRE

La domestication d'animaux pour l'utilisation de leur lait remonte à environ 12 000 ans. Cela fait des millénaires que le beurre et les fromages ont été associés à la production du lait : des vestiges de ces produits ont été identifiés dans des tombes datant de la première dynastie Egyptienne, soit vers 300 ans avant notre ère.

L'économie laitière moderne s'est développée essentiellement au Nord de l'Europe (production de lait de vache) et dans les pays du Sud (petits ruminants). Les températures plus basses du Nord n'imposant pas la transformation rapide du lait en fromage, les Nordiques ont toujours été d'importants buveurs de lait, au contraire des habitants des pays méditerranéens qui sont les plus gros consommateurs de fromage.

En ce début du troisième millénaire, 495 millions de tonnes de lait sont produits dans le monde (FAO, 2001), soit 95 kg par habitant et par an, dont 81kg pour le lait de vache, 9kg pour le lait de bufflonne, 2kg pour le lait de chèvre, 2kg pour le lait de chamelle et 1 kg pour le lait de brebis

Si le lait en tant que boisson, la crème et le beurre obtenus par simple écrémage (puis barattage) et le fromage par coagulation ont été consommés pendant des siècles, ce n'est qu'avec l'essor de la chimie (Lavoisier) et de la microbiologie (Pasteur) qu'ont été jetées les bases de la composition puis de la conservation du lait ; pasteurisation, stérilisation en autoclave, concentration apparaissent à la fin du XIX^{ème} siècle.

Il faudra attendre le milieu du 20^{ème} siècle pour que se développe le procédé Hatmaker (séchage sur rouleaux), qui permet d'obtenir une poudre facile à réhydrater afin de reconstituer du lait (la maîtrise de ce procédé sera un formidable tremplin pour les échanges internationaux, plus particulièrement pour l'aide alimentaire en faveur du Tiers Monde). Plus récemment, l'avènement de la « brique » de lait, associée au conditionnement aseptique, a constitué une étape décisive dans l'assurance offerte aujourd'hui au consommateur de disposer, en tous lieux et circonstances, d'un aliment de longue conservation, alors que sa durée de vie « normale » n'excède pas 48 heures !

CONTEXTE TECHNICO-ECONOMIQUE DE LA FILIERE

La filière laitière française a toujours occupé une place importante dans l'économie nationale. Son chiffre d'affaire (CA), identique à celui de l'Allemagne, dépasse 20 milliards d'euros (en y intégrant l'activité « glaces »), soient respectivement 16% et 4% des productions européennes et mondiales, ou encore 20% du CA des industries agroalimentaires françaises. Elle assure 180 000 emplois directs (120 000 producteurs et 60 000 salariés d'industrie) .

Dans l'Union européenne, où le niveau de production dépasse d'environ 15 % le niveau de consommation, la production de lait est régulée par la politique des quotas. Ceux-ci ont été établis en considérant les niveaux de production antérieurs à leur mise en place (1984). Aussi, certains pays (Irlande, Pays-Bas, France) ont un droit à produire supérieur à leur consommation nationale alors que d'autres (Italie, Espagne) ont un déficit de production.

Les quotas, fortement décriés lors de leur mise en place - ils stoppaient brutalement la croissance de la production laitière qui était de l'ordre de 3 % par an - ont permis une meilleure adéquation entre l'offre et le marché, le soutien des prix du lait à la production et une restructuration progressive de la production à l'aide de mesures d'accompagnement de cessation d'activité. En France, le nombre de producteurs qui était de plus de 400 000 en 1984 a chuté de moitié de 1984 à 1990 et il est aujourd'hui de 120 000 pour le même volume de lait produit (une moyenne de 200 000 litres par exploitation) ; parallèlement l'amélioration des performances du troupeau s'est traduite par une réduction du nombre de vaches laitières de 7 à 4,5 millions².

La politique des quotas a aussi permis de maintenir un niveau de production et transformation laitière sur l'ensemble du territoire y compris en zone de montagne tout en consolidant un grand bassin laitier, l'Ouest de la France (Bretagne, Pays de Loire, Basse Normandie) qui assure près de 50 % de la production nationale.

Parallèlement on a assisté à une forte concentration des entreprises, sans nuire au maintien d'un tissu de PME. Environ 70 % du lait est collecté par six grands groupes dont 3 (Lactalis, CLE Bongrain, SODIAAL) réalisent un CA supérieur à 3 milliards d'euros. Le reste du lait est traité par environ 300 entreprises.

DU LAIT AUX PRODUITS LAITIERS

Les flux « matières »

Le lait est un aliment parfaitement adapté aux besoins nutritionnels et physiologiques du jeune. Il couvre les besoins énergétiques, structuraux et fonctionnels et contribue à défendre l'organisme contre les agressions bactériennes et virales en augmentant les défenses immunitaires du nouveau-né.

Le lait est une matière première qui peut être transformée en une multitude de produits aux textures et saveurs variées : traditionnellement des fromages de garde conçus il y a plusieurs siècles pour assurer le report des éléments essentiels du lait dans les régions où la production de lait était saisonnière; aujourd'hui des produits développés pour générer de la diversité organoleptique répondant aux attentes des consommateurs adultes tout en préservant les éléments constitutifs d'intérêt nutritionnel (protéine et lipides).

Le lait constitue un gisement de molécules variées (lipides, protéines, glucides, minéraux...) dont les propriétés nutritionnelles et fonctionnelles sont bien valorisées.

L'analyse des flux « matières » au sein de l'industrie laitière française montre que :

² Le rendement des vaches laitières est en France de 5600 litres/an, légèrement en dessous de la moyenne européenne (5900 litres/an), les rendements les plus élevés se situant au Pays-Bas et Danemark (7500 litres/an). Il a connu une forte progression, il était en France de 3500 litres en 1980.

- 16 % de la production de lait est commercialisée sous forme liquide dont 80 % de **lait UHT** (ultra haute température) demi écrémé (16 g de matières grasses/kg).
- 7 % est utilisé pour la fabrication des **yaourts**.
- 50 % est transformé en **fromages** après standardisation de la teneur en matière grasse (30 g/kg) ; il en résulte un coproduit, le lactosérum, dont les quantités varient de 2 à 10 kg par kg de fromage.
- 20 % est destiné à la préparation du **beurre** ce qui libère du lait écrémé et du babeurre.
- 8 % est déshydraté en l'état pour préparer des **poudres de lait** entier.

Les coproduits de nature protéique sont en général déshydratés, soit en l'état, soit après concentration sélective des protéines par précipitation (isoélectrique ou enzymatique) ou ultrafiltration :

- les 12 millions de tonnes de lait transformé en fromage libèrent environ 10 millions de tonnes de **lactosérum** dont 1 millions de tonnes servent à la fabrication de 40 mille tonnes de **lactose** et 7 mille tonnes **protéines sériques**.
- le **lait écrémé**, coproduit de la préparation de crème destinée à la fabrication du beurre, est transformé en poudre de lait (250 mille tonnes) et en 50 mille tonnes de **caséine** (équivalent de 200 mille tonnes de poudre de lait).
- la **crème** (1 millions de tonne) provient de la standardisation lipidique du lait de consommation (250 mille tonnes) ou de lait de fromagerie (250 mille tonnes) et de l'écrémage de lait entier (500 mille tonnes). 75 % de cette crème est transformé en **beurre** (380 mille tonnes) et 370 mille tonnes de **babeurre** ; le reste est commercialisé comme **crème ménagère** (300 mille tonnes).

La France est avec l'Allemagne le plus gros producteur de **fromages** (1,7 millions de tonnes). Elle se distingue des autres pays de l'Union Européenne par la diversité de ses fabrications fromagères :

- pâtes fraîches : 570 mille tonnes.
- pâtes molles³ : 450 mille tonnes (c'est une particularité française)
- pâtes pressées : 520 mille tonnes (210 mille tonnes pâtes non cuites, 310 mille tonnes pâtes cuites).
- fromages fondus : 115 mille tonnes.

Le tonnage des **fromages AOC** atteint actuellement 190 mille tonnes (11 % de la production de fromages). Sur la période 1990-2000, la consommation des fromages au lait de vache de type AOC a connu une progression relative globale plus rapide (+24%) que celle des autres fromages (+14%). 70 % de ce tonnage est assuré par 7 des 37 AOC (Comté : 44 mille tonnes ;

³ Qui se caractérisent par une très grande diversité de texture et d'arôme

St Nectaire :13 mille tonnes ; Cantal : 20 mille tonnes ; Camembert de Normandie : 13 mille tonnes ; Roquefort : 18 mille tonnes ; Munster : 8 mille tonnes ; Reblochon :17 mille tonnes).

Les **fromages au lait cru** représentent 190 mille tonnes (11 %) dont 20 mille tonnes au lait de brebis et 7 mille tonnes au lait de chèvre ; 50 % des fromages au lait cru de vaches sont des pâtes pressées cuites, 25 % des pâtes pressées non cuites et 25 % de pâtes molles.

La production de **lait biologique** a atteint, en 2001, 5 % de la production totale de lait. Ce lait est commercialisé pour plus de la moitié sous forme liquide, 10 % est transformé en produits fermentés, 24 % en fromage et 5 % en poudre.

Le développement des AOC et l'exploitation des laits de petits ruminants ont un impact très important dans le maintien d'une activité agricole et économique notamment dans des régions de montagne.

Si des pays tels que l'Espagne, le Portugal, l'Irlande et le Royaume uni, dont les niveaux de consommation sont inférieurs à la moyenne européenne, atteignaient ceux recommandés par certains nutritionnistes (360 kg/tête/an), le marché supplémentaire en équivalent lait serait, en Europe, de 15 à 20 milliards de litres.

Les flux financiers

Hors activité « glace », le chiffre d'affaire de la filière lait est égal à 17,5 milliards d'euros. Il se répartit de la manière suivante :

	% du lait collecté	% du C A
Lait liquide (+ crème)	16	14,5
Produits fermentés	6	12
Fromages (+ crème et sérum)	50	50,5
Poudre lait écrémé + beurre	20	15
Poudre lait entier	8	4

La valeur ajoutée par rapport à la matière première atteint 10 milliards d'euros, soit 133 %. Elle est principalement générée par les produits frais (yaourts, desserts lactés) et les fromages. Les valeurs ajoutées dégagées par le lait de consommation, les poudres et le beurre sont très faibles.

Les évolutions enregistrées au cours de la décennie 1990/2000 montrent que les produits créant de la valeur ajoutée (produits fermentés, fromages, crème de consommation, desserts lactés) ont progressé beaucoup plus vite que la consommation nationale en raison d'un fort accroissement des exportations. L'augmentation de l'activité fromagère a eu pour conséquence de diminuer l'approvisionnement en crème, d'où la nécessité d'accroître les importations de beurre, sachant que la consommation de matière grasse butyrique a peu évolué.

Le solde commercial français est de 2,4 milliards d'euros, soit 13,5 % du chiffre d'affaire. Il est dû pour une part importante aux échanges au sein de l'Union Européenne, régulés par la politique des quotas (la suppression de ces derniers pourrait bouleverser rapidement la répartition de l'offre et perturber les échanges intracommunautaires : c'est pourquoi beaucoup d'acteurs de la filière française y sont peu favorables).

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 11 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

Le solde en tonnage est positif pour tous les produits, sauf le beurre. Les exportations des fromages et produits frais (520 millions de tonnes et 220 millions de tonnes) se font pour 80 % au sein de l'Union Européenne. Les poudres de lait entier sont essentiellement exportées vers les pays tiers ; il en est de même pour 70 % des fromages fondus dont la France est le plus gros exportateur européen.

Spécificités régionales

L'analyse des activités laitières par région révèle une grande hétérogénéité. Certains produits tels que le lait de consommation et les produits frais fermentés sont répartis sur l'ensemble du territoire pour être proches des grands centres de consommation ; les bassins à forte densité laitières, tels que l'Ouest, ne peuvent donc contribuer à la fabrication de ces produits au prorata de leur production :

- l'Ouest, premier bassin laitier (45% de la production nationale), se caractérise par ses fabrications de beurre, de poudres et de fromages de pâtes cuites à usage culinaire.
- l'Est transforme l'essentiel de son lait en fromage.
- le Sud-Ouest est spécialisé en lait de consommation
- le Nord et Sud-Est produisent essentiellement du lait de consommation et des produits fermentés.

Compte tenu de ces spécificités régionales, la question est posée de savoir si il faut finaliser les bassins laitiers et définir des critères de sélection des animaux en fonction du type de transformation ou si il faut produire le même lait quelle que soit la région ?

LE CONSOMMATEUR FACE AUX PRODUITS LAITIERS

Le lait et les produits laitiers restent aux yeux des consommateurs des produits sains, bons, authentiques et relativement surs, d'autant que 50 % des fromages au lait cru sont des pâtes pressées cuites qui présentent peu de risques microbiologiques en raison de leurs caractéristiques physico-chimiques.

Le lait est essentiellement consommé sous forme de fromages. Au cours de la dernière décennie, la consommation de lait liquide a diminué d'environ 10% alors que la consommation des produits fermentés frais a augmenté de plus de 30% et celle de fromages de 10%, dans tous les pays. En Europe, les pays producteurs et consommateurs de fromages (France, Allemagne, Italie) se situent parmi les plus gros consommateurs en équivalent lait.

L'attrait des produits transformés s'explique par une grande diversité de texture et d'arôme et par une meilleure acceptabilité et digestibilité des produits fermentés : dans ces produits, le lactose, responsable d'intolérance au lait chez certains individus, a été partiellement (yaourts, fromages frais) ou totalement (fromages affinés) transformé au cours des fermentations ; dans le cas des yaourts, le lactose résiduel est bien toléré car il est hydrolysé dans le tube digestif par la lactase des ferments.

II - INNOVATIONS AU SEIN DE LA FILERE LAITIERE

MAITRISE QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DE LA PRODUCTION LAITIERE

DIFFUSION DU PROGRES GENETIQUE

Ce n'est que vers le début du 19^{ème}, en Europe continentale, que les races sont mieux identifiées (au moins leur phénotype) au sein de groupes restreints d'animaux détenus par des élites terriennes qui promeuvent une spécialisation de l'élevage avec des races d'origine anglaise pour la plupart. Après la seconde guerre mondiale, émerge un élevage laitier spécialisé et intensifié qui permet le développement économique des petites exploitations familiales ; cette évolution a été favorisée par la mise en place de moyens mutualistes de crédit et de coopération et par le développement de la recherche agronomique.

Les bases théoriques et pratiques de la sélection laitière se sont donc développées au cours du XX^{ème} siècle à partir des travaux anglo-saxons. Elles ont permis d'établir la génétique des populations comme une discipline scientifique nouvelle. La sélection laitière s'est bâtie sur les performances des taureaux d'insémination évaluées sur la production de leur fille. Les deux éléments les plus déterminants dans le progrès génétique ont été la généralisation de l'**insémination artificielle** et l'**indexation** des taureaux sur leur descendance.

Techniques de reproduction

L'insémination artificielle constitue la clef de voûte du système d'amélioration génétique des bovins laitiers en raison de la capacité de multiplication des taureaux.. Son développement à partir des années 45 est imputable à une conjonction favorable d'intérêt sanitaire (maladies contagieuses disséminées par la monte naturelle) et économique (entretien d'un taureau dans les petits élevages).

La **cryoconservation** des semences, à partir des années 60, a décuplé les apports génétiques de la technique d'insémination en permettant une exploitation large et durable des taureaux sélectionnés. De plus, elle est devenu un formidable moyen d'échange de matériel génétique entre pays et continents avec toutes les garanties sanitaires souhaitables. Elle a contribué à l'expansion rapide des races les plus productives au détriment des races mixtes et locales moins adaptées au contexte économique du moment.

Les nouvelles techniques de reproduction comme le **transfert d'embryon** avec ou sans fécondation in vitro n'ont été jusqu'à présent que des pratiques complémentaires pour assurer une meilleure maîtrise de la procréation de quelques centaines de taureaux à mettre à l'épreuve sur descendance ; elles ont été appliquées aussi à quelques milliers de femelles pour réduire l'intervalle de génération sur la voie « mère-fils » et la voie « mère-fille ».

L'indexation sur descendance

L'indexation sur descendance des taureaux, à partir des performances de leurs filles, a été développé à compter des années 50. La première mise à l'épreuve d'un taureau d'insémination artificielle a été réalisée en 1951. Le « Centre technique pour le contrôle de la descendance » (CTCD) a été créé en 1959 sous l'impulsion de l'Union des coopératives d'insémination artificielle (UNCEIA) et de la fédération nationale des producteurs de lait (FNPL). Une réflexion sur l'organisation à mettre en place a été conduite par l'INRA et le Ministère de l'agriculture.

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 13 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

L'organisation de l'amélioration génétique du cheptel français a été définie, en 1966, dans la « loi sur l'élevage » qui précisait le rôle et l'articulation des différentes structures chargées de la collecte et du traitement des données de généalogie et de performances, du testage et sélection des taureaux et de la production de semence. La concertation de ces instances et la définition des objectifs pour chaque race étaient confiées à l'UPRA et l'ingénierie et coordination générale à l'Institut technique de l'élevage bovin.

Les objectifs les plus optimistes ont été atteints en moins de 10 ans. Dès 1972, 4,8 millions d'inséminations artificielles étaient pratiquées à partir de taureaux testés et mis à l'épreuve.

Les caractères indexés ont évolué au cours des années pour mieux prendre en compte les contraintes économiques et les exigences technologiques. Seules les productions de lait et/ou de matière grasse étaient prises en considération dans les années 60. Le contrôle systématique de la matière azotée, puis protéique, s'est effectué à partir des années 70 suite à son introduction comme critère de rémunération du lait. La sélection des reproducteurs a été effectuée, jusqu'en 1989, sur la quantité et le taux moyen de matière utile puis ensuite sur une combinaison des composants du lait « l'INEL » (Index économique laitier). Cet index a été construit pour accroître la marge économique des exploitants dans le contexte des quotas « **matières grasses** » et dans la perspective d'une anticipation de l'évolution favorable de la rémunération des « **matières protéiques** » par rapport aux matières grasses ; il visait donc à privilégier la production de matières protéiques.

D'autres caractères ont été récemment introduits. En 2000, chacune des races laitières a pu adopter un nouvel index de sélection qui ne fait porter l'effort de sélection sur la production que pour 50 %, l'autre moitié du progrès génétique à venir concernant diverses aptitudes (fertilité, longévité, morphologie fonctionnelle, facilités de naissance...) avec des poids relatifs variables selon les races.

Les résultats

Dans un schéma de sélection basé sur les caractéristiques de la descendance, il faut 10 ans pour apprécier ses effets. Ce n'est donc qu'à partir des années 70 que s'amorce une élévation significative et de plus en plus rapide du niveau de production dans les différentes races comme le montre le tableau ci dessous :

Race	Année	Effectifs contrôlés	Lait (kg)	TB ‰	TP ‰
Française Frisonne et Prim'Hostein	1970	520 000	3724	36,4	31,5
	1980	1 300 000	4866	38,6	31,0
	1990	1 900 000	6503	39,5	30,8
	2001	2 100 000	7678	40,7	31,5
Normande	1970	279 000	3215	40,4	33,9
	1980	334 000	4096	41,8	33,5
	1990	282 400	4592	41,7	33,2
	2001	300 000	5410	43,5	34,0
Montbéliarde	1970	87 000	3843	35,8	32,3
	1980	226 000	4723	36,8	31,8
	1990	289 000	5474	37,5	31,9
	2001	375 000	6110	38,8	32,4

Source : Institut de l'élevage. Contrôle laitier

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 14 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

Cet accroissement de la productivité est lié à la fois à l'amélioration du niveau **génétique** des taureaux utilisés et à l'amélioration des conditions d'**élevage**. L'expansion de la Holstein domine l'évolution génétique et phénotypique de la production laitière jusqu'à l'avènement des quotas. Par contre, depuis une dizaine d'année, c'est l'évolution génétique intra-race, associée à une désintensification croissante de la conduite d'élevage qui est déterminante sur l'évolution du **TB** et du **TP** du lait collecté. Au plan génétique, et pour chaque race, est doré et déjà engrangée pour les 5 à 10 ans à venir une baisse régulière du TB et une hausse légère et régulière du TP. On peut aussi relever une amélioration continue dans toutes les races de la morphologie mammaire pour une adaptation à la **traite mécanique**.

Des perspectives nouvelles : les apports de la génétique moléculaire

Les travaux récents de cartographie physique de gènes marqueurs et de mise en évidence de zones d'intérêt associées (QTL) permettent de mettre en œuvre dans les trois principales races une **sélection assistée par marqueurs** (SAM) susceptible de renforcer l'efficacité des programmes de testage et de sélection des taureaux, notamment sur les caractères les moins héréditaires. Par ailleurs le génotypage pour certaines anomalies génétiques constitue désormais un moyen précieux d'éradication de ces tares. Les travaux de génomique fonctionnelle et de caractérisation individuelle des gènes d'intérêt permettront de s'affranchir des critères globaux de sélection pour appréhender finement chacun des aspects plus qualitatifs et élémentaires des aptitudes globales. Ainsi, on peut imaginer accroître la fréquence de certains **variants de caséine** ou la proportion relative des différentes protéines ou **acides gras**. Les apports principaux devraient concerner les aptitudes fonctionnelles telles que fertilité, longévité, résistance aux mammites...Il en résultera une diversification plus grande des objectifs de sélection selon les races et les contextes technico-économiques et sociologiques.

SYSTEMES DE PRODUCTION DU LAIT

De 1950 à 1980, l'évolution de la filière laitière se caractérise par une succession de mutations provoquées par un ensemble d'innovations techniques dans une conjoncture très longtemps fondée sur l'intensification de la production et la spécialisation des ateliers. Objet d'étude culte des zootechniciens, **l'optimisation de la conduite alimentaire de la vache laitière** a bénéficié des progrès réalisés en productions végétales, dans l'industrie de l'alimentation du bétail, dans l'industrie chimique et pharmaceutique ainsi que dans l'industrie des agroéquipements.

On doit à René Dumont le **passage du concept de la cueillette de l'herbe à celui du recours accru aux intrants** (semences fourragères améliorées, fertilisation...) associé à une expérimentation rationnelle de l'herbe qui passe par les techniques de récolte et de conservation. Formulée dès les années 1950, la diffusion de cette idée prépare l'intensification qui verra s'épanouir la culture du **maïs ensilage**. Entre 1965 et 1980 les surfaces qui lui sont consacrées triplent au détriment des cultures de plantes sarclées (betterave) et des surfaces fourragères. 2 millions d'hectares changent de destination favorisant aussi l'essor des cultures céréalières.

Sous l'impulsion de Robert Jarrige, une meilleure définition des besoins des animaux et en corollaire de la **valeur alimentaire des fourrages** se construit.

Poussée par des moteurs tant biologiques (potentiel génétique, physiologie) que socio-économiques (coût de revient, travail...), la **productivité par vache** focalise l'attention. Dans ces conditions comment faire sauter le verrou alimentaire ?

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 15 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

La course à l'énergie et la maîtrise du taux protéique

A mesure que s'impose le modèle VLHP (Vache Laitière à Haut Potentiel), se répand un processus de simplification des rations appuyé sur des bases jugées indiscutables. Face aux limites animales et végétales, le levier de l'ingestion sur le plan quantitatif fait long feu. Reste donc, l'ajustement qualitatif et en particulier la modulation de la **concentration énergétique des rations**. Il s'ensuit des ajustements progressifs dans les choix de rationnement tels que :

- l'augmentation de la **valeur énergétique de l'herbe** avec l'adaptation des coupes plus précoces imposant face aux contraintes climatiques une conservation par voie humide des fourrages récoltés. L'ensilage, le haylage, l'enrubannage, les conservateurs se développent, les ruminants pâturent une herbe plus jeune et des repousses de meilleure qualité.
- l'utilisation du **maïs ensilage** en mono-régime hivernal. Correcteurs azotés, substances tampons, orienteurs de fermentation et indice de « fibrosité » de la ration vont accompagner l'essor de son utilisation.
- l'accroissement de la part des **concentrés** dans la couverture des besoins énergétiques. Avec la baisse du prix des céréales, le blé trouve assez naturellement sa place dans les rations. En parallèle la valorisation des coproduits dans l'industrie de l'alimentation animale favorise le recours à des concentrés formulés spécialement pour tenir compte des besoins de l'animal. Ce mouvement bénéficie de l'adaptation des Distributeurs Automatiques de Concentrés (D.A.C.) favorable à l'individualisation des rations sans surcharge de travail avant que dans la ration complète on vulgarise un régime formulé à 0,94-0,96 UFL par kilo de matière sèche, niveau énergétique nécessaire à la stabilisation puis à la remontée du taux protéique.
- l'incorporation de **matières grasses**, parfois d'origine animale, dans le régime alimentaire pour doper la concentration énergétique. Mais l'effet dépressif des lipides sur l'activité des microorganismes du rumen limitera cette pratique.
- le **shunt du rumen** favorable à la digestion intestinale des constituants glucidiques. Le principe postule que la dégradation dans le rumen engendre des pertes irréversibles et que le rendement énergétique s'accroît si l'aliment échappe aux microorganismes du rumen. L'amidon by-pass bénéficie ainsi des améliorations liées à l'utilisation des traitements technologiques (chauffage, pression par exemple).

Les protéines et la couverture des besoins azotés

Les zootechniciens ont rapidement formalisé la capacité de la VLHP à compenser des déficits énergétiques par la mobilisation des lipides des réserves corporelles. Le facteur limitant devient pour un temps l'apport d'azote. Exploitant les particularités digestives du ruminant, les nutritionnistes proposent diverses solutions pour abonder les apports sur le plan quantitatif :

- l'utilisation de **source d'azote non protéique** (urée, sulfate d'ammonium) permettant une synthèse accrue de protéines par les microorganismes du rumen.

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 16 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

- le **tannage des protéines** (par chauffage, par traitement au formol aujourd'hui par des tannins naturels) favorable à l'accroissement des flux de protéines directement utilisable au niveau de l'intestin grêle.

Prenant appui sur les progrès enregistrés dans la définition des besoins et la connaissance du métabolisme de l'animal (notion d'AADI, acide aminé digestible dans l'intestin, formulée par H. Rulquin) les propositions ont aussi concerné les apports qualitatifs avec :

- l'incorporation de **protéines d'origine animale** (farine de sang, farines de viande...) particulièrement riches en acides aminés essentiels. On a depuis mesuré les risques de ces pratiques et instruit le procès des apprentis sorciers imaginant la transmutation de la vache en carnivore. Physiologiquement correct le principe n'a pas résisté aux excès de l'économie libérale.
- la supplémentation **en acides aminés de synthèse** (méthionine et lysine protégées des dégradations dans le rumen) dès que l'on a admis que la notion d'acide aminé essentiel limitant s'appliquait aussi au ruminant, en particulier à la VLHP.

Vers un retour à la diversité ?

A l'approche classique d'une alimentation consistant à couvrir les besoins liés à un objectif de production, D. Sauvant substitue le concept de « loi de réponse multiple aux variations du régime » qui intègre les paramètres représentatifs des performances exprimées face aux défis liés à la qualité des produits, à la sécurité alimentaire, à l'impact environnemental des pratiques d'élevage et au bien être animal.

De nouvelles interrogations apparaissent:

- **OGM** : le manque de données scientifiques rapportant l'absence ou la présence dans le lait de fragments d'acide nucléique exogène provenant du soja (actuellement majoritairement génétiquement modifié) et ou du maïs autorise-t-elle à balayer sans hésitation tout risque d'atteinte à l'image encore idéalisée du lait?
- la diversité des pratiques relevant des processus de désintensification, le **retour de l'herbe**, la limitation des apports en aliments concentrés, le recours souhaitable aux sources de protéines indigènes ne fondent-elles pas une alternative aux Organismes Génétiquement Modifiés ?
- la concentration des unités de productions laitières est toujours d'actualité : on annonce que dans 10 ans il restera 60 000 producteurs contre un peu moins de 120 000 aujourd'hui. Accrochés aux terroirs ou aux territoires, les systèmes AOC et les éleveurs « **Agriculture Biologique** » doivent valoriser leurs différences. Les travaux sur les traceurs d'origine pourraient fournir des arguments justifiant la différenciation de ces produits.
- **le lait aliment santé** : le pilotage de la composition du lait, en particulier des teneurs en micro-éléments ou micro-nutriments, est devenu un enjeu de première importance. *Via* la diversification des composants des rations, les pratiques alimentaires sont à même de participer à la production de laits répondant à un cahier des charges spécifique. Les grands programmes

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 17 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

de recherche dédiés au C.L.A. (Conjugated Linoleic Acid), dont les bienfaits restent à démontrer chez l'homme, en sont une illustration parfaite. Et si depuis longtemps l'industrie a su gérer à bon escient le principe des suppléments, la tendance est aujourd'hui au recours à des « aliments naturels ».

PRODUCTION DU LAIT ET TECHNIQUES DE TRAITE

Gestion des lactations

Les **traitements hormonaux** sont utilisés chez la vache laitière à des fins thérapeutiques pour rétablir des anomalies du cycle reproductif, et parfois sur des lots de génisses, à des fins zootechniques pour maîtriser la période de mise à la reproduction et donc de la saison de mise bas.

Dans les deux cas, la possibilité de choisir la période de vêlage permet d'**optimiser le travail de l'éleveur** et de répondre aux besoins du marché en termes de quantités et de répartition de la production. Elle **permet** également **d'améliorer la qualité** des produits en bénéficiant des variations saisonnières naturelles de la composition du lait et surtout en adaptant les besoins du troupeau aux ressources fourragères de l'exploitation. Ces traitements utilisent des substances endogènes, ou des dérivés, analogues aux produits prescrits en médecine humaine. Leur emploi conduit à des concentrations dans le lait (et la viande) comparables aux teneurs physiologiques naturelles et inférieures à celles observées à certaines périodes du cycle reproductif, comme la gestation.

La mécanisation de la traite

Aujourd'hui, la quasi totalité des éleveurs laitiers dispose d'une **machine à traire**.

La mécanisation s'est développée d'abord avec les pots trayeurs, à terre ou suspendus sous l'animal. Puis des lactoducs ont été installés dans les étables, permettant d'améliorer les conditions de travail en réduisant les opérations de transvasement du lait. Par la suite, la création de salles de traite spécifiques, a permis de rationaliser l'organisation du travail en donnant la possibilité de traire simultanément un plus grand nombre d'animaux. Enfin, aujourd'hui, quelques exploitations sont équipées de robots réduisant au minimum l'intervention du trayeur dans les opérations de traite.

Cette évolution a été avant tout orientée par le souci légitime des éleveurs de limiter le temps et la pénibilité du travail. Mais dans le même temps, l'augmentation des niveaux de production des animaux, et celle des volumes à recueillir, à canaliser et à stocker à la ferme, ont accru les **risques d'altération de la qualité du lait** avant sa collecte par les entreprises laitières, comme la **lipolyse** (dégradation de la matière grasse du lait), ou la contamination et le **développement microbiens** par exemple. De plus, la mécanisation de la traite a aussi induit de nouveaux risques de traumatismes des trayons ou d'**infections mammaires**, avec des conséquences à la fois sur la santé des animaux et sur la qualité du lait. Aussi, parallèlement à l'amélioration des performances, de l'efficacité et de la fiabilité du matériel, la conception de ce dernier a été adaptée de façon continue pour rendre la traite moins traumatisante, réduire les risques de propagation des infections, et préserver la qualité originelle du lait.

Par ailleurs, la réduction du temps de travail consacré aux opérations de traite a permis aux éleveurs d'en accorder **plus à l'hygiène et à la surveillance de l'état sanitaire des vaches**, et

de répondre ainsi à l'accroissement des exigences des transformateurs, des consommateurs, relatives à la qualité du lait ou à la santé animale. De leur côté, les constructeurs de machines à traire ont également été très attentifs à ces exigences, et ont régulièrement proposé des équipements ou des **dispositifs innovants** et ayant pour principale fonction d'assister les éleveurs dans **la maîtrise de l'hygiène et de l'état sanitaire** des animaux.

Ainsi, une des principales nouveautés apparue dans le milieu des années 70 est la **dépose automatique des faisceaux trayeurs** qui permet à l'éleveur de traire un plus grand nombre d'animaux en évitant les accidents sanitaires liés à une traite inutilement prolongée. Au début, ces appareils ont été réalisés à partir de technologies simples (systèmes électro-pneumatiques), puis on a fait appel à des circuits imprimés permettant d'améliorer la fiabilité et surtout la reproductibilité de la dépose. Aujourd'hui, ils sont **pilotés par micro processeurs**, capables de gérer le flux de lait de chaque animal en fin de traite grâce à une électronique embarquée performante. De même, les **automates de nettoyage** des installations se sont rapidement imposés non seulement pour limiter le travail de l'éleveur en le libérant plus tôt après la traite, mais pour standardiser une tâche qu'il maîtrisait parfois mal. Comme les systèmes de dépose automatique, les premiers automates commercialisés étaient des appareils très simples faisant appel aux technologies électro-pneumatiques, alors que les modèles actuels sont pilotés par des microprocesseurs qui permettent une **programmation pratiquement « à la carte »**, en fonction des caractéristiques de l'exploitation, de l'installation de traite, et aussi des exigences de l'entreprise qui collecte le lait.

L'utilisation des technologies nouvelles a connu un nouvel essor depuis le **début des années 90**, avec l'arrivée des **robots de traite** sur le marché. Des dispositifs sophistiqués ont été mis au point pour remplacer l'œil et la main du trayeur, et permettre la pose et la dépose automatiques des gobelets trayeurs sur les mamelles des vaches. Toutefois, la présence et la surveillance de l'homme restent encore indispensables pour la détection en temps réel des laits anormaux, de façon à les écarter du circuit de commercialisation, ou encore de celle des premiers symptômes d'infections mammaires, pour traiter le plus rapidement possible les animaux concernés. Dans ces domaines, la technologie des **capteurs** commence à être utilisée et sera certainement amenée à se développer très largement. Ainsi, la mesure de la **conductivité électrique du lait**, déjà opérationnelle, permet la détection d'une **infection mammaire au cours de la traite** d'un animal, parfois même avant les premiers signes visibles de la maladie. L'amélioration de la sensibilité et de la fiabilité de ce type de détection est rendue possible par le couplage de capteurs élaborés spécifiquement pour cette utilisation, et de logiciels de traitement de l'information de plus en plus puissants. L'**identification automatique des animaux** arrivant dans la salle de traite (ou accédant au robot de traite) permet aussi à des systèmes informatiques d'avertir l'éleveur que le lait d'une vache traite doit être écarté, par exemple parce qu'elle a reçu un traitement antibiotique.

Enfin, les progrès technologiques de l'industrie chimique en matière de produits **détergents ou désinfectants** ont eu des retombées importantes sur l'hygiène de la traite et sur la prévention des infections. L'efficacité des produits utilisés pour le nettoyage des installations de traite a été considérablement améliorée, permettant d'en utiliser des quantités moindres pendant une durée plus courte. En outre, de nombreux produits ont été spécifiquement mis au point pour le nettoyage et la désinfection des mamelles : produits appliqués avant ou après la traite, liquides ou à base de mousse, lingettes pré-imprégnées, ... représentent tout un arsenal de moyens à la disposition des éleveurs pour **éviter la contamination du lait et prévenir les infections**.

Fréquence des traites

Malgré les progrès accomplis sur le matériel, la traite représente encore 50% du travail d'astreinte dans la plupart des exploitations laitières. Pour réduire cette astreinte, la **réduction de la fréquence des traites** peut être envisagée. Quelques éleveurs ne traitent plus qu'une seule fois par jour, à certaines périodes de l'année. Les conséquences de cette pratique, en particulier, sur la production et la composition du lait, ainsi que sur l'état sanitaire, le comportement et le bien être des vaches sont étudiées depuis quelques années, notamment en France et en Nouvelle-Zélande.

Les expérimentations réalisées portent sur la suppression d'une traite par jour pendant quelques semaines, quelques mois ou toute l'année. En ce qui concerne la production et la composition du lait, les résultats sont assez convergents et montrent :

- une baisse de la production laitière de l'ordre de 30%
- une augmentation du taux butyreux de 3 à 4 g/kg
- une augmentation du taux protéique de 1,5 à 2 g/kg
- une augmentation de la numération cellulaire du lait, généralement sans effet sur la fréquence des mammites.

Les vaches semblent s'adapter rapidement aux nouveaux rythmes de traite, sans présenter de troubles de comportement particulier.

Aujourd'hui, en France, cette pratique est essentiellement appliquée par les éleveurs ponctuellement, pendant des périodes de 3 à 4 mois, au printemps ou en été. On manque encore de recul sur ses effets à long terme et sur son application sur des lactations entières pendant plusieurs années successives.

MAITRISE SANITAIRE

Le lait a été un **vecteur de maladies** (tuberculose et brucellose). Une action collective a été entreprise au début des années 60 pour protéger les individus au contact des animaux infectés et pour limiter les risques dus à la consommation de produits contaminés. L'éradication a combiné une obligation réglementaire et la participation active des éleveurs. : obligation de déclaration de la maladie, vaccination, dépistage systématique, séquestration et abattage subventionné des animaux contaminés.

Cette stratégie a permis de conduire le cheptel bovin français à **une situation sanitaire satisfaisante** : le nombre de troupeaux infecté de tuberculose est passé 3% en 1970 à 0.06% en 2000, le nombre de troupeaux infecté de brucellose est passé 17% en 1970 à 0.01% en 2000. Des démarches identiques sont maintenant conduites dans toute l'union européenne. Grâce à ces 40 ans d'efforts, le lait produit et consommé dans toute la France ne contient aucun bacille tuberculeux, ni aucune bactérie brucellique.

Plus récemment, d'autres maladies communes à l'homme et aux bovins et éventuellement transmises par le lait, sont apparues, en particulier la **listériose** et la **salmonellose**. De nouveaux outils de lutte, développés en collaboration par les éleveurs et l'industrie laitière, ont donc été mis en place à fin d'**empêcher une contamination** du lait. En effet, l'objectif ne peut être une éradication des germes en cause, car ils sont très présents dans l'environnement, bien au-delà des seuls bovins infectés.

LE LAIT DANS TOUS SES ETATS

DE LA FERME A L'USINE

La quasi totalité du lait produit (93,5%) est collectée et acheminée à l'usine en vue de sa transformation ; sa qualité est évaluée au niveau de l'atelier de réception. Le transport du lait est assuré par l'industriel. De plus en plus d'éleveurs sont engagés dans une démarche qualité

La **réfrigération du lait à la ferme** qui s'est généralisée vers les années 70 avait un double objectif : améliorer la qualité hygiénique du lait et diminuer la fréquence de collecte pour en réduire les coûts. On est rapidement passé d'une collecte quotidienne à des collectes de 48 heures ou 72 heures et d'un ramassage en bidon à un ramassage en citerne. Cette évolution s'est traduite par un mélange de laits issus de plusieurs traites et provenant de plusieurs troupeaux.

La réfrigération du lait à la ferme a constitué un véritable progrès d'un point de vue hygiénique. Les laits collectés en bidons non réfrigérés dépassaient souvent 10^6 germes par ml alors que maintenant ils sont inférieurs à 50 000 /ml. Mais la flore dominante n'est pas la même car le froid favorise le développement des espèces psychrotrophes qui peuvent générer des enzymes protéolytiques et lipolytiques susceptibles d'altérer la qualité et stabilité des laits. Le froid peut également entraîner des perturbations de nature physico-chimique ou biochimique avec des conséquences sur la qualité technologique des laits (stabilité thermique – aptitude à la transformation en fromage) ; c'est pourquoi il est recommandé pour certaines fabrications de ne pas prolonger la réfrigération au-delà de 48 heures.

Le principal risque lié à ces conditions de collecte est une altération de la qualité du lait par l'**apport d'un lait non conforme**. Les mélanges peuvent avoir un impact négatif pour les producteurs qui font des efforts de qualité, on ne dispose pas de méthodes rapides qui permettent d'évaluer la qualité au niveau du tank à la ferme avant prélèvement⁴.

Il existe un différentiel entre les quantités collectées et payées aux producteurs et les quantités dépotées au quai de réception car les mesures faites à la ferme sont volumétriques et celles à l'usine pondérales. Les analystes se heurtent également à des problèmes d'échantillonnages car la composition du lait n'est pas homogène entre le haut et le bas du tank et de la citerne. Aussi, les citernes sont-elles souvent équipées d'un échantillonneur automatique qui prélève en continu une fraction du lait transvasé.

Les citernes les plus récentes sont équipées d'un **système de verrouillage** qui empêche toute intrusion malveillante ; dans le cas contraire elles peuvent être scellées. La collecte est de mieux en mieux sécurisée et le système de **traçabilité** permet d'identifier rapidement les producteurs responsables d'une non conformité ce qui constitue une force de dissuasion des actions frauduleuses.

⁴ Dans certaines zones de collecte, des échantillons sont prélevés à chaque passage dans les « tanks » de réception, par exemple 15 fois par mois quand la collecte a lieu toutes les 48 heures ; dans ce cas, seulement 5 échantillons sont analysés par les laboratoires interprofessionnels en vue du paiement du lait sur des critères physico-chimiques et microbiologiques. Les échantillons non analysés sont conservés quelques jours, ce qui permet de retrouver le producteur responsable de la non conformité éventuelle d'une citerne analysée à la réception (présence d'anti-biotiques, de cellules, de colostrum).

Les industriels disposent aujourd'hui de **logiciels** qui permettent d'optimiser les **circuits** de collecte en vue de réduire les coûts tout en intégrant éventuellement la qualité des laits de troupeaux évaluée à posteriori.

Le lait étant constitué à 88 % d'eau, on a cherché à en éliminer une partie. Vers les années 80, l'**ultrafiltration** a été proposée pour concentrer sélectivement des constituants d'intérêt nutritionnel et technologique (protéines et lipides) :

- le facteur de réduction volumique pratiqué étant de 2, les volumes à stocker et transporter sont réduits de moitié. La réduction des volumes et de la fréquence de collecte permet de réduire les coûts de transport
- le filtrat, contenant environ 50 g/l de lactose et quelques grammes de minéraux, est consommé par les vaches
- le concentré de lait est pasteurisé, puis stocké 4 jours à la ferme.

Cette innovation n'a pas connu de développement en raison de son coût supérieur, sauf quelques cas particuliers, aux gains. De plus, l'allongement du temps de réfrigération est déconseillé pour un certain nombre de fabrications.

D'une manière générale, les évolutions en matière de logistique et de traçabilité des laits ont permis des **réductions des coûts** de collecte, une **amélioration de la qualité** et une plus **grande sécurité** dans le transfert des laits de la ferme à l'usine.

LAITS DE CONSOMMATION

Lait UHT

Les technologies mises en œuvre pour assainir les laits susceptibles de contenir des flores de contamination et pour allonger les durées de conservation ont connu des évolutions importantes.

Jusqu'en 1970, le lait était pasteurisé (72°C / 15 s) ou stérilisé en autoclave (120°C / 15 min). La conservation des laits pasteurisés au froid se limitait à quelques jours en raison de l'insuffisante qualité microbiologique des laits ramassés à la ferme (la réfrigération des laits à la ferme n'était qu'à ses débuts). La qualité nutritionnelle et organoleptique des laits autoclavés n'était pas optimale en raison du choc thermique subi par le lait (destruction de vitamines, perte de lysine, brunissement, goût de cuit...).

Le traitement UHT a été une **révolution technologique**. A efficacité stérilisatrice équivalente à l'autoclavage, il conserve en effet beaucoup mieux les qualités nutritionnelles et sensorielles du lait.

Le traitement UHT a d'abord été réalisé par **injection de vapeur** dans le lait (environ 10 %) ce qui permettait, par libération de la chaleur latente d'évaporation, d'accroître instantanément la température de 80°C à 140°C. Après un maintien de 4 secondes à 140°C, le lait est refroidi par détente et évaporation sous vide, l'évaporation éliminant une quantité d'eau équivalente à la quantité de vapeur introduite. Cette technologie, très séduisante pour préserver les qualités du produit, présente un double inconvénient :

- le mélange intime de vapeur et de lait nécessite l'emploi de vapeur alimentaire.

- la dénaturation des enzymes est incomplète et des phénomènes de protéolyse réduisent la stabilité dans le temps.

Cette instabilité protéolytique a été amplifiée par la généralisation de la réfrigération des laits à la ferme dont on a vu qu'elle favorisait le développement de flores psychrotrophes génératrices d'enzymes thermorésistants.

L'utilisation d'**échangeurs de chaleur** a progressivement remplacé l'injection de vapeur. La montée et descente en température étant alors moins rapide, le choc thermique est plus intense et les enzymes protéolytiques davantage détruites. Il n'existe pas toujours pas de technologies qui détruisent spécifiquement les enzymes sans dégrader les autres constituants de nature protéique.

Le lait UHT a très rapidement pris le pas sur le lait pasteurisé pour des raisons de « praticité » (facilité d'achat et de conservation) liées la demande des consommateurs et à celle de la grande distribution. Demi-écrémé, il représente aujourd'hui 80 % des laits de consommation.

La **microfiltration sur membranes** est la dernière née des technologies d'épuration microbienne du lait. Elle permet d'atteindre de très bas niveaux de contamination. La DLC (dates limites de consommation) est augmenté tout en préservant la typicité organoleptique du lait frais. Paradoxalement, les consommateurs qui n'ont consommé que du lait UHT n'apprécient pas tous ce goût de lait frais, nouveau pour eux.

Laits adaptés aux besoins physiologiques

Les connaissances accumulées sur le lait et les produits dérivés (sérum), l'émergence de nouvelles technologies de séparation, notamment membranaires, le développement de méthodes d'analyse fine constituent autant de facteurs qui ont contribué à la conception et à l'élaboration de laits spéciaux répondant aux exigences nutritionnelles et physiologiques de certains groupes de consommateur : lait 1^{er} âge, lait pour femme enceinte, lait pour personnes intolérantes au lactose, lait hyperprotéiné, lait hypoallergénique.

Ces laits se différencient par leurs teneurs en protéines, le rapport caséines/protéines solubles, de faibles teneurs en lactose et par l'hydrolyse de certaines protéines allergènes.

Laits déshydratés adaptés aux contraintes de l'export

Les laits destinés à l'export sont déshydratés pour réduire les coûts de transport et pour faciliter leur stockage sous différentes conditions climatiques.

Les technologies de **déshydratation** ont beaucoup évoluées pour limiter les altérations qualitatives d'ordre nutritionnel, organoleptique et technologique (aptitudes fromagères) et réduire les coûts énergétiques. En général, la recherche de qualité a primé sur la réduction des coûts.

Les premières installations industrielles étaient basées sur une évaporation en deux étapes :

- une première étape conduite sous vide dans un **évaporateur tubulaire** jusqu'à l'obtention d'un concentré de l'ordre de 50 % d'extrait sec.
- une seconde étape réalisée sur **cylindres à pression atmosphérique**, au cours de laquelle se déroulaient des réactions de Maillard préjudiciables à la qualité du produit (perte de lysine, brunissement, apparition du goût de cuit).

Ces installations ont été rapidement détrônées, à partir des années 70, par les procédés de déshydratation par **atomisation et entraînement à l'air**, pour deux raisons principales : gains de productivité et une amélioration très importante de la qualité nutritionnelle et organoleptique des poudres.

À ses débuts, ce procédé présentait l'inconvénient d'un coût énergétique supérieur de 20 à 30% au séchage sur cylindres. Des **réductions très importantes des coûts énergétiques** ont été réalisées en optimisant la récupération de l'énergie des buées d'évaporation au niveau des évaporateurs sous vide (emploi de thermocompresseur et turbocompresseur). La conception des tours d'atomisation a également évolué au cours des quinze dernières années, induisant des améliorations significatives des propriétés physiques des poudres et de leur aptitude au stockage et à la reconstitution, tout en continuant à diminuer les coûts énergétiques.

LES PRODUITS FERMENTES : DU YAOURT AUX SPECIALITES LAITIERES PROBIOTIQUES

Les laits fermentés sont des produits laitiers issus d'une **fermentation lactique** qui aboutit à l'acidification et à la gélification du lait. Très ancienne (les premiers yaourts dateraient de 10 à 15 000 ans), la fabrication du yaourt a été industrialisée au début du 20^{ème} siècle. Ces produits se sont ensuite largement développés, grâce à leurs caractéristiques organoleptiques agréables : acidité, fraîcheur et onctuosité et à leurs propriétés nutritionnelles.

Le lait fermenté le plus consommé dans les pays occidentaux est le **yaourt**. Réglementairement, il est issu de la seule action des deux bactéries lactiques thermophiles *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*.

De nombreux autres produits sont arrivés sur le marché : laits fermentés probiotiques, laits fermentés de longue conservation (pasteurisés, UHT, lyophilisés ou séchés) et produits « plaisirs » (à boire, à sucer, pétillants ou glacés).

Traditionnellement, c'est le yaourt dit « nature » et ferme qui constituait l'essentiel des productions de laits fermentés. Dans les années 1960-1970, sont apparus les produits sucrés puis aromatisés et aux fruits. Actuellement, ils sont majoritaires sur le marché (60%). L'apparition du **yaourt brassé** a constitué une autre étape importante de la commercialisation des laits fermentés (40% du marché actuel).

Le développement commercial des **produits probiotiques**⁵ est important et correspond à une demande du consommateur.

Enfin, certains estiment que se profile à plus ou moins longue échéance une nouvelle catégorie de produits : des laits fermentés vecteurs de principes actifs à finalité thérapeutique.

Les principales évolutions en fabrication de laits fermentés concernent les aspects microbiologiques et technologiques, tant lors de la fabrication qu'au niveau des produits finis. Elles se traduisent par une amélioration de la sécurité alimentaire, par une meilleure maîtrise de la qualité organoleptiques et une meilleure répétabilité de la production.

⁵ Les probiotiques sont des micro-organismes vivants qui, ingérés en grande quantité, exercent des effets bénéfiques sur la santé.

Une grande diversité de bactéries d'intérêt technologique et biologique

Recherche et sélection de nouvelles souches de microorganismes

Celles-ci ont permis d'élargir considérablement la gamme des produits proposés au consommateur. D'une façon générale, la sélection des souches repose sur des considérations technologiques (vitesse d'acidification, résistance aux bactériophages, croissance à faible activité de l'eau, aptitude à résister aux effets négatifs du procédé), organoleptiques (production d'exo-polysaccharides et de composés d'arômes, faible post-acidification) ou sanitaires (production de bactériocines). Dans le cas des laits fermentés probiotiques, le critère « santé » est également à considérer.

La **sélection de bactéries lactiques** présentant une bonne tolérance à de faibles valeurs d'activité de l'eau (aw) a facilité le développement des **produits sucrés**.

Les bactéries lactiques sont sensibles aux bactériophages, ces « virus » des bactéries qui peuvent provoquer une lyse des cellules. Lors d'une infection phagique, c'est la production entière qu'il convient de détruire, avec une décontamination des locaux et des matériels. Depuis une quinzaine d'années, une meilleure **maîtrise des bactériophages** est effectuée soit en réalisant une rotation des cultures dans l'usine, soit en utilisant des mélanges de souches de parenté phagique différente et dans tous les cas, en appliquant un nettoyage en place efficace.

Certaines **bactéries lactiques**, qui excrètent des polysaccharides dans le lait pendant l'acidification, contribuent à accroître la complexité et l'enchevêtrement du **réseau gélifié** ainsi que sa résistance au cisaillement. Leur emploi est maintenant largement répandu pour la production des **yaourts brassés**, afin de limiter la déstructuration du gel lors des traitements mécaniques et thermiques auxquels sont soumis les yaourts avant conditionnement.

La découverte, dans les années 1990, des **bactériocines** produites par certaines bactéries lactiques justifie leur utilisation croissante en industrie. Ce sont des petits peptides thermostables qui ont un effet inhibiteur sur d'autres espèces bactériennes pathogènes ou contaminantes (telles que *Listeria monocytogenes*). L'utilisation d'espèces bactériennes présentant cette activité antimicrobienne ouvre des perspectives intéressantes pour la conservation des produits issus de la transformation de laits crus.

Enfin, de nouveaux produits mettent en œuvre d'autres espèces ou genres bactériens présentant un caractère **probiotique**. Ces laits fermentés probiotiques présentent une activité positive sur la santé humaine, liée à une survie des bactéries dans le tractus intestinal. Dans ces produits, les microorganismes du yaourt sont associés à d'autres lactobacilles (*Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus johnsonii*) et/ou à des bifidobactéries (*Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium infantis*).

Maîtrise des cultures mixtes

Les ferments industriels ont évolué vers un développement de **cultures mixtes** maîtrisées. La transformation du lait en un lait fermenté nécessite toujours la mise en œuvre d'un mélange de plusieurs souches ou espèces bactériennes. Dans les années 1930, les ferments étaient constitués de mélanges indéfinis de souches d'origine naturelle. Les années 1940 ont vu apparaître les cultures pures de souches bien définies. Puis, ont été développés successivement les ferments lyophilisés à partir de 1950 et les cultures congelées dans l'azote liquide à partir de 1960. La **production de ferments est alors devenue un « métier »** distinct de celui de la fabrication des laits fermentés. Ainsi aujourd'hui, les industriels producteurs de

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 25 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

yaourts ou de laits fermentés peuvent acheter des bactéries adaptées à leur besoin ; les industriels producteurs de ferments lactiques associent diverses souches bien caractérisées et dont les propriétés sont connues, pour constituer le ferment désiré.

Ferments concentrés congelés ou lyophilisés

L'utilisation de ferments concentrés congelés ou lyophilisés constitue la troisième évolution importante dans l'industrie laitière. Historiquement, l'ensemencement des cuves de fabrication était réalisé à partir de plusieurs précultures successives, effectuées dans les cuves inoculum. Ces précultures sont pratiquement abandonnées pour des raisons de répétabilité incertaine, de difficultés de maintien de l'hygiène et de lourdeur de mise en œuvre. Depuis les années 1970, c'est l'ensemencement direct (dans la cuve de fabrication) ou semi-direct (dans la cuve mère) qui est pratiqué. Les ferments sont au préalable produits par fermentation, puis concentrés par centrifugation ou ultrafiltration. Ils sont ensuite stabilisés et commercialisés sous forme congelée (stockage à -40°C) ou lyophilisée (stockage à 4°C). Ils peuvent ainsi être conservés plusieurs mois. Les performances des productions ont été encore améliorées à partir des années 1980, par la mise en œuvre de cultures à pH régulé. Celles-ci permettent d'atteindre des productivités plus élevées, par limitation de l'inhibition par le pH acide, et des ferments de meilleure qualité, notamment en terme de conservation.

Des technologies maîtrisées et sécurisées

Préparation du lait

La préparation du lait a des conséquences majeures sur la qualité du produit. Ainsi, il est maintenant acquis que le chauffage du « mix » (lait + constituants éventuellement ajoutés) a des conséquences sur la texture du yaourt : un **fort traitement thermique** provoque une formation plus rapide du gel et conduit à un réseau protéique plus dense. Celui-ci donnera un **gel plus ferme** et moins poreux, donc moins apte à la synérèse que celui issu d'un « mix » ayant subi un traitement thermique modéré.

En fabrication de yaourt, le lait est maintenant systématiquement standardisé pour sa composition en matières grasses et enrichi en matières protéiques. Ce qui permet de répondre aux spécifications nutritionnelles et organoleptiques (notamment en terme de texture) des produits.

Maîtrise des procédés de fermentation

La maîtrise des procédés de fermentation lactique dépend du type d'application recherchée. Dans le cas de la production des yaourts et des laits fermentés, le contrôle reste assez rudimentaire, même si des progrès importants ont été réalisés. Il consiste essentiellement en un contrôle de la température au cours de l'incubation et du refroidissement et un suivi de la durée de fabrication. La maîtrise des taux d'ensemencement et des rapports de populations est bien acquise. Un suivi du pH est recommandé mais les électrodes de pH usuelles, en verre, sont proscrites pour des raisons de sécurité (casse) et de lourdeur de mise en œuvre (étalonnage, maintenance).

Pour la mesure en ligne du pH en fabrication de yaourt brassé, des variantes sont actuellement à l'étude : usage d'électrodes de pH en céramique, utilisation de sondes de conductivité électrique, mesure de l'élévation de la température du lait (due au métabolisme exothermique des bactéries lactiques). Elles permettent de **suivre en ligne**, de façon indirecte, **l'évolution de la concentration en acide lactique**.

Lorsqu'on se place en amont, dans le cadre de la production des ferments lactiques, un contrôle du pH est couramment réalisé en cours de fermentation afin de limiter les phénomènes d'inhibition liés à l'acidification. Certains industriels vont plus loin dans ce domaine : ils associent un procédé de séparation (par ultrafiltration) à la fermentation, ce qui permet d'éliminer en continu une partie de l'acide lactique formé et d'accroître les rendements cellulaires.

Conditionnement des laits fermentés

Le conditionnement des laits fermentés constitue un autre grand domaine d'évolution technologique, avec le développement de **chaînes de conditionnement entièrement automatisées et aseptisées**. La conduite de la fermentation diffère selon le type de yaourt produit. Elle se déroule soit dans les pots (yaourts fermes), soit dans des tanks de fermentation dont la forme, la taille et l'instrumentation varient (yaourts brassés). Dans les deux cas, la technologie de conditionnement mise en œuvre a fortement évolué pour atteindre un degré élevé d'automatisation : actuellement les lignes de fabrication et de conditionnement les plus efficaces présentent des débits de **50 000 pots par heure**.

La nécessité d'un **refroidissement rapide**, pour stopper la fermentation et limiter l'acidification des produits, a vu apparaître les échangeurs à plaques comme alternative au refroidissement direct dans la cuve de fermentation. Cependant, pour limiter la perte de texture du gel, liée au cisaillement mécanique intense très destructurant, la distance entre les plaques de l'échangeur est plus importante (6 mm) que celle des échangeurs classiquement utilisés.

Les **matériaux d'emballage** ont fortement évolué. Actuellement, les yaourts sont conditionnés soit dans du verre, pour les produits haut de gamme, soit dans un emballage en plastique. Les pots en carton paraffiné ont maintenant pratiquement disparu, après avoir été très populaires au début des années 60. Les matériaux d'emballage en plastique doivent résister à l'acidité, éviter la perte d'arômes et être imperméables à l'oxygène pour empêcher la croissance des levures et moisissures pendant la conservation.

Contrôle qualité

Le contrôle de la qualité des matières premières et des produits finis est maintenant généralisé. Les laits, poudres et préparations de fruits sont systématiquement vérifiés à leur réception, avant d'être introduits dans les lignes de fabrication, en terme de qualité sanitaire (germes totaux, cellules somatiques) et de propriétés technologiques (acidité titrable, température, composition, degré Brix, viscosité...).

La qualité des ferments lactiques est également contrôlée. Cela permet à l'industriel d'atteindre une meilleure reproductibilité des schémas de fabrication en adaptant si nécessaire son taux d'inoculation. C'est le système Cinac (Brevet INRA, 1988) qui est généralement retenu car il permet d'évaluer l'activité acidifiante des ferments, c'est-à-dire leur valeur d'usage.

Enfin, les produits finis sont systématiquement contrôlés d'un point de vue microbiologique (en référence aux normes), mais aussi physico-chimique (matières protéiques, matières grasses, pH, viscosité des yaourts brassés). Des évaluations sensorielles sont parfois conduites.

NOUVEAUX CONCEPTS EN TECHNOLOGIE FROMAGERE

Mécanisation et automatisation en fromagerie

Mécanisation et automatisation sont deux concepts voisins et complémentaires qu'il est indispensable de distinguer.

La **mécanisation** de la fromagerie a consisté à introduire des machines pour réaliser, à la place de l'opérateur ou du fromager, différentes fonctions directement associées à la fabrication : préparation des laits (standardisation, inoculation, maturation...), découpage, brassage du caillé, moulage et salage des pré fromages, circulation des produits au sein des ateliers et opérations d'emballage, de conditionnement et de manutention

L'**automatisation** complète la mécanisation dans la mesure où elle introduit, au moyen de dispositifs numériques et/ou analogiques, la notion d'asservissement, synonyme de contrôle et de régulation de procédé. On distingue 3 types d'automatisation :

- **la régulation** d'une grandeur à une valeur constante ou variable. Par exemple, les températures de thermisation des laits et de coagulation ou d'affinage des fromages sont généralement régulées.
- **l'automatisation séquentielle**, qui consiste à réaliser une opération en enchaînant plusieurs séquences successives, prédéfinies sur une base temporelle ou en vérifiant que certains seuils (mesurés) sont atteints. Typiquement, la coagulation des laits et le travail du caillé (découpe, brassage) correspondent à ce mode de conduite. Celui-ci intéresse également les installations de nettoyage en place dont l'usage est maintenant généralisé sur les sites industriels.
- **le contrôle avancé**, qui consiste à piloter un procédé de façon à optimiser son déroulement en fonction de contraintes et d'objectifs spécifiques. Ce dernier type d'automatisme est encore très peu répandu, voire complètement méconnu, dans les industries fromagères.

Le développement de la mécanisation puis de l'automatisation a rencontré en fromagerie une difficulté supplémentaire qui ne se retrouve pas dans d'autres domaines de l'industrie laitière tels que la production de laits de consommation ou de produits frais. Cette **difficulté est liée au changement d'état** d'une phase liquide (lait) en de nombreux produits individuels semi solides (pré fromages et fromages). La gestion de ce changement d'état et la manipulation de produits divisés (par opposition à la phase continue), intervenant au cœur du procédé de fabrication (et non pas simplement lors du conditionnement), ont nécessité des solutions mécaniques complexes, directement inspirées de la gestuelle du fromager. Parallèlement, les différences entre les technologie fromagères ont **limité la généralisation** des solutions et accru les études à réaliser.

Les développements de la mécanisation et de l'automatisation ont accompagné l'industrialisation de la transformation fromagère ; actuellement, ces méthodes et techniques concernent, à de très rare exception près, l'ensemble des fabrications, y compris les fromages AOC.

Au plan qualitatif, la mécanisation a eu pour effet principal **d'éloigner l'opérateur et le fromager de la ligne de fabrication et des produits**. L'automatisation a renforcé cette

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 28 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

tendance, dans la mesure où elle prend (ou plus modestement aide à prendre) certaines décisions auparavant confiées au fromager ou au maître fromager, décisions que ces derniers prenaient après observation visuelle et/ou manuelle des produits. Toutefois, plusieurs limitations dans l'obtention de mesures pertinentes et exploitables demeurent : les mesures de la fermeté des caillés avant découpe, de l'efficacité de l'égouttage, des transferts de matière lors du salage, de l'acidification interne des pré-fromages restent problématiques, et les décisions associées demeurent basées sur le savoir-faire et parfois sur un certain empirisme.

Les **bénéfices de la mécanisation et de l'automatisation au plan de la qualité sanitaire sont donc évidents**, d'autant que dans le même temps l'hygiène des ateliers (nettoyage en place, ventilation et désinfection des locaux, circulation et protection des opérateurs) a connu des progrès considérables.

Sur le **plan organoleptique**, les conséquences de la mécanisation, associée à certaines évolutions technologiques, en particulier dans la standardisation des laits et des ferments, sont **plus nuancées**. Elles sont très bénéfiques en terme de **régularité** des procédés (rendement fromager) et de qualité des produits (texture, arôme, couleur...), facteur important pour les consommateurs. Par contre, leur contribution est plus **limitée, voire négative, sur le plan de la typicité** des produits ; soit que le standard visé par de nombreux producteurs se soit positionné assez bas, soit qu'il soit difficile de retrouver les particularités des produits haut de gamme recherchés par les consommateurs avertis.

C'est à ce niveau que la fromagerie française se devrait de **progresser**. Bien des espoirs lui sont permis si elle prend en compte les progrès potentiels que vont permettre les connaissances, sans cesse accrues, des écosystèmes microbiens et matrices complexes et des procédés de transformation fromagère dont l'automatisation, à des fins qualitatives, reste un enjeu majeur.

Adaptation de la matière première lait à la technologie : standardisation

La qualité du lait livré à l'usine est variable car sa composition dépend de la saison, de l'état physiologique des vaches, de l'alimentation et de la conduite du troupeau.

Après analyses, beaucoup d'entreprises triaient le lait et l'orientaient vers leurs différents ateliers de fabrication. Malgré ce tri, les responsables d'ateliers devaient souvent adapter les paramètres technologiques, notamment en technologie fromagère.

En raison de la spécialisation des sites industriels et de la mécanisation/automatisation des chaînes de fabrication, il est devenu nécessaire d'adapter la matière première aux exigences et contraintes de la transformation, les paramètres technologiques étant préalablement fixés.

Standardisation physico-chimique

La teneur en **matière grasse** du lait de fromagerie est fixée en tenant compte du rapport « *matière grasse/matière sèche* » du fromage et des pertes de matières grasses dans le sérum, plus ou moins importante selon les technologies⁶.

Traditionnellement, la teneur en **matière grasse** recherchée était obtenue par « **crémage** », ce qui conduisait à une grande dispersion des résultats. Actuellement, on **mélange du lait**

⁶ A titre d'exemple pour la fabrication d'un fromage à 45 % de MG/MS il faut que le lait contienne environ 30g de matière grasse par kg.

écrémé et de la crème (obtenue par centrifugation). Les quantités apportées sont déterminées sur la base de leur teneur en matière grasse.

La teneur en **protéines**, notamment en protéines coagulables, a un rôle déterminant sur la qualité des fromages. Celle-ci est d'autant meilleure que les taux protéiques sont élevés. On peut augmenter les taux en protéines coagulables par **microfiltration** ou en protéines totales par **ultrafiltration**. Les avantages liés à l'emploi de ces techniques sont nombreux : maîtrise des fabrications, régularité qualitative des fromages, augmentation des rendements et des capacités des chaînes de fabrication.

La teneur en **lactose** du lait conditionnera le pH de fin de fermentation (celle-ci peut en effet être stoppée par manque de substrat carboné), dont la maîtrise permet de créer une grande diversité de texture. Le « délactosage » peut s'effectuer en diluant le concentré de lait obtenu par ultrafiltration sur membrane ou en lavant le caillé.

Les autres caractéristiques physico-chimiques à maîtriser sont le **pH** d'emprésurage et la teneur en **calcium ionique** en raison de leur rôle déterminant sur le déroulement de la coagulation et les caractéristiques des coagulum. Leur ajustement constitue un levier important pour corriger les défauts liés à la réfrigération et à la pasteurisation (dont on sait qu'elles diminuent la qualité fromagère des laits). La valeur du pH peut être standardisé par apport de CO₂ ou de gluconolactone (qui s'hydrolyse en donnant de l'acide gluconique), la teneur en calcium ionique par apport de chlorure de calcium.

Standardisation biologique

L'amélioration de la qualité hygiénique du lait, par le respect des bonnes pratiques de traite et la généralisation de la réfrigération à la ferme, s'est traduite par une augmentation du **temps de latence** de la croissance microbienne et par une diminution des vitesses d'acidification. Le ralentissement de la fermentation lactique serait dû à une insuffisance de facteurs de croissance.

Pour y palier, les fromagers procèdent à une maturation froide (10 à 12°C) pendant une dizaine d'heures après ensemencement avec des ferments lactiques. Le lait est ensuite pasteurisé pour limiter les accidents phagiques, puis réensemencé. Cette « **maturation biologique froide** » crée des conditions favorables au déroulement de la fermentation lactique qui est alors conduite dans les conditions optimales de température.

Sécurité hygiénique et typicité des fromages : un défi

La meilleure connaissance des micro-flores intervenant dans la fabrication des fromages et un meilleur contrôle des conditions environnementales dans les processus de fabrication ont permis de maîtriser la qualité hygiénique et d'améliorer les qualités organoleptiques des produits.

Qualité hygiénique

L'organisation du travail, l'établissement de cahiers des charges stricts sur les matières premières (lait, eau, ferments...), l'amélioration de la conception des équipements et des locaux et l'amélioration des pratiques contribuent à une plus grande maîtrise de la qualité hygiénique.

Les **normes hygiéniques** imposées au niveau de la production du lait ont permis de réduire considérablement les teneurs en microorganismes (de l'ordre de quelques milliers de bactéries par ml). Ces teneurs peuvent encore être réduites par les traitements technologiques

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 30 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

d'épuration (microfiltration ou pasteurisation) : ces laits « paucimicrobiens » doivent être réensemencés et les risques de **perte de typicité** ne sont pas négligeables, y compris dans les produits au « lait cru ».

La **mécanisation** de la fromagerie a éloigné le personnel du produit, ce qui est positif du point de vue sanitaire. Par contre, les fromagers se privent de l'appréciation des opérateurs qui pouvaient intervenir sur les conditions de fabrication. D'importants investissements dans le domaine de l'**aéraulique** ont permis de diminuer les aéro-contaminations, en particulier par les spores de champignons filamenteux. La maîtrise du **séchage de surface des locaux** et des fromages (en évitant les condensations) a permis des améliorations significatives aux niveaux hygiénique et organoleptique. L'**affinage sous film** permet de protéger le produit des contaminants indésirables mais conduit à des produits différents des produits traditionnels.

La généralisation des méthodes HACCP et le développement des méthodes basées sur l'amplification de séquences nucléotidiques, spécifiques pour le suivi des flores pathogènes, vont contribuer à réduire les risques hygiéniques. Des **flores antagonistes** de flores pathogènes sont aujourd'hui mises en œuvre.

Qualités organoleptiques :

Le consommateur souhaite des produits typés tout en exigeant la sécurité hygiénique. Préserver de la typicité tout en sécurisant les produits est l'un des défis lancé à l'industrie fromagère.

Les progrès réalisés dans le domaine de l'**analyse sensorielle** ont été décisifs pour améliorer les qualités organoleptiques des fromages. Les techniques d'analyse descriptive quantitatives permettent de décrire objectivement et quantitativement la qualité organoleptique d'un produit avec un jury entraîné. Les préférences sont estimées en faisant recours à des panels de consommateurs « naïfs ».

L'utilisation de **ferments sélectionnés**, dont le métabolisme est mieux connu, a permis de maîtriser nombre des caractéristiques des fromages : texture, aspect, couleur et arôme. Mais les techniques pasteurienne sont peu efficaces pour l'étude d'écosystèmes complexes des fromages. Empirisme et savoir-faire restent dominants, ce qui constitue un **frein à la formulation microbiologique raisonnée** des fromages. Aujourd'hui de nouvelles techniques moléculaires de caractérisation de fragments d'ADN spécifiques, telles que la SSCP (Single Strand Conformation Polymorphism), ouvrent de nouvelles possibilités de suivi simultané de plusieurs espèces présentes dans un fromage.

La meilleure connaissance des transformations (physico-chimiques et biologiques) prenant place au cours de la fabrication des fromages et l'émergence de nouvelles technologies (ultrafiltration, diversité des agents microbiens) élargissent les possibilités de création de nouveaux produits. On peut citer les fromages à **pâtes solubilisées** dont la fabrication intègre une opération de « délactosage » : la remontée du pH, l'attaque des acides gras et des acides aminés par les microflore, la production d'arômes sont plus rapides du fait de la carence en lactose et lactate dans le lait. La texture des produits est plus souple les temps d'affinage réduits.

En conclusion, les exigences hygiéniques de la filière laitière et la meilleure maîtrise des flores microbiennes ont permis d'améliorer simultanément la sécurité et la qualité des fromages (plus grande diversité offerte au consommateur, plus grande régularité des produits). Mais il **reste difficile de reconstituer l'écosystème microbien des fromages au**

« **lait cru** », d'autant que la typicité de certains produits pouvait dépendre de flores indésirables.

Un nouveau concept : le pré-fromage liquide

La première étape de la transformation du lait en fromage est la coagulation du lait par déstabilisation de la phase colloïdale, par acidification ou action de la présure. La coagulation se déroule en fin d'acidification dans le cas des fromages frais, avant acidification dans le cas des fromages de type pâtes pressées et en cours d'acidification en technologie pâte molle. Le coagulum formé, on procède au brassage ou découpage pour favoriser l'expulsion du sérum.

Un nouveau concept basé sur la préparation d'un pré-fromage liquide a été introduit vers les années 70 (procédé MMV du nom des auteurs Maubois –Mocquot – Vassal) ;

Le procédé et ses avantages

Le pré-fromage liquide est obtenu par **ultrafiltration** du lait écrémé ou standardisé en matière grasse. La technique met en œuvre des membranes semi-perméables qui permettent la réduction volumique d'un facteur 2 à 7 avec élimination d'eau, du lactose et d'une partie des sels minéraux et des petites molécules solubles. Le concentré, appelé rétentat, a une composition proche d'un certain nombre de fromages.

Le pré-fromage est ensuiteensemencé et emprésuré. Après coagulation, on obtient un fromage nécessitant ou non un complément d'égouttage selon le degré de concentration obtenu lors de l'ultrafiltration. Les étapes ultérieures sont très semblables à celles d'une technologie traditionnelle. Il y a toutefois une différence importante par rapport aux technologies traditionnelles : l'acidification se déroule après réduction de la teneur en eau ce qui a des **conséquences sur la composition du fromage et sur ses caractéristiques rhéologiques**.

Les avantages de ce procédé sont nombreux :

- Amélioration des rendements, du fait de la rétention maximale des protéines solubles, pouvant atteindre 25 % dans certaines applications.
- Diminution de la quantité de présure nécessaire à la coagulation (économie de 50 à 80 %).
- Mise en continu et simplification du procédé fromager.
- Conditionnement direct dans l'emballage pour certains fromages.
- Automatisation facilitée.
- Modularité des équipements et ajustement du dimensionnement à la production.
- Possibilité de report du pré-fromage par congélation ou déshydratation et par conséquence possibilité de délocalisation de la fabrication fromagère.

Incidences de la technologie sur la qualité des fromages

L'impact de la technologie sur les qualités organoleptiques des fromages dépend du type de fromages :

Fromages frais et fromages blancs (pâtes fraîches, FETA, Queso blanco, quark ...)

La qualité nutritionnelle est améliorée en raison d'une **plus grande teneur en calcium** des produits : la concentration est réalisée au pH du lait, avant acidification, pH auquel 75 % du calcium est associé aux protéines, d'où sa rétention dans le pré-fromage.

Mais l'acidification se déroulant dans un concentré protéique très minéralisé, et donc dans un milieu tamponné, la production d'acide lactique nécessaire à la diminution de pH est plus importante ; il en résulte une **acidité et une astringence plus prononcées** préjudiciables à la qualité des fromages de type pâte fraîche ; dans ce cas la technologie a été modifiée : l'acidification du lait est réalisée avant la concentration par ultrafiltration qui se déroule alors à pH 4,6.

Pâtes pressées non cuites et demi-cuites

Les qualités sensorielles des produits sont différentes : pâtes plus longues, plus gélatineuses, plus collantes et déficit de saveur du fait du ralentissement de l'affinage (du à une plus grande résistance à l'hydrolyse enzymatique des protéines solubles - en plus grande quantité dans ces produits- et à une réduction de la lyse des levains, du fait du fort pouvoir tampon).

Pâtes molles stabilisées à croûte naturelle

La technologie pré-fromage présente un certain nombre d'avantages :

- teneur plus élevée en calcium.
- possibilité de réduire les teneurs en lipides du fait d'une texture plus onctueuse.
- texture fine et de bonne tenue dans le temps.
- saveur de bonne intensité modulable par la flore d'affinage de surface.

Cette technologie a fait le succès d'un certain nombre de fromages dont l'« archétype » est le « pavé d'Affinois » mis au point en 1982.

En dépit de ces nombreux avantages, cette technologie ne peut pas se substituer aux technologies traditionnelles. Mais elle permet la **création de nouveaux produits** apportant de la **valeur ajoutée** au fabricant et **des bénéfices qualitatifs** au consommateur.

DE LA CREME AU BEURRE TARTINABLE

Pendant longtemps l'utilisation de la matière grasse butyrique est restée limitée à la fabrication de la crème, du beurre et de quelques produits dérivés. Avec l'évolution des besoins, des techniques et des réglementations, de nouveaux produits sont apparus, s'appuyant sur des technologies innovantes et permettant de répondre au mieux aux exigences de qualité des consommateurs et des transformateurs.

L'écémage, une opération mieux maîtrisée

Quelle que soit l'utilisation de la matière grasse, celle-ci est d'abord séparée du lait au cours de l'opération d'écémage qui donne deux produits: le lait écémé et la crème. L'écémage repose sur la différence de masse volumique entre les globules gras (0,93) et la phase aqueuse ou lait écémé (1,036). Les pratiques industrielles et artisanales ont évolué d'un écémage spontané (encore utilisé parfois dans des petites fromageries artisanales) vers un écémage centrifuge.

L'écémage spontané consistait à abandonner le lait dans un récipient large, en couche mince (de 10 à 15 cm) à une température de 8 à 14 °C. Après un repos de 12 à 24 heures, la crème

montée en surface est ramassée à l'aide d'une louche plate. L'écémage centrifuge est réalisé dans une **centrifugeuse-écémuse**. Même si cette technique est connue depuis 1880, elle s'est particulièrement sophistiquée pour permettre le travail à façon. L'opération est rapide, continue et assure le **passage dans la crème de la quasi-totalité de la matière grasse**. Ce mode d'écémage permet d'accroître le rendement, d'effectuer une épuration du lait (boues d'écémuses) et surtout d'améliorer le délai de traitement du lait, avec moins de manipulations humaines, ce qui a permis d'**améliorer la qualité hygiénique**.

La pratique de cet écémage, ainsi que l'adaptation industrielle de pratiques culinaires ont contribuées à l'apparition de nombreux produits industriels :

Les crèmes de consommation

Il en existe plusieurs formes, variant selon leur teneur en matière grasse, le traitement subi, le mode de conservation et la réglementation propre à chaque pays. On peut cependant distinguer:

- la crème légère ou crème allégée: contenant entre 10 et 20 pour cent de matière grasse,
- la crème (normale), contenant au moins 30 pour cent de matière grasse. Elle peut être fluide ou épaisse, douce ou maturée,
- les crèmes fouettées: ce sont des crèmes foisonnées par incorporation d'air. La crème Chantilly est une crème fouettée sucrée avec au moins 15 pour cent de saccharose,
- les crèmes sous pression: elles sont conditionnées dans des récipients métalliques étanches avec du protoxyde d'azote qui assure leur foisonnement.

Les crèmes de transformation et crèmes de beurrerie

Les crèmes destinées à la transformation, notamment à la fabrication du beurre, subissent divers traitements de préparation. Ces traitements sont destinés à améliorer les conditions technologiques et économiques et la qualité des produits fabriqués. Ils ont profité des dernières innovations technologiques :

- le dégazage : la pasteurisation est souvent accompagnée d'un dégazage qui permet d'éliminer les saveurs et odeurs dues à des substances volatiles d'origine alimentaire (choux, ail, etc.), fermentaires ou autres. Cette opération se fait par évaporation à chaud sous vide ou à l'air libre en même temps que la réfrigération.
- la maturation physique et biologique : les propriétés de la matière grasse butyrique et, par suite, celles du beurre (notamment sa consistance) dépendent à la fois de la composition des glycérides et des conditions thermiques. La maturation physique a pour but d'amener la matière grasse, compte tenu de sa composition et de l'état de fusion et de solidification de ses constituants, dans un état de cristallisation partielle permettant de conférer au beurre la consistance voulue. La maturation biologique permet d'acidifier la crème et de produire des substances volatiles caractéristiques du beurre.

Le beurre, des fabrications sur mesure

La fabrication du beurre consiste en la destruction de la suspension globulaire et en une inversion de phase, accompagnées d'une séparation de la plus grande partie de la phase non grasse (babeurre). Alors que le lait est une émulsion du type grasse dans eau, le beurre est une émulsion du type eau dans grasse. Pour obtenir cette émulsion, la crème subit un barattage.

Le procédé classique repose sur l'agitation de la crème maturée refroidie dans une baratte. Cette méthode, discontinue, provoque la formation de mousse où s'accumulent les globules gras. Lorsqu'il y a soudure entre les globules gras plus ou moins éclatés et que la grasse est libérée, la mousse tombe brusquement avec formation de grains de beurre qui grossissent sous l'action de l'agitation. Cette technologie, pratiquée encore de nos jours, a majoritairement été remplacée par une méthode en continue utilisant un « butyrateur ».

Le procédé le plus utilisé repose sur le même principe que dans la fabrication classique et une machine constituée de deux cylindres:

- un cylindre de barattage maintenu vers 9-10 °C à l'intérieur duquel tourne à grande vitesse (de 2 000 à 3 000 tours/minute) un batteur. La formation du grain de beurre se fait instantanément
- un cylindre de malaxage incliné dans lequel tombe le mélange de grains de beurre et de babeurre. Dans ce cylindre tournent lentement, et en sens inverse, deux vis d'Archimède qui compriment le beurre et le conduisent au travers de filières d'où il sort sous forme d'un ruban pouvant immédiatement aller à l'emballage.

Ce procédé permet d'appliquer la **méthode NIZO** (organisme hollandais qui l'a mise au point), majoritairement utilisée en France avec près de 90% de la production nationale. Elle consiste à injecter, lors du malaxage du beurre, un mélange de ferments lactiques ainsi que d'arôme. Les beurres sont fabriqués de façon continue, en réduisant les temps de maturation et de préparation.

Ses avantages sont les suivants :

- meilleure maîtrise des caractéristiques physico-chimiques et de la qualité organoleptique.
- production de beurres de qualité constante avec des caractéristiques sensorielles standardisées.
- possibilité de traiter des crèmes douces non maturées.
- obtention d'un co-produit dont les caractéristiques sont proches de celles d'un lait écrémé, plus stable et plus facile à valoriser que le babeurre issu du barattage de crème maturée.

Cette technique a contribué à réduire ces 20 dernières années les non-conformités de beurre pour des raisons de composition physico-chimique (teneur en eau essentiellement), pour des raisons bactériologiques (coliformes) ainsi que pour défaut de goût.

Les produits allégés

Il s'agit de produits à teneur réduite en lipides.

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 35 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

Leur fabrication fait appel à une technologie et à des équipements perfectionnés. Sa difficulté réside dans l'obtention d'une émulsion du type eau dans huile et dans la stabilité de celle-ci. Pour y parvenir, on mélange à la matière grasse des agents capables de fixer des quantités importantes d'eau, à savoir des lactoprotéines (babeurre concentré, caséinates). Il est en outre nécessaire d'apporter des agents émulsifiants, stabilisants et texturants. En raison de leur teneur élevée en eau (supérieure à 40 pour cent), ces produits sont **très sensibles aux altérations d'origine microbienne**. Il est donc indispensable de mettre en œuvre des moyens permettant d'éviter les contaminations et le développement des germes éventuellement présents.

Ces produits représentent une réponse à des besoins de consommation. Ils permettent de répondre aux **exigences nutritionnelles** de la population et des pouvoirs publics qui demandent une réduction des apports lipidiques totaux à moins de 35% des apports énergétiques journaliers, tout en gardant certaines habitudes culinaires (tartines beurrées, cuisine au beurre,...).

Les techniques de séparation et de fractionnement et l'alimentation des animaux permettent également de proposer sur le marché des produits qui répondent à des **préoccupations « santé »** liées à l'alimentation avec des beurres appauvris en cholestérol, enrichis en oméga 3 ou en phytostérol, etc...

Les produits tartinables

Les observations faites sur les différences de caractéristiques rhéologiques entre des « beurres d'été » et des « beurres d'hiver » sont à mettre en relation avec leurs variations de composition. Les « beurres d'été » présentent en moyenne des teneurs en acide oléique supérieures à 23 % et palmitique inférieures à 30 %, alors que les « beurres d'hiver » contiennent en général moins de 23 % d'acide oléique et plus de 30 % d'acide palmitique.

L'idée s'est donc imposée que pour produire toute l'année des beurres ayant des caractéristiques de texture données il fallait maîtriser ce rapport entre acides gras saturés de type palmitique et acides gras mono-insaturés de type oléique. Ceci peut être réalisé par la technologie de **crystallisation fractionnée des lipides**. Elle consiste à faire fondre l'ensemble des triglycérides de la M.G.L.A. (Matière Grasse Laitière Anhydre) de façon à la rendre liquide, puis à la refroidir par paliers en séparant ensuite par filtration ou centrifugation, la phase solide, recristallisée, de la phase liquide. Les phases solides dites « stéarines » sont plus riches en acides gras saturés à longue chaîne et les phases liquides dites « oléines » plus riches en acides gras saturés à courte chaîne et insaturés à longue chaîne.

La maîtrise de la cristallisation fractionnée et la recombinaison des fractions appropriées conduit à des produits ayant des caractéristiques intermédiaires entre celles des « beurres d'été » et des « beurres d'hiver ».

C'est ainsi en particulier que sont élaborés les beurres dits « frigo-tartinables ». Ils répondent à des demandes des consommateurs qui souhaitent concilier **facilité d'emploi** et pratiques de conservation, ainsi qu'à des demandes industrielles afin de disposer de matières premières faciles à mettre en œuvre industriellement (pâtisseries, glaciers...).

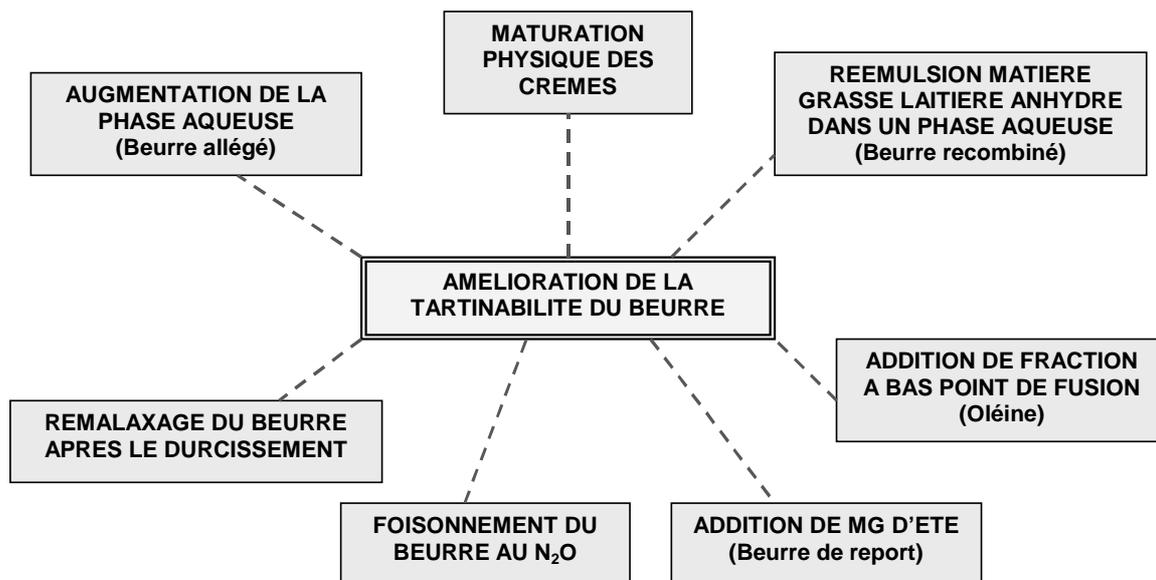


Figure 1 : Amélioration technologique de la tartinabilité.

Les produits gras déshydratés

Ce sont des produits obtenus à partir de beurre dont on a extrait la quasi-totalité du non-gras (eau et matière sèche dégraissée). On distingue plusieurs produits selon leur niveau de pureté :

- matière grasse laitière anhydre (MGLA) : 99,8% de MG.
- matière grasse butyrique ou huile de beurre (MGB) : 99,3 % de MG.

On obtient ces produits selon deux procédés :

- le procédé indirect consiste à faire fondre du beurre à une température maximale de 80 °C. Le produit subit ensuite une double centrifugation, puis est traité dans un évaporateur pour compléter l'extraction d'eau. L'huile est ensuite refroidie vers 30 °C et conditionnée. Afin de limiter les risques d'oxydation, la conservation se fait généralement sous azote.
- dans le procédé direct, on part d'une crème à 35-45 pour cent de matière grasse que l'on centrifuge de façon à obtenir une crème concentrée à 75-80 pour cent ou plus de matière grasse. La déstabilisation en beurre est réalisée par un traitement mécanique tel que l'homogénéisation. L'huile de beurre obtenue est chauffée vers 90 °C, puis déshydratée par centrifugation et/ou évaporation.

Ces produits ont l'avantage de se **conserver plus facilement** que le beurre du fait de leur très faible teneur en eau. Ils peuvent facilement se conserver environ 24 mois si ils sont stockés correctement (température inférieure à 10°C). Ils représentent une forme facilement exportable et permettent des durées de transport conséquentes. Ils trouvent une utilisation importante dans la préparation du lait et des produits laitiers recombinaés, ainsi que dans la plupart des préparations alimentaires industrielles.

Parmi les produits déshydratés, nous pouvons également citer le **beurre en poudre** dans lequel, pour améliorer la conservation, le non-gras est remplacé par du saccharose additionné d'un émulsifiant (lécithine) et d'un fluidifiant (citrate trisodique). Sa conservation doit se faire également sous azote. Il représente un produit facilement entreposable et exportable.

DES COPRODUITS AUX INGREDIENTS FONCTIONNELS

Les coproduits générés par les principales transformations laitières (lactosérum – babeurre – lait écrémé – ultrafiltrat ...) représentent environ 40 % de la matière sèche du lait transformé, les plus importants étant les lactosérum de fromagerie (500 M T de matière sèche).

Jusque vers les années 70, certains de ces produits étaient considérés comme « sous-produits » ; ils étaient soit rejetés dans la nature (épandage) soit consommés par les animaux en particulier les porcs. L'intensification de la production et le développement de l'industrie laitière à la fin des années 60 ont conduit à l'implantation d'unités de transformation traitant de gros volumes de lait ; le traitement industriel des coproduits de fromagerie et de beurrerie s'est alors imposé. Nous avons donc assisté au développement d'une activité de produits industriels dont la finalité première était de dégager des produits encombrants de par leur volume, leur charge organique et leur instabilité ; le séchage par atomisation est alors apparu comme la solution la plus appropriée pour les stocker, distribuer et utiliser en formulation alimentaire notamment en alimentation animale. Ces poudres de lactosérum, de babeurre voire de lait écrémé ont constitué la **première génération des produits laitiers industriels**.

Le premier choc pétrolier de 1972 ayant entraîné une augmentation importante du coût énergétique a eu des répercussions sur l'activité du secteur des produits industriels déshydratés sachant que le séchage par atomisation consomme beaucoup d'énergie (1 kWh par kg d'eau). Sous l'impulsion de la Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique (DGRST), différents programmes de recherche sur la valorisation des lactosérum de fromagerie furent mis en place à cette époque. La séparation des constituants est alors apparue rapidement comme un moyen de générer de la valeur ajoutée ; les connaissances acquises dans le domaine de la physico-chimie des protéines du lait et l'émergence de nouvelles techniques de séparation (ultrafiltration et microfiltration tangentielle - échanges d'ions ...) ont permis d'aboutir rapidement à la conception et au développement de nouveaux procédés de concentration sélective et de purification des protéines du lait. **Une seconde génération de produits a vu le jour** : Concentré de protéines de lait (MPC : milk protein concentrate) – concentrés de protéines de sérum de 30 à 90 % de pureté (WPC : whey protein concentrate) – isolat de protéines de sérum à plus de 95 % de pureté (WPI : whey protein isolate) - caséines – caséinates – phosphocaséinates natifs (PPCN)... Ces bases protéiques sont exploitées soit pour leurs propriétés nutritionnelles soit pour leurs propriétés technologiques.

Les connaissances acquises d'une part sur les mécanismes de texturation et de stabilisation des systèmes dispersés (mousse – émulsions) et d'autre part sur les relations entre les structures des protéines et leur fonctionnalité ont contribué à concevoir des traitements de nature physicochimique, thermique, enzymatique qui permettent de fonctionnaliser les bases protéiques ; ainsi sont développés des ingrédients fonctionnels de nature protéique aux propriétés texturantes, gélifiantes, filantes, moussantes, émulsifiantes, fromagères ... ; nous avons mentionné précédemment que dans le domaine de la matière grasse des procédés de fractionnement ont été développés pour améliorer la fonctionnalité des beurres (oléine – stéarine) et les adapter à leur usage (pâtisserie – viennoiserie). Ces ingrédients technofonctionnels **constituent la troisième génération**.

La maîtrise des séparations moléculaires associées éventuellement à des procédés d'hydrolyse enzymatique a permis d'envisager à l'échelle industrielle d'isoler des protéines (β caséine – α lactalbumine – lactoferrine – lactoperoxydase ...) ou de produire et purifier des fractions peptidiques de protéines diverses (caséinomacropéptide – phosphopeptides – casomorphine ...); ces protéines et fractions peptidiques présentent des propriétés biologiques (transport – antihypertensive – antithrombotique – immunostimulante – antistress..) dont certaines sont déjà exploitées ; ces ingrédients biofonctionnels représentent **la quatrième génération**.

La concentration des protéines des sérums par ultrafiltration génère un coproduit **l'ultrafiltrat** qui contient essentiellement du lactose et des minéraux dont notamment du citrate et phosphate de calcium.

Les sels calciques peuvent être insolubilisés par chauffage et isolés par centrifugation ou filtration ; ce calcium d'origine laitière est utilisé en formulation alimentaire.

Le lactose est extrait par cristallisation ; l'ultrafiltrat est concentré par évaporation jusqu'à 60 % de matière sèche puis refroidi lentement pour favoriser la formation de gros cristaux qui sont ensuite séparés par centrifugation. Le lactose est utilisé dans la préparation des aliments 1^{er} âge et en pharmacie mais, de par sa faible solubilité et faible pouvoir sucrant, son utilisation en alimentaire est limitée ; de nombreux travaux ont été entrepris sur la recherche de nouvelles valorisations du lactose par voie enzymatique, microbienne et chimique ; de nombreux produits issus du lactose sont sur le marché : glucose –galactose, galactose, lactulose, lactitol, acide lactobionique, acide lactique, éthanol, lactosylurée Ces différents constituants sont destinés soit à l'alimentation animale et humaine soit à l'industrie pharmaceutique.

DE L'EMBALLAGE AUX LINEAIRES

Au cours des cinquante dernières années, plusieurs évolutions lourdes sont apparues dans le secteur de l'emballage des produits laitiers.

En ce qui concerne le lait, l'apparition de la « **brique** » est sans conteste la grande révolution qui **a transformé le mode distribution** du lait en France. Les briques sont composées de plusieurs matériaux complexes (carton et polyéthylène, avec de l'aluminium dans certaines structures). Elles se sont imposées pour les laits traités thermiquement. Le lait stérilisé UHT conditionné en Brique est aujourd'hui le plus largement distribué en France, même s'il ne s'est pas imposé partout en Europe et dans le monde, où le lait pasteurisé conditionné en bouteille de polyéthylène reste bien positionné, surtout en Amérique du Nord. Les principaux atouts de ce conditionnement sont le prix, le poids, le transport aisé des bobines ou des briques prédécoupées et les qualités barrières de l'emballage (lumière, gaz, liquides). Ces propriétés ont conduit au remplacement progressif des conditionnements en verre ou en matière plastique. Les récentes **contraintes environnementales** conduisent à repenser la structure et le poids des emballages de lait et à définir des modes performants de valorisation (surtout le recyclage). Plusieurs procédés ont été expérimentés et des centres de retraitement des emballages ont vu le jour en France, ces dernières années.

Dans le domaine des **produits frais**, deux matériaux se sont principalement imposés : le polypropylène et le polystyrène. L'un et l'autre possèdent l'avantage d'un faible coût de transport comparé aux matériaux plus classiquement employés pour les yaourts, comme le verre.

- Le **polystyrène (PS)** est très largement utilisé dans le secteur des yaourts en raison de sa **thermoformabilité sur ligne** juste avant remplissage et son exceptionnel rapport rigidité/épaisseur. L'étiquette participe cependant largement à la résistance à la compression verticale des pots, ce qui permet des gains de poids importants. Les travaux des concepteurs de thermoformeuse et des fabricants de matière plastique devraient encore permettre un **allègement des pots** actuels par une meilleure maîtrise de la répartition des épaisseurs après thermoformage.
- Le **polypropylène (PP)** s'impose quant à lui pour les yaourts à boire et pots préformés ou injectés. Avec le développement du nomadisme, les **yaourts à boire** en bouteille PP, en stick (complexes pastiques) ou en gourde (complexes métallisés ou non) ont fait une percée remarquable dans le marché, notamment auprès des jeunes. Ce marché en croissance donne sans doute quelques orientations pour l'emballage de demain de ce type de produits. Pour répondre aux attentes des consommateurs adeptes du repas structuré, les équipes marketing des principales entreprises s'orientent vers les **pots en PP** en raison de leur **transparence** et la possibilité d'accroître la hauteur du packaging par injection d'un pot avec pied. La limite de ce procédé réside dans le transport des emballages vides vers l'industriel utilisateur ce qui augmente le coût, comparé au PS thermoformable sur ligne.

Dans le domaine des **fromages frais**, la **barquette thermoformée et operculée** s'est assez largement imposée pour des raisons marketing et techniques. Cet emballage fait une large place au polystyrène (PS), au polyéthylène (PE) ou au polypropylène (PP) mais peut également se présenter sous forme de complexes PE/PA/PE, PVC/PE, PET/PE ou encore PA/PVC/PE (PA=polyamide ; PET=polyester ; PVC=polychlorure de vinyle). Le nombre de matériaux et la structure de l'emballage dépendent essentiellement de la durée de conservation recherchée et du positionnement en gamme du fromage frais. Dans ce secteur aussi, le consommateur demande un maximum de **liberté dans son mode de consommation**. Les **fromages frais de poche** se multiplient et il s'agit là d'une tendance lourde qui s'amplifiera certainement dans l'avenir. De nouveaux emballages à **ouverture facile**, adaptés au goûter des enfants ou au déjeuner familial itinérant devraient voir le jour dans les années à venir faisant une large place aux coques plastiques rigides ou semi-rigides.

Les matériaux traditionnellement employés pour les **fromages à pâte molle** utilisent le papier comme film support mais leur structure peut être très variable en fonction du niveau de gamme souhaité (prix), de l'impact marketing recherché (biologique, traditionnel, ...). Une structure d'emballage s'est imposée durant les dernières années et apparaît comme très difficile à détrôner malgré de nombreuses innovations issues des centres de recherche et développement des fabricants d'emballage. En effet, les fromages à pâte molle et à croûte fleurie ont des besoins assez complexes en terme d'emballage car, pour prolonger leur conservation, les besoins physiologiques de la flore doivent être respectés. Ainsi, un minimum de **respiration** doit être rendu possible pour éviter la mort de la flore et la déviation de l'affinage. En plus du contrôle des **échanges gazeux** entre le fromage et l'environnement, les **échanges de vapeur d'eau** doivent, eux aussi, être maîtrisés. Les fromages à pâte molle ont une forte teneur en eau qui implique une tendance naturelle à en céder à l'environnement et donc à perdre du poids. Il faut donc permettre les échanges de gaz tout en limitant les pertes de vapeur d'eau. Pour les marques leaders, **le film est souvent constitué de deux feuilles** d'emballage contrecollées. Un papier paraffiné est au contact du produit, lui-même

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 40 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

contrecollé à un film plastique (pellicule cellulosique ou PP) imprimé. La pellicule cellulosique est souvent considérée comme répondant mieux que le PP aux besoins des fromages en raison de sa capacité de rétention d'eau ; cependant, la concurrence faite par le polypropylène est rude en raison d'un coût plus faible. Enfin, le fromage emballé est placé dans une **boîte bois** qui s'est imposée pour les marques leaders en raison de l'aspect naturel et traditionnel du produit.

Dans le cas des **fromages à pâte molle prédécoupés** (pointes de brie ou portion de camembert), l'emballage doit être **plus étanche** que dans le cas de produit entier en raison du risque accru d'oxydation et de déshydratation au niveau de la tranche. L'**aluminium** est alors largement employé en dépôt sur le papier.

En conclusion, on remarque que dans le cas des produits laitiers une très large place est laissée à l'innovation et des nouveaux concepts packaging apparaissent très fréquemment sur le marché. **Le lait et les produits laitiers doivent pouvoir être emmenés n'importe où et consommés simplement.** Parallèlement, une large place est laissée à la tradition et certains concepts sont inaltérables car le consommateur recherche l'authenticité et les produits naturels. Ces deux approches et attentes du consommateur, concernant l'innovation et la tradition, conjuguées à la recherche permanente de la sécurité des aliments, font du secteur laitier un des secteurs les plus dynamiques dans le domaine de l'emballage alimentaire.

III - DES PRODUITS ADAPTES AUX ATTENTES DES CONSOMMATEURS

Les attentes des consommateurs ont beaucoup évolué au cours des dernières décennies. L'offre a considérablement augmenté, pour mieux répondre à ces attentes, au point qu'ils ont parfois du mal à choisir entre tous les produits qui leur sont proposés. La conception de ces derniers doit non seulement satisfaire une demande en produits sains (c'est une priorité), bons pour la santé, typés et faciles à acheter, à conserver et utiliser, et pour un prix accessible, mais aussi prendre en compte la composante culturelle de l'alimentation marquée par l'histoire, l'éducation, les symboles et les religions.

L'évolution de ces attentes a des répercussions tout au long de la filière.

DES EXIGENCES PARFOIS DIFFICILES A CONCILIER

TRADITION, TYPICITE ET SECURITE

Les procédés traditionnels et les produits qui en sont issus sont garants, aux yeux de nombreux consommateurs, de toute innocuité. Le maintien de la tradition, au niveau des systèmes de production ou des procédés de transformation, ne suffit plus à préserver la typicité des produits traditionnels car les écosystèmes microbiens des matières premières, de l'environnement, des lieux de production et de transformation ont changé avec les mesures d'hygiène qui ont été prises pour réduire les risques microbiologiques. Celles-ci, en effet, ne permettent pas d'éliminer les flores indésirables tout en préservant les flores utiles. On observe de ce fait une évolution des caractéristiques des produits, d'autant plus que la typicité de certains produits était parfois l'œuvre de flores pathogènes.

La typicité des produits traditionnels et le maintien de procédés ancestraux sont souvent difficiles à concilier avec les exigences hygiéniques qui nous permettent de limiter les risques

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 41 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

alimentaires. Il est cependant possible d'allier tradition et progrès technique et scientifique pour satisfaire les attentes du consommateur.

FRAICHEUR ET LONGUE CONSERVATION

Les consommateurs aiment les produits frais qu'ils considèrent comme garants d'authenticité, d'innocuité et de qualité nutritionnelle et organoleptique. Mais souhaitant s'affranchir des contraintes de gestion des produits périssables, ils recherchent en même temps des produits de longue conservation.

Un produit frais est en effet un produit dans lequel on a préservé l'essentiel de son potentiel biologique, enzymatique et microbien et de ses valeurs nutritionnelles (vitamines, acides aminés indispensables). Sans stabilisant ni conservateur, il est instable et subit des évolutions microbiologiques, enzymatiques et physico-chimiques ; c'est donc un produit altérable.

Par contre, une longue conservation implique l'inactivation totale des microorganismes et des enzymes par des traitements de stabilisation qui, dans la plupart des cas, altèrent la qualité nutritionnelle et organoleptique.

La longue conservation est donc difficile à concilier avec la notion de fraîcheur.

UNE OFFRE ADAPTEE

Les connaissances et la maîtrise des technologies acquises au cours des dernières années permettent de répondre en partie aux attentes qualitatives des consommateurs tout en prenant en compte les aspirations sociétales qui ont émergé au travers des crises successives qui ont ébranlé l'ensemble de la chaîne alimentaire.

UNE FILIERE ET DES PRODUITS SECURISES

Le lait, facteur de mortalité infantile au début du siècle dernier, a été un vecteur d'épidémie d'origine virale et bactérienne. En particulier, le bacille de KOCH, d'origine bovine, fût responsable d'un très grand nombre de tuberculose chez les enfants. La contamination du lait était provoquée par les déjections animales ou par l'air confiné des étables. De nos jours, et en dépit de la fragilisation de la « filière lait » par les crises des *Listeria*, et de la dioxine, les consommateurs placent les produits laitiers parmi les aliments les plus sûrs et les plus sains, en raison de leur caractère naturel et de leur authenticité. La maîtrise de la qualité des produits s'est imposée pour des raisons économiques et sanitaires.

La **qualité hygiénique du lait**, au cœur des préoccupations de tous les acteurs de la filière, dépend de l'état sanitaire des animaux et des personnes qui se trouvent à son contact, de la conduite de la traite et de la qualité des équipements mis en oeuvre, de la qualité de l'air ambiant et des conditions de stockage.

L'état sanitaire des animaux est aujourd'hui bien maîtrisé : la tuberculose, la brucellose et la fièvre aphteuse ont été éradiquées. Les problèmes auxquels les producteurs sont confrontés sont essentiellement liés aux **infections de la mamelle**.

La **mécanisation de la traite** a contribué à protéger le lait des contaminations extérieures et à **améliorer la qualité hygiénique** à partir du moment où les producteurs ont disposé d'équipements faciles à nettoyer et à désinfecter et que le matériel était bien entretenu. A ses débuts, elle a eu des effets négatifs car le stress généré par le vide fragilisait la mamelle et

favorisait le développement des mammites (augmentation des cellules somatiques, contaminations par des staphylocoques). L'amélioration des équipements et la prise en compte du nombre de cellules dans les critères de paiement du lait ont contribué à réduire les « laits de mammité ».

La **réfrigération** du lait à la ferme qui s'est généralisée vers les années 70 a constitué un **pas considérable** dans la maîtrise de la qualité des laits

S'il se produit des contaminations chimiques du lait au niveau de la production, elles peuvent avoir plusieurs origines :

- les résidus phytosanitaires ou chimiques présents dans l'alimentation des vaches (fongicide, pesticides, aflatoxines, dioxine, plomb...).
- les antibiotiques utilisés dans le traitement des mammites, mais ces laits ne sont pas collectés.
- les produits de nettoyage et de désinfection du matériel de traite et les insecticides utilisés dans les locaux.

Les contaminants peuvent être aéroportés et piégés par la matière grasse du lait ou transités par l'animal bien que le rumen ait la capacité de dégrader un certain nombre de ces résidus organiques. Sous la pression économique, et les risques de pénalité dans le cas de non conformité, les producteurs sont de plus en plus nombreux à s'être engagés dans une démarche qualité.

L'amélioration de la qualité hygiénique des laits pourrait en contre partie favoriser l'implantation des flores pathogènes par disparition de « **barrières** » s'opposant au développement des flores indésirables, mais les effets protecteurs de certains écosystèmes jouent par ailleurs cet effet barrière. Il existe toujours néanmoins un risque de contamination et développement de flores pathogènes, ce qui nécessite une certaine prudence.

Le **transport du lait** de la ferme à l'usine a également été sécurisé pour empêcher toute action malveillante ; les citernes disposent de verrouillage automatique ou sont sous scellés.

Les laits, à l'exception de ceux destinés à la fabrication de certains AOC, sont traités thermiquement, à la réception, pour détruire les flores pathogènes, en général thermosensibles. Dans le cas du lait de consommation et des laits destinés à la fabrication des yaourts, des pâtes fraîches et de certaines pâtes molles l'intensité du traitement thermique est telle qu'il n'y a plus de risque. Par contre, les laits destinés à la fabrication des fromages **pâtes pressées et pâtes pressées cuites** ne peuvent pas être soumis à des traitements thermiques intenses en raison de l'incidence du chauffage sur les propriétés fromagères. On limite alors les risques de développement des pathogènes en se plaçant dans des conditions d'activité de l'eau a_w et de pH peu propices au développement microbien. Dans le cas des **fromages pâtes molles au lait cru**, cas où le milieu reste favorable à un développement bactérien, il est impératif de prendre le maximum de précaution tout au long de la filière.

La **microfiltration tangentielle** est une alternative aux traitements thermiques. Elle permet d'obtenir plusieurs réductions décimales de microorganismes de façon athermique. Mais cette technique est contestée par ceux qui considèrent comme dommageable d'éliminer toutes les cellules microbiennes et somatiques qui auraient, selon eux et en raison de leur potentiel enzymatique, un rôle déterminant dans le déroulement de l'affinage et la typicité des fromages.

La mise en oeuvre de technologies d'épuration thermique ou athermique limite les risques. Dans le cas des pâtes molles, il demeure toutefois indispensable d'éviter les post-contaminations au contact des matériaux ou des opérateurs. Les **mesures d'hygiène dans les ateliers** sont draconiennes. Une première démarche, visant à une asepsie absolue, s'est avéré irréaliste. De plus, la colonisation microbienne des ateliers et des matériaux peut conduire à la formation de « biofilms » qui limiteraient le développement des flores pathogènes. La sécurité hygiénique dans les ateliers semble devoir davantage reposer sur la **maîtrise des écosystèmes microbiens** que sur l'asepsie.

Quoiqu'il en soit, il est malheureusement clair que toutes les mesures d'hygiène et d'épuration microbienne (thermique ou athermique) contribuent à réduire le potentiel biologique (microbien et enzymatique) du lait dont le rôle dans la typicité des produits est déterminant.

On peut donc craindre que la première priorité accordée à la sécurité des produits, sur laquelle tous les acteurs de la filière lait s'accordent à juste raison, conduise inexorablement à une perte progressive de notre patrimoine fromager ; à moins que les chercheurs n'arrivent à lever ce paradoxe. Voilà un beau défi lancé à la recherche publique et professionnelle.

DES PRODUITS BONS POUR LA SANTE

La consommation du lait et des produits laitiers exerce de nombreux effets bénéfiques sur la santé pour les principales raisons suivantes

- **richesse en calcium** : le calcium, sous forme de phosphate ou de phosphocaséinate, accroîtrait la densité osseuse et limiterait en conséquence l'ostéoporose. Elle aurait également des effets protecteurs sur les caries dentaires et l'hypertension.
- importance des **populations microbiennes** (laits fermentés et fromages) : la présence d'une forte quantité de microorganismes aurait un rôle déterminant sur l'implantation et l'activité de la flore intestinale et exercerait un effet favorable sur le métabolisme du cholestérol et sur la prévention des cancers du colon (en limitant la formation de carcinogènes d'origine microbienne) ; cependant, bien des incertitudes restent à lever.
- richesse en **acide gras linoléique conjugué** (laits fermentés et fromages) dont les effets protecteurs de certains cancers semblent établis.
- présence de **peptides et glycolipides** dont les nombreuses activités biologiques restent à préciser.

De nombreuses études sont en cours pour comprendre et exploiter les propriétés nutritionnelles et physiologiques du lait et dérivés. Plusieurs entreprises ont développé des produits fermentés qui auraient des propriétés immunostimulantes et de « bien-être » grâce à leur composition particulière en probiotiques et en certains « bioconstituants » du lait.

Mais certains individus ne « supportent » pas les produits laitiers, du moins quelques uns d'entre eux, pour les deux raisons suivantes : intolérance au lactose par déficience en lactase et allergie aux protéines du lait. La consommation de ces produits peut également leur être déconseillée en raison de leur taux de cholestérol trop élevé ou de leur hypertension, alors que l'on sait que ce n'est pas le cholestérol alimentaire qui participe à la synthèse du cholestérol sanguin.

L'industrie laitière a développé des produits adaptés à ces contraintes nutritionnelles et physiologiques.

Les personnes intolérantes au lactose peuvent trouver des laits partiellement ou totalement **dé lactosés** par des technologies enzymatiques (galactosidase) ou des procédés physiques (ultrafiltration, diafiltration). La consommation de fromages affinés reste possible car le lactose est dégradé en totalité au cours de l'affinage. Dans les produits fermentés par des bactéries thermophiles (tels que les yaourts) la dégradation du lactose n'est que partielle mais ces produits sont bien tolérés car la lactase produite au cours de la fermentation hydrolyse le lactose résiduel lors de l'ingestion des produits. Des études sont en cours pour faire exprimer chez les mammifères le gène de la lactase, mais la voie génétique n'est pas nécessairement la solution dans la mesure où il existe des procédés faciles à mettre en oeuvre dans les usines.

L'**allergénicité** aux protéines du lait serait essentiellement due aux protéines solubles, en particulier la β lactoglobuline. On sait diminuer le caractère allergène du lait par élimination des protéines solubles par microfiltration et reconstitution d'un lait ne contenant que la fraction protéique de nature caséinique, par dénaturation des protéines par la chaleur ou par hydrolyse enzymatique. Les allergènes ne disparaissant pas au cours de l'affinage des fromages ; on pourrait en fabriquer à partir de laits reconstitués sans protéines solubles, mais les coûts sont rédhibitoires. La β lactoglobuline étant absente du lait humain, on peut également envisager d'inhiber sa synthèse chez les ruminants.

La **teneur en cholestérol et en acides gras saturés à longue chaîne** (aux propriétés athérogènes) du lait constitue un frein à la consommation des produits laitiers. On peut réduire de manière significative la teneur en ces acides gras saturés par apport d'herbe, de graines de lin ou d'huile végétale dans l'alimentation des bovins. L'intégration de graines de lin dans la ration est exploitée pour augmenter les teneurs en acides gras $\omega-3$. L'industrie laitière a développé des produits « maigres » ou à faibles teneurs en lipides dont les qualités organoleptiques sont satisfaisantes : le remplacement partiel ou total des lipides du lait par de la matière grasse végétale partiellement hydrogénée est possible dans un certain nombre de spécialités laitières.

La nature et concentration des **éléments minéraux** peuvent être également modifiées par voie technologique : les industriels savent préparer des laits enrichis en calcium, en magnésium et en oligo-éléments ou appauvris en sodium.

En dépit des avancées de l'industrie laitière, on ne sait et on ne saura pas, sauf à transformer les vaches en femmes, reconstituer du **lait humain à partir du lait bovin**, soit par ce que les structures moléculaires ou supra-moléculaires des protéines et des globules gras sont différentes, soit parce qu'on ne trouve pas dans le lait bovin certains des éléments du lait maternel tels que des oligo-saccharides dont l'impact sur le transit et la flore intestinal est important.

DIVERSITE ET TYPICITE

Un des atouts de l'industrie laitière française est un savoir-faire hérité de très nombreuses générations de tradition fromagère et enrichi, au cours des ans, par le progrès de la technologie. Les consommateurs français, attachés à une alimentation de terroir, sont parfois critiques vis à vis d'une filière dont ils dénoncent les soucis de productivité au dépens de la qualité. Et il est vrai que l'intensification de la production laitière et l'industrialisation ont eu des répercussions sur les caractéristiques du lait et des produits transformés, sans que les critères de qualité aient été affectés car il faudrait les objectiver pour l'affirmer.

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 45 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

Les principales évolutions ayant eu un impact sur les caractéristiques des produits sont les suivantes :

- le contexte de production : depuis la mise en place des quotas en 1984, le nombre de producteurs est passé de 500 000 à 120 000 et le rendement par vache de 3800 à 5800 litres /an.
- les caractéristiques du lait, notamment la flore microbienne : l'écosystème microbien a été radicalement modifié par les exigences hygiéniques.
- le contexte industriel : les industriels ont cherché, par souci de qualité et de productivité, à mécaniser et automatiser leur production.
- l'essor de la grande distribution : avec le développement des marques distributeurs, elle a exercé une pression de plus en plus forte sur tous les acteurs de la filière en cherchant à faire baisser les prix.
- les contraintes réglementaires : les normes en matière d'hygiène sont de plus en plus difficiles à respecter et rendent nécessaires des modifications permanentes des modes de production et fabrications.
- l'impact des médias sur le comportement des consommateurs : le moindre événement relatif à l'alimentation est médiatisé et les conséquences sur les marchés immédiates.

Dans ce contexte, arriver à préserver la typicité des produits est devenue « mission impossible ». Aussi, est-ce en cherchant à « décortiquer » les procédés traditionnels de fabrication et à comprendre les mécanismes physico-chimiques et biologiques de ces typicités qu'une synthèse pourra se faire entre les contraintes technico-économique d'une agriculture et d'une industrie modernes, les exigences en matière de sécurité alimentaire et le maintien de la typicité des produits français.

La connaissance des mécanismes impliqués dans l'élaboration des textures des fromages ont permis d'identifier les leviers technologiques qui permettent d'adapter la texture aux attentes du marché. En ce qui concerne les aspects gustatifs et olfactifs qui font la typicité des produits, la problématique est un plus difficile à appréhender car ils sont l'aboutissement d'un enchaînement de réactions enzymatiques et microbiennes. On a évoqué à plusieurs reprises dans ce rapport que les exigences hygiéniques ont eu pour effet de réduire le potentiel biologique (cellulaire, microbien et enzymatique) du lait et de son environnement dont le rôle sur la typicité des produits est déterminant. Il faut donc **reconstituer des écosystèmes microbiens** par ensemencement de différentes espèces et souches microbiennes produites en fermenteur : ces microorganismes sont sélectionnés pour leurs propriétés acidifiantes (fermentation lactique et propionique) ou pour leurs capacités à dégrader les substrats lipidiques et protéiques en vue de la formation de substances aromatiques.

On dispose en France dans des laboratoires industriels et de recherche publique des **collections** probablement uniques au monde qui ont été alimentées à partir de prélèvement sur des produits ou dans des ateliers de fromagerie. L'industrie laitière a donc à sa disposition un matériel d'une qualité exceptionnelle qu'il faut continuer à **valoriser et exploiter** pour créer de la diversité et typicité. Des actions sont entreprises en ce sens depuis quelques années dans le cadre de la constitution au niveau national d'un réseau de collections de microorganismes. Le développement de la **génomique**, post-génomique et **protéomique** est aujourd'hui une priorité si on veut accélérer la classification et approfondir la caractérisation métabolique de toutes ces souches afin de les exploiter dans les meilleures conditions. L'essentiel n'est pas

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 46 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

nécessairement de retrouver les produits traditionnels, avec leurs qualités et leurs défauts, mais de préserver la diversité et de ne pas tomber dans l'uniformité ; il ne faut toutefois pas négliger les **flores microbiennes endogènes**, même si leur niveau de population est faible, et certains **constituants mineurs du lait** qui sont spécifiques de zones géographiques et/ou de systèmes d'élevage et dont le rôle dans la **typicité des produits** est déterminant.

A l'aide des techniques analytiques permettant d'établir des **empreintes** caractéristiques de produits issus d'une **zone géographique**, on dispose d'indicateurs objectifs permettant d'argumenter et de défendre la notion de terroir, dans ses dimensions géographiques, historiques et culturelles, qui contribue à préserver des territoires et des ressources naturelles auxquels sont attachés beaucoup de consommateurs.

SERVICE ET PRATICITE

Les innovations concernant les produits et les conditionnements dans le but d'améliorer la conservation des produits et de faciliter les tâches domestiques ont été nombreuses ces dernières années.

- **conditionnement** : crème et beurre en aérosol qui permet d'obtenir instantanément des produits foisonnés, système d'ouverture et de fermeture des briques de lait UHT, beurrier, conditionnements individuels, emballages ludiques...
- **produits-services** : produits prêts à l'emploi ou rapidement élaborés (desserts lactés, crèmes foisonnées, portions individuelles...) ; ces produits sont souvent des systèmes multiphasiques thermodynamiquement instables: les connaissances relatives à la physico-chimie et à la thermodynamique des systèmes dispersés ont permis de définir les technologies et la nature des ingrédients aux propriétés d'interface ou texturantes permettant d'obtenir une bonne stabilité dans le temps et aux contraintes mécaniques et thermiques ; un certain nombre de ces ingrédients sont issus du lait ou des lactosérum.
- **produits pour la restauration** (restauration rapide, cuisine centralisée...) et la fabrication des **plats cuisinés** : fromages et ingrédients fromagers à **usage culinaire**. La part des fromages ou bases fromagères mis en oeuvre dans l'élaboration des plats cuisinés étant de plus en plus importante, tous les industriels cherchent à répondre à ces nouveaux besoins.

PREOCCUPATIONS SOCIETALES

Les consommateurs sont attachés à la notion de terroir, dans ses dimensions géographique, humaine et culturelle. Ils exigent plus de « naturalité » et d'authenticité et refusent une évolution technique qui se ferait au détriment de la qualité de l'espace rural et du travail qui s'y accomplit, du bien-être des animaux et de l'environnement. Grâce aux produits AOC, aux filières « Bio » et aux produits « montagne », la profession laitière, a su personnaliser des produits auxquels sont attachés les consommateurs. La pérennité de ces produits implique le développement de **méthodes et techniques d'authentification**.

Les producteurs de lait aspirent à plus de **temps libre et à de meilleures conditions de travail**. Toute la filière doit tenir compte de cette demande pour réussir à pérenniser une production de qualité. En ce qui concerne la traite, plusieurs stratégies sont envisagées selon

Attention ! Ce rapport est un document de travail qui n'engage ni l'Académie des 47 Technologies, ni l'Académie d'Agriculture de France

la taille des exploitations et les objectifs technico-économiques : robotisation conduisant à 4 ou 5 traites par jour ou la suppression d'une traite, le week-end ou sur plusieurs semaines en fin de lactation.

Des études sont en cours pour apprécier les conséquences économiques et les répercussions de ces évolutions sur la qualité du lait et le bien-être des vaches. On sait qu'il serait possible d'augmenter la production laitière pendant les périodes à deux traites à l'aide d'une hormone de croissance, la **somatotropine**, mais celle-ci est interdite en Europe, au contraire des Etats-Unis et de certains pays de l'est où elle est très utilisée

DEMAIN, DE NOUVEAUX LAITS ?

Le lait est un aliment bien adapté aux jeunes mammifères, s'il provient de sa mère ! La composition des laits variant selon les espèces, il n'est pas conseillé à un jeune mammifère de consommer du lait provenant d'une autre espèce sans en avoir modifié la composition. L'adaptation, par voie technologique, du lait d'une espèce à une autre espèce, n'étant que partielle, les laits destinés aux jeunes enfants élaborés à partir du lait de vache n'ont plus le droit à l'appellation « **laits maternisés** ». Il n'est pas impossible que l'on puisse, par transgénèse, faire produire par une chèvre ou une vache un « lait humanisé » dont les caractéristiques protéiques et glucidiques pourraient être identiques à celles du lait de femme ; mais la fraction lipidique restera différente car les profils d'acides gras du lait des ruminants dépendent de l'activité microbienne du rumen.

Le lait est une matière première utilisée pour sa capacité à créer des textures de nature lipoprotéique au sein desquelles se déroulent des réactions biologiques. Il est déjà possible d'élaborer une multitude de produits, mais les spécialistes considèrent qu'on est loin d'avoir exploité toutes les potentialités technologiques et biologiques des **laits des différentes espèces et races**. Pour y parvenir, il sera indispensable d'acquérir une meilleure connaissance des constituants mineurs de nature protéique, glycoprotéique et glycolipidique et de l'organisation supramoléculaire des éléments dispersés (micelles de caséines et globules gras) qui varient selon les espèces et qui conditionnent les propriétés technologiques et biologiques. Les outils de la biologie moléculaire, la génomique et postgénomique nous permettront probablement de produire des laits mieux adaptés aux contraintes de la transformation. Ne peut-on concevoir des laits à finalité fromagère, à finalité beurrière... ?

Le lait est un **gisement de molécules d'intérêts** technologique et biologique dont on maîtrise les procédés d'extraction et de purification. Si certaines molécules trouvaient des applications médicales importantes, il faudrait alors peut-être envisager de sur-exprimer les gènes correspondants. Une autre approche, en cours de développement, est de faire produire par la vache ou la chèvre des molécules d'origine humaine pour des applications thérapeutiques (facteurs 8 et 9 pour les hémophiles, hormone de croissance, lactoferrine...).