

Les mousses laitières

De la cuisine à l'usine

Catherine Schorsch

Résumé	L'article détaille la fabrication des mousses laitières industrielles. Le principe de la formulation, c'est-à-dire l'adéquation avec les procédés utilisés, ainsi que celui de la stabilisation, basé sur la stabilité des interfaces et sur la rhéologie de la phase continue, sont rappelés.
Mots-clés	Mousses laitières, procédé, homogénéisation, foisonnement, formulation, stabilité des interfaces, rhéologie de la phase continue.
Summary	Dairy mousses: from kitchen to factory Production of dairy mousses is described. The article details the basis for formulation in adequation with the process and the solutions for stabilisation, related to interfaces and bulk rheology.
Keywords	Dairy mousses, process, homogeneisation, aeration, formulation, stability of interfaces, bulk rheology.

Mousses alimentaires : tradition et modernité

Intérêt des mousses alimentaires

Les œufs montés en neige et la crème Chantilly constituent deux exemples bien connus de mousses préparées de manière artisanale depuis des générations. Très tôt, nos anciens ont tiré profit de l'introduction de bulles d'air par battage au fouet, respectivement dans l'albumine du blanc d'œuf et dans la crème laitière, pour confectionner des préparations originales, toujours bien appréciées.

Les produits laitiers et les œufs ne constituent d'ailleurs pas les seuls milieux aérés utilisés pour leurs applications alimentaires. D'autres exemples d'introduction d'air dans une préparation culinaire doivent être cités. C'est le cas du pétrissage des pâtes à pain et de la préparation de génoises pour les biscuits. L'addition ultérieure de levain ou de poudres levantes permet d'augmenter les quantités de gaz, et d'adapter leur cinétique de formation, pour augmenter le volume et aérer la structure lors de la cuisson. Les boissons moussantes et pétillantes aussi, de la bière au champagne, utilisent la fermentation des sucres pour générer des gaz *in situ*.

L'aération des produits alimentaires apporte des propriétés sensorielles particulières, tant par la texture du produit que par la cinétique de libération des arômes qu'elle provoque.

Avec le développement industriel des mousses, les fabricants ont mis au point des gammes très complètes de systèmes foisonnés, de structure et de texture variées, pour offrir au consommateur un éventail de produits, toujours plus innovants tant sur le plan organoleptique que nutritionnel. Organoleptique d'abord car la présence de bulles, plus ou moins décelables par le consommateur, permet de modifier très significativement la texture en bouche du produit et

apporter ainsi des différenciations intéressantes. Nutritionnel ensuite car, à l'heure actuelle, les consommateurs demandent des produits plus « sains » – moins de gras, moins de sucre... – et plus « naturels », tout en préservant leur goût. Les mousses apportent ainsi des opportunités commodes de dilution des aliments. En augmentant le volume, c'est-à-dire le taux de foisonnement (voir chapitre sur le foisonnement et la note (1)), sans augmenter parallèlement l'apport calorifique, elles sont très intéressantes dans la lutte engagée contre l'obésité partout dans le monde.

Bref rappel : définition et caractéristiques d'une mousse

Par définition, une mousse est une **dispersion homogène de bulles de gaz dans une phase continue** aqueuse (ex : boisson gazeuse), grasse (ex : mousse au chocolat) ou émulsionnée (ex : mousse laitière). Les mousses peuvent être classées selon des critères différents, selon leurs propriétés physiques, morphologiques et leur stabilité.

La distinction mousse liquide/mousse solide est la plus évidente (*figure 1*) : elle est directement liée à l'état physique de la phase continue. Les mousses solides proviennent généralement de mousses liquides « transformées », soit par un simple changement d'état ou de phase de la matrice (ex : par congélation dans le cas des crèmes glacées), soit par une réaction chimique irréversible (ex : pontages lors de la cuisson des œufs en neige pour préparer les meringues).

La différenciation morphologique des mousses ensuite, typiquement bulles sphériques/bulles hexagonales, coïncide sensiblement avec la distinction mousse humide/mousse sèche, dans la mesure où elle est étroitement liée à la fraction volumique de gaz Φ contenue dans la mousse.

Enfin, la stabilité constitue un critère pratique de classification des mousses liquides particulièrement important. Sans entrer dans les détails de l'évolution d'une mousse au cours du temps, une différence notable apparaît entre des mousses

« durables » et des mousses « éphémères ou transitoires ». Les mousses de bière ou de champagne, qui ne persistent que respectivement quelques minutes et secondes, sont des exemples de mousses éphémères. A l’opposé, certaines mousses laitières, stabilisées par des macromolécules, ont une durée de vie devant atteindre plusieurs semaines. Les fourrages pâtisseries doivent atteindre des stabilités de plusieurs mois.



Figure 1 - Quelques exemples de mousses alimentaires liquides et solides. a) et b) : mousses liquides ; c) mousse solide.

Les enjeux de l’industrialisation des mousses

Par essence, une mousse se trouve toujours dans un état métastable, c’est-à-dire instable sous l’angle thermodynamique. Sa pérennité n’est donc assurée qu’en utilisant des « subterfuges » physico-chimiques (stabilisation de l’interface et/ou gélification de la matrice par le biais de la formulation que nous expliciterons dans la dernière partie de l’article) adaptés aux technologies utilisées (foisonnement, cycle pression/détente, température...). Cette adaptation des formulations aux technologies ne fait que retarder le retour à l’équilibre, c’est-à-dire à la démixtion de la phase gazeuse qui conduit à l’affaissement de la mousse.

Les mousses sont donc des produits fragiles. Alors que les produits artisanaux sont généralement consommés tout de suite après leur fabrication, les produits industriels, qui se sont développés rapidement avec l’évolution de notre mode de vie, doivent d’abord pouvoir être stockés et transportés en

gardant leur stabilité initiale. A titre d’exemple, les mousses laitières sont particulièrement sensibles à la rupture de la chaîne du froid et aux chocs mécaniques, c’est-à-dire au tassement lors du transport. La stabilité des mousses doit être adaptée à la durée de vie des produits, incluant les durées de stockage chez les fabricants, les distributeurs et les consommateurs.

L’enjeu consiste aussi à mettre au point une formule « robuste », c’est-à-dire dont les caractéristiques finales ne sont pas trop sensibles aux variations de la formulation – la composition laitière changeant avec les saisons – et des paramètres du procédé, afin de fabriquer simultanément un produit de façon reproductible et de bonne stabilité dans le temps.

Les formules allégées en matière grasse, de plus en plus privilégiées par le consommateur, sont plus difficiles à stabiliser. Comme nous le verrons par la suite, il faudra en effet trouver des molécules capables de se substituer aux globules gras pour stabiliser les interfaces des bulles de gaz.

Pour baisser les prix de revient, les produits industriels doivent enfin avoir une meilleure aptitude au foisonnement. Les formulations artisanales doivent donc nécessairement être adaptées pour obtenir simultanément une meilleure aptitude au foisonnement et une plus grande stabilité.

En résumé, l’industrialisation des mousses introduit des contraintes supplémentaires, que nous détaillerons.

Les mousses laitières : du lait aux desserts lactés

Principe de fabrication

Par définition, les mousses laitières sont toujours des préparations à base de lait (figure 2), utilisé tel quel ou reconstitué, dans lesquelles sont incorporés des gaz.

De plus en plus, l’industrie alimentaire tend à diversifier son offre. Outre les traditionnelles mousses au chocolat, avec ou sans crème chantilly, elle fabrique à présent des mousses à base de yoghurt, de fromage frais, avec ou

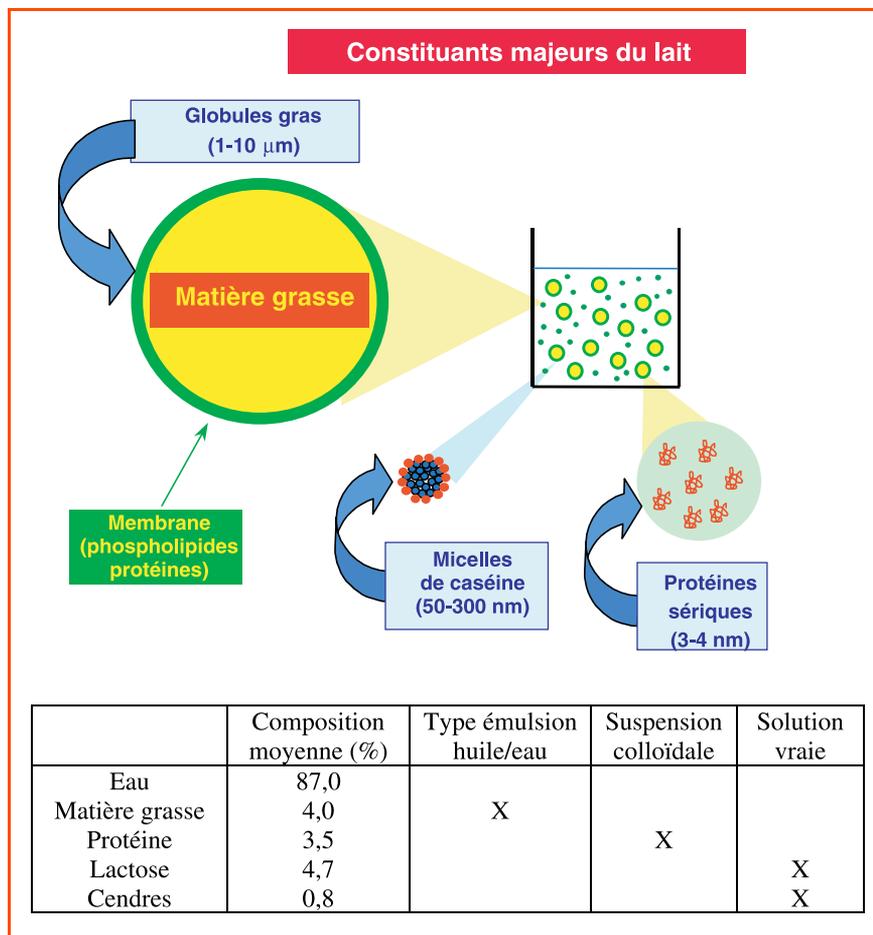


Figure 2 - Le lait, une émulsion particulièrement stable...

Tableau I - Exemple de formulation type (cas d'une mousse au chocolat).

Ingrédients	% dans la recette finale en poids
Crème à 40 % de matière grasse	14,0-15,0
Sucre	10,0-14,0
Poudre de cacao	5,0
Lait écrémé en poudre	4,0
Alginat	0,4-0,6
Carraghénane	0,25-0,35
Ester d'acide lactique de mono et diglycérides	0,5
Lait entier	jusqu'à 100 %

sans fruits... La variété des produits proposés résulte directement de l'origine et de la diversité des matières premières, ainsi que des différences des taux de matière grasse introduits... Les crèmes glacées constituent un type particulier de mousses laitières. Ce sont des mousses « solides », du fait de la présence des cristaux de glace qui contribuent à la stabilisation des bulles de gaz. Elles contiennent jusqu'à 50 % d'air en volume.

La fabrication de ces mousses part toujours d'une émulsion, en général de type huile/eau. Les globules gras sphériques du lait ou de la crème sont d'abord dispersés dans une phase aqueuse ou matrice, contenant des protéines laitières (solubles comme les caséines, et insolubles comme les lactoglobulines), et des additifs (agents de texture et/ou tensioactifs), de nature et à des concentrations différentes. Les mousses laitières industrielles actuelles contiennent systématiquement des protéines (présentes en tant qu'ingrédient principal dans le cas du lait ou additionnées) qui jouent le rôle « d'agents foisonnants ». Elles contiennent simultanément des agents « gélifiants » qui contribuent à figer la phase continue. Jusqu'à ces dernières années, c'est essentiellement la gélatine qui était utilisée à cet effet.

Ces émulsions sont foisonnées ultérieurement par addition de gaz, de l'azote de préférence, afin de produire mousse au chocolat, crème fouettée ou mousse de fromage...

Formulation des mousses laitières : quels ingrédients ?

Le tableau I illustre un exemple de formulation type de mousse laitière. La composition des mousses fait la distinction entre les matières premières de base et les additifs ou auxiliaires de formulation.

Les matières premières de base

Les principales matières premières utilisées dans les formulations de mousses laitières sont les suivantes :

- sources d'extrait sec dégraissé lactique, pouvant provenir de différentes sources lactées telles que le lait frais, concentré ou en poudre...
- sucres, principalement du saccharose,
- matières grasses, initialement d'origine laitière mais aussi d'origine végétale depuis peu,
- cacao et chocolat,
- fruits et dérivés,
- œufs et ovoproduits ; le jaune d'œuf, outre son pouvoir colorant, contient la lécithine, un bon agent émulsionnant et le blanc d'œuf contient

l'albumine, un excellent agent moussant qui permet d'améliorer le foisonnement du mélange.

Les principaux additifs

Les additifs utilisés doivent figurer dans une liste de produits autorisés nommément désignés. Les émulsifiants, les épaississants et les gélifiants en sont les plus déterminants.

- **Les émulsifiants** sont en général à forte solubilité dans la matière grasse, tels que les mono- et diglycérides d'acides gras (E471) ou les esters lactiques de mono- et diglycérides d'acides gras (E472b).

- **Les épaississants et gélifiants** sont ajoutés pour augmenter la viscosité de la phase aqueuse continue. A l'exception de la gélatine, ces additifs sont essentiellement des polysides. Il s'agit d'amidon, de farines de guar ou de caroube, de dérivés d'algues (carraghénanes ou alginates), de pectines, de gomme xanthane...

Protéine d'origine animale, la gélatine est obtenue par dénaturation du collagène. Elle possède des fonctions multiples (gélifiante, épaississante, émulsifiante, liante), inégalées à ce jour par les remplaçants potentiels. C'est pourquoi la gélatine, dans ces fonctions essentielles, reste difficile à remplacer malgré la suspicion dont elle fait l'objet après les risques d'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) et malgré son interdiction dans certains pays pour des questions religieuses.

- **Les autres additifs (acidifiants, colorants, arômes)** sont introduits dans les formulations des mousses laitières pour modifier ou renforcer certaines propriétés (colorants), ou pour corriger le pH du milieu (acidifiants). Les correcteurs d'acidité sont par exemple l'acide citrique et certains sels tels que les citrates de sodium ou de calcium.

Procédé de fabrication d'une mousse laitière

Les étapes successives de fabrication d'une mousse laitière sont décrites dans la figure 3. En fait, le procédé se

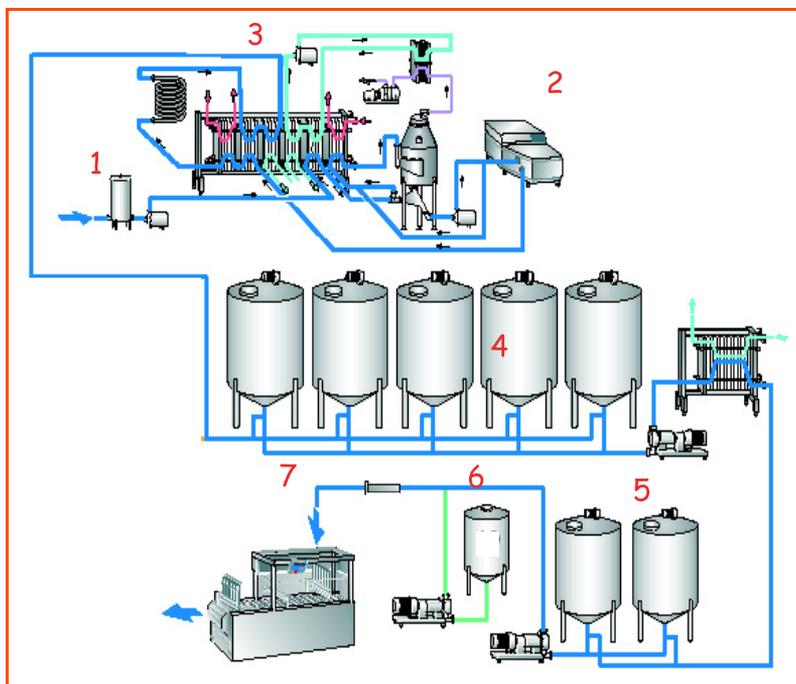


Figure 3 - Exemple de procédé type de fabrication de mousses laitières. Étapes : 1) poudrage (dispersion des différents ingrédients à l'état de poudre et/ou sous forme liquide) ; 2) homogénéisation ; 3) pasteurisation/stérilisation puis réfrigération ; 4) maturation ; 5) foisonnement ; 6) addition d'une préparation de fruits ; 7) conditionnement puis stockage.

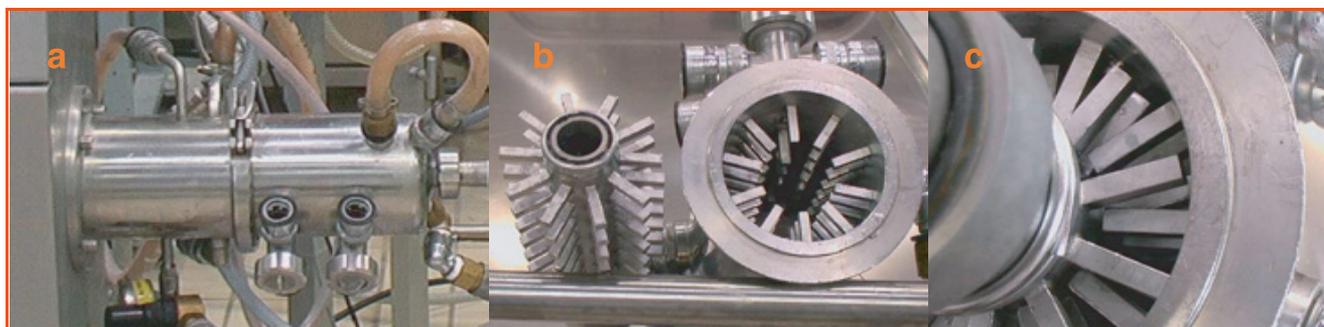


Figure 4 - Photos de la tête de foisonneur Mondomix : a) vue globale ; b) éléments rotor et stator démontés ; c) rotor et stator imbriqués.

résume en deux grandes phases, dont nous ne précisons que les étapes critiques :

- d'une part, la préparation du mélange, appelé « mix » (1)
- et d'autre part, la transformation du mix en mousse et/ou en crème glacée (2). C'est la phase de foisonnement. Elle vise l'incorporation de gaz dans le mix. Dans la fabrication des crèmes glacées, elle coïncide avec l'étape de surgélation (abaissement de la température à cœur du produit pour augmenter la viscosité de la phase continue).

Le détail de ces étapes se trouve dans un chapitre d'un ouvrage à paraître prochainement [1]. Les deux phases principales (1 et 2) sont séparées par une étape d'attente, dite de « maturation du mix », indispensable à l'obtention d'un produit de qualité.

L'homogénéisation, étape critique de la préparation du mix

L'homogénéisation du mix se pratique par passage du mélange laitier gras à travers une valve, à une pression de l'ordre de 150 à 250 bars. Les globules gras du lait ou de la crème sont toujours à l'état de gouttelettes sphériques de triglycérides, enveloppées d'une membrane protéique qui assure la stabilité de l'émulsion. Dans le lait frais, les globules ont un diamètre de l'ordre de 1 à 10 μm et la surface développée par cette membrane est d'environ 70 m^2/L . L'étape d'homogénéisation transforme l'émulsion laitière initiale, grossière, en une émulsion plus fine (diamètre des globules gras 0,4-1 μm). La performance de cette étape est liée à la fois à l'équipement et aux conditions opératoires. L'addition de molécules tensioactives (principalement protéines laitières et émulsifiants) est nécessaire à ce stade pour stabiliser les nouvelles interfaces eau/huile ainsi créées (voir ci-après).

Le foisonnement, phase clé de la fabrication d'une mousse laitière

Le foisonnement est l'opération unitaire clé pour la production des systèmes aérés. Il a pour but d'augmenter le volume apparent du produit en y piégeant de fines bulles de gaz. Le volume de gaz dispersé est en général caractérisé par le taux de foisonnement (30 à 50 % de gaz incorporé en volume). On peut distinguer deux types de procédés :

- Les procédés dans lesquels la phase liquide est activement mélangée à un gaz environnant. Ils font appel au battage, fouettage et autres agitations « libres », dans un espace ouvert. Ils reproduisent souvent les procédés ménagers (battage pour blancs en neige, mixeurs pour milkshake).
- Les procédés où la phase gazeuse est injectée dans la phase liquide : ils interviennent souvent dans le foisonnement industriel. Dans cette configuration, une quantité prédétermi-

née et contrôlée de gaz est dispersée, par fort cisaillement, dans le milieu liquide. On peut utiliser des mélangeurs « statiques », constitués de lames croisées, obliques ou incurvées, qui imposent une séparation et une rotation du flux axial de produit et un mélange progressif. On utilise de plus en plus fréquemment des mélangeurs « dynamiques ». Ils sont constitués de rotor-stator à dents (mousses laitières...) ou de pâles racleuses (crèmes glacées...).

Dans le cas des mousses laitières, le foisonnement « dynamique » est clairement le plus répandu industriellement. Le foisonnement s'effectue en continu, généralement à l'aide d'un équipement de type Mondomix (figure 4) : il s'agit d'un système de rotor-stator à dents qui cisaille fortement le mélange gaz/mix. C'est de l'azote, généralement en surpression, qui est injecté dans le mélange à foisonner. L'azote est choisi de préférence à cause de sa solubilité limitée dans les matrices aqueuses. Il est préféré à l'air, plus soluble.

Les secrets de la stabilité des mousses laitières...

L'objectif est donc de trouver la bonne adéquation entre la formule et les paramètres de procédé...

Deux mécanismes différents de stabilisation ou de piégeage des bulles interviennent : la stabilisation des interfaces des bulles de gaz et la structuration de la phase continue.

L'importance de la contribution de l'un ou l'autre de ces deux mécanismes dépendra de divers facteurs : nature de la formulation mise en œuvre, en particulier de sa concentration en matière grasse et du potentiel de gélification de la phase continue, quantité de gaz à incorporer, taille des bulles de gaz et durée de stabilité (jours, semaines, mois...) souhaitées.

Lorsqu'elle est présente en forte concentration dans la phase continue, la matière grasse joue un rôle déterminant dans la stabilisation des systèmes foisonnés. La crème fouettée constitue l'exemple simple et emblématique d'une telle situation. Dans ce cas, il a bien été démontré et admis que la stabilisation des bulles d'air est assurée simultanément par la présence de globules gras aux interfaces de bulles d'air et par la formation d'agrégats de matière grasse interconnectés entre les bulles d'air, comme le montre la figure 5. Remarquons que les conditions de formation de ces agrégats, attribués au battage et au cisaillement qu'il fait subir aux gouttelettes, ne sont pas encore bien élucidées.

Cette double stabilisation intervient aussi dans les crèmes glacées [2-4] pour lesquelles une cristallisation partielle des matières grasses apporte une structuration complémentaire de la phase continue.

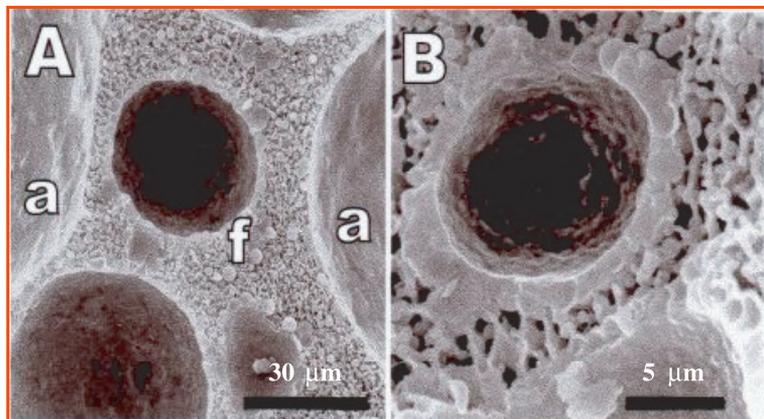


Figure 5 - Structure de crème fouettée observée en microscopie électronique. a : bulle d'air, f : globule gras.

La demande du marché en produits allégés a beaucoup compliqué la tâche du fabricant de mousses. Celui-ci est alors obligé de diversifier ses stratégies de stabilisation selon les ingrédients de sa formulation, comme nous le verrons ci-dessous.

La stabilisation de l'interface gaz/liquide

Dans les mousses laitières, contenant habituellement de la matière grasse (sous forme de globules gras), comme dans les crèmes glacées, la stabilisation des bulles d'air est assurée majoritairement par les gouttelettes de matière grasse plus ou moins agrégées et localisées à l'interface air/liquide. La figure 6 illustre ce mécanisme à l'aide de photos de mousses observées en microscopie confocale laser.

Pour obtenir cette stabilisation des interfaces des bulles d'air par les globules gras, deux opérations successives doivent intervenir :

- une déstabilisation partielle de l'émulsion de matière grasse créée lors de l'étape d'homogénéisation [5] ;
- aussitôt suivie de la stabilisation des bulles d'air par diffusion à l'interface des gouttelettes précédemment déstabilisées, pour former et conserver la mousse (« stabilité aux temps longs ») (voir encadré sur les molécules tensioactives page suivante).

Cette double opération est cruciale. Elle est actuellement rendue possible par l'introduction de « bases foisonnantes » mises sur le marché par les fabricants d'émulsifiants (Danisco, Quest International, Cognis...). Les protéines laitières jouent un rôle décisif, en particulier les micelles de caséine et les protéines sériques. Adsorbées à la périphérie des globules gras, elles contribuent à la stabilité de l'émulsion laitière. L'addition des « bases foisonnantes » tend à déplacer ces caséines des interfaces de matières grasses. Cette désorption a un double effet. Une déstabilisation partielle des gouttelettes de matière grasse, qui vont migrer aux interfaces gaz/sérum, et une stabilisation simultanée des bulles de gaz, par les molécules de caséines désorbées et qui diffusent rapidement aux interfaces gaz/sérum. Les caséines solubles assurent ainsi leur stabilité à court terme, en particulier lors du foisonnement du mix. Les gouttelettes de matières grasses, qui migrent plus lentement, assureront par la suite la stabilité aux temps longs, c'est-à-dire la stabilité de la mousse.

Cette stabilisation des interfaces gaz/sérum par les gouttelettes de gras explique d'ailleurs l'intérêt décisif de l'homogénéisation des mix. Cette dernière permet, en particulier, de compenser l'allègement en matière grasse, de plus en plus pratiqué. En effet, l'objectif principal de l'étape d'homogénéisation est d'obtenir, avant le foisonnement, un nombre suffisant de fines gouttelettes de matière grasse, qui migreront, après le foisonnement, aux interfaces des bulles d'air pour former le film assurant la stabilité ultérieure de la mousse.

L'amorce de cette déstabilisation, sans induire de véritable coalescence des globules gras dans les mix laitiers, est identifiée comme le phénomène physico-chimique critique qui détermine l'aptitude ultérieure au foisonnement et les caractéristiques de texture finale des systèmes foisonnés. C'est ce début de déstabilisation, provoqué simultanément par l'apport énergétique de l'homogénéisateur et la formulation, qui guide le fabricant pour l'optimisation de la formulation.

Par contre, dans les systèmes allégés en matière grasse, ce sont essentiellement les protéines sériques qui assureront en définitive la stabilisation des bulles de gaz. Mais leur effet n'est pas aussi efficace que celui des gouttelettes de matières grasses [6-7].

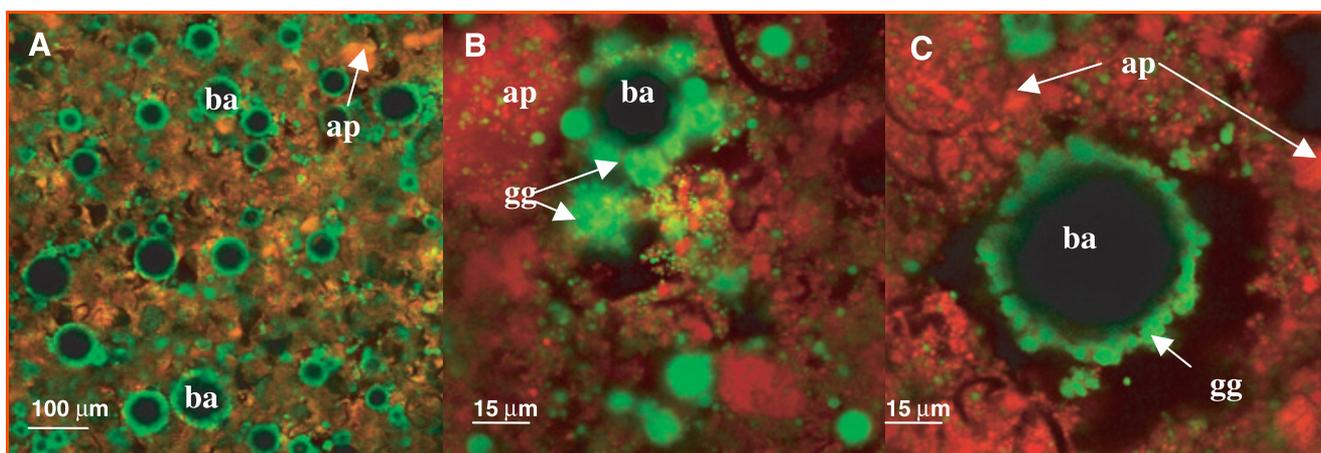


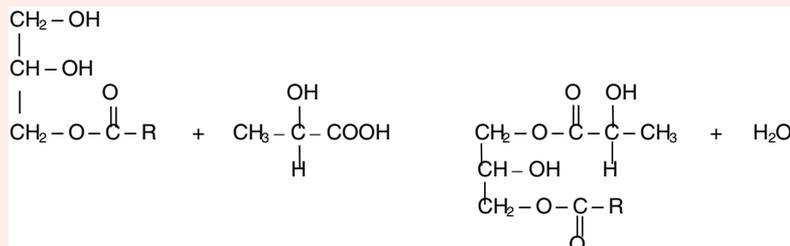
Figure 6 - Images de mousses laitières observées en microscopie confocale. Elles montrent la structure typique d'émulsions foisonnées avec les globules gras entourant les bulles d'air. ba : bulle d'air ; gg : globule gras ; ap : agrégat de protéines.

Les molécules tensioactives utilisées pour améliorer la formation et la stabilité des mousses via la stabilisation des interfaces

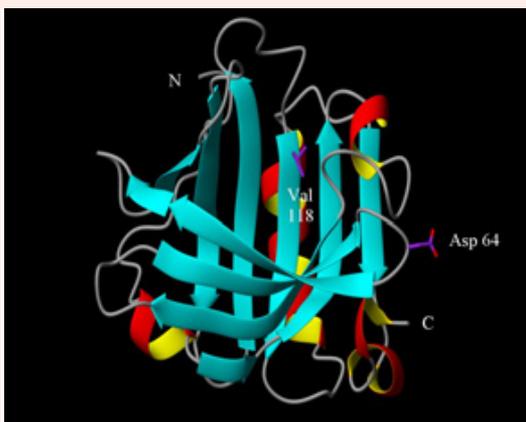
Deux grandes catégories de molécules peuvent stabiliser les interfaces : les émulsifiants et les polymères, plus particulièrement les protéines. Leur efficacité découle de mécanismes différents :

- Les **émulsifiants**, du fait de leur petite taille et de leur forte mobilité (à condition de rester en dessous de la concentration micellaire critique cmc), diffusent et s'adsorbent rapidement à l'interface. En cas de perturbation de l'interface, leur migration rapide participe au rétablissement de l'équilibre.

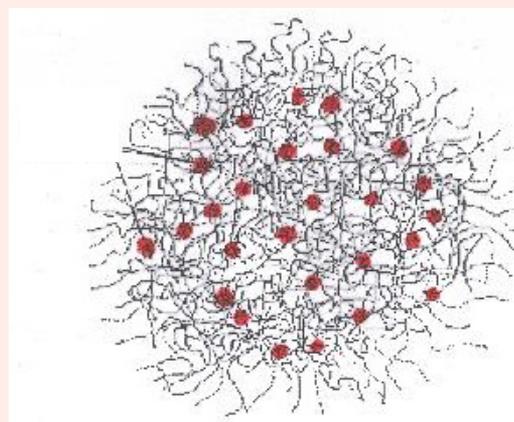
Préparation et formule d'un ester lactique de mono-diglycérides d'acide gras (E472b) :



- Les **protéines**, de poids moléculaire nettement plus grand, présentent une structure tridimensionnelle leur permettant de se déplier, de changer de conformation et d'interagir entre elles à l'interface : c'est la formation d'un réseau tridimensionnel (via des liaisons hydrogène, des interactions électrostatiques ou hydrophobes) qui confère à l'interface un caractère viscoélastique prononcé et une cohésion mécanique qui empêche physiquement la coalescence. Une structure globulaire (α 1a, β lg, BSA, ovalbumine...) favorise davantage l'établissement de liaisons intermoléculaires qu'une structure flexible (caséines), ce qui se traduit par des valeurs d'élasticité et de viscosité supérieures.



Structure d'une protéine sérique, la β -lactoglobuline.



Structure d'une micelle de caséine (agrégation de caséines par $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_6$ (●)).

La structuration de la phase continue

La structuration de la phase continue constitue l'autre voie de piégeage des bulles d'air. Elle s'obtient par l'augmentation de la viscosité de la matrice. Deux types de phénomènes permettent de réaliser une telle augmentation de viscosité : la formation de « gels de particules » à base de micelles de caséines comme nous la verrons plus loin, et la formation de « gels de polymères ». En pratique et selon les conditions, les industriels combinent souvent ces deux types de gels.

La maîtrise du déclenchement de la gélification, après l'introduction du gaz et la formation des fines bulles, puis celle de la cinétique de formation du gel constituent les deux verrous techniques du foisonnement.

En première analyse, il paraît en effet plus avantageux d'introduire ou de former les bulles de gaz dans un milieu fluide et de piéger les bulles par une gélification rapide que de disperser finement des bulles de gaz dans un gel formé qui risque de se fragmenter et de se déstructurer. Un certain niveau de viscosité de la matrice est cependant nécessaire pour empêcher les bulles d'air formées de migrer et de

crémer en surface, afin que celles-ci soient cisailées pour conduire à de plus petites bulles. Cependant, si la viscosité du milieu est trop élevée, l'énergie mécanique, nécessaire pour cisailer les grosses bulles d'air, est dissipée en chaleur, fluidifie la matrice et le gaz n'est plus retenu. Cela démontre l'importance d'une valeur idéale de viscosité à rechercher pour optimiser la phase de foisonnement.

Formation de gels particuliers

La formation de gels « particuliers » (figure 7) est rendue possible par la présence de protéines laitières, notamment des caséines micellaires (cas des mousses de yoghourt ou de fromage frais).

Dans ce cas, le fabricant tire un profit maximal de la présence du réseau protéique au sein de la phase continue. Rappelons que la fabrication de fromages frais ou de yoghourts repose toujours sur la gélification des micelles de caséine, par modification du pH et/ou introduction de présure. En effet, les phénomènes d'acidification et de traitement enzymatique sont les deux paramètres ou leviers les plus communément employés dans l'industrie laitière pour

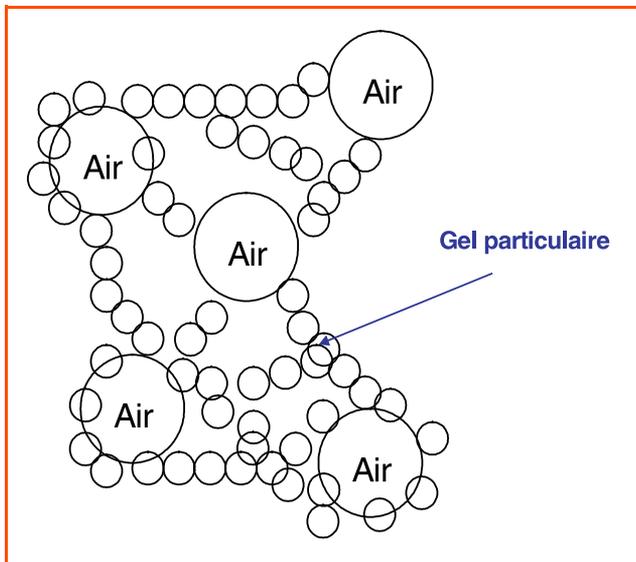


Figure 7 - Représentation schématique d'une structuration de la phase continue par un gel particulaire.

préparer des gels laitiers. Dans ce cas, les micelles de caséine représentent les « particules élémentaires » de la structure du gel. Celles-ci se forment au point isoélectrique que l'on atteint par acidification et neutralisation des fonctions phosphates des caséines.

Il a été montré récemment que le sucrose affecte de manière très significative et de façon très différente la formation des gels de caséine (cinétique de gélification et caractéristiques du gel) selon le type de mécanisme mis en œuvre (acidification ou traitement enzymatique) [8].

Ainsi, au cours de la gélification par acidification par exemple, l'addition de sucrose permet l'obtention de gels beaucoup plus élastiques. Les gels formés possèdent aussi une structure plus homogène, plus dense avec des tailles de maille de réseau plus petites. Le sucrose contribue ainsi à retarder la synérèse⁽²⁾ du gel, à l'origine de la déstabilisation de ces systèmes. Mais en période de lutte contre l'obésité, l'addition de sucrose n'est pas spécialement bienvenue pour améliorer la stabilité des mousses.

Formation de gels de polymères

Le foisonnement des produits laitiers allégés en matière grasse et non acidifiés, ni traités par des enzymes, nécessite toujours l'ajout de polymères. Les polymères ajoutés, épaississants et/ou gélifiants, sont principalement des substances naturelles, essentiellement hydrophiles, susceptibles de former des solutions visqueuses pour les premières, des suspensions et des gels souples pour les secondes. L'addition d'un épaississant ou d'un gélifiant constitue alors une voie intéressante d'optimisation de la rhéologie de la phase continue (figure 8).

Lors de leur mise en œuvre, ces polymères subissent des traitements impliquant à la fois cisaillements et chocs thermiques d'intensité variable (agitation, pompage, circulation dans les échangeurs...). Selon les circonstances, un milieu gélifié sera partiellement déstructuré ; dans d'autres cas, le cisaillement pourra au

contraire favoriser l'association ou l'enchevêtrement de ces polymères et entraîner ainsi la formation de structures différentes de celles qui se forment au repos. Ces milieux pourront soit retrouver au repos leur structure naturelle, soit au contraire garder la mémoire des traitements suivis. Les gels de gélatine fournissent un exemple intéressant car formant des gels thermiquement et mécaniquement très sensibles à la température et au cisaillement.

Les protéines et polysaccharides jouent un rôle important dans la stabilisation et la structuration des systèmes alimentaires par leur pouvoir gélifiant ou épaississant et stabilisant de surface. Pour introduire de nouvelles fonctionnalités ou renforcer des effets déjà présents, le recours à des combinaisons de biopolymères s'avère intéressant. En effet, certains mélanges peuvent développer des comportements spécifiques en raison des synergies qui se développent. Dans la pratique industrielle, ce sont les mélanges protéines/polysaccharides, en particulier protéines laitières/galactomannanes, qui offrent les plus grandes opportunités pour modifier et obtenir des textures et structures bien spécifiques. Ainsi, par exemple, dans la fabrication des crèmes glacées, la gomme de caroube est un ingrédient de choix. Mais la stabilisation des crèmes glacées tire aussi profit des phénomènes d'incompatibilité (séparation de phase) entre protéines laitières et gomme de caroube. Ces phénomènes aboutissent à l'obtention d'une phase enrichie en protéine laitière et une phase enrichie en gomme de caroube avec gélification de la gomme de caroube induite par l'augmentation de la concentration locale en polymère [9].

En définitive, le taux de matière grasse et la viscosité de la matrice constituent bien, comme le montre le schéma de synthèse de la figure 9, les deux critères unificateurs qui permettent d'intégrer, sur un équivalent de « droite maîtresse », la diversité des mousses laitiers actuellement commercialisées.

Le contrôle de la qualité des mousses

Tout au long des différentes étapes du procédé de fabrication des mousses laitiers, ainsi que sur les produits finis, des contrôles adaptés et rapides doivent être effectués. Ils visent à suivre les caractéristiques physiques essentielles de la mousse (taux de foisonnement, taille des bulles...) et sa composition chimique (extrait sec, taux de matière grasse, taux de sucre, pH...), à vérifier l'absence de contaminants, à effectuer des contrôles microbiologiques nombreux et variés (staphylococcus aureus, listeria, salmonella...), ainsi que des

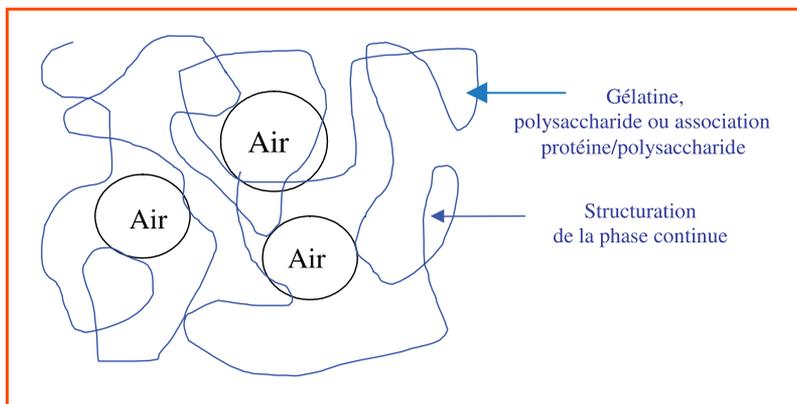


Figure 8 - Représentation schématique d'une structuration de la phase continue par un gel de polymère.

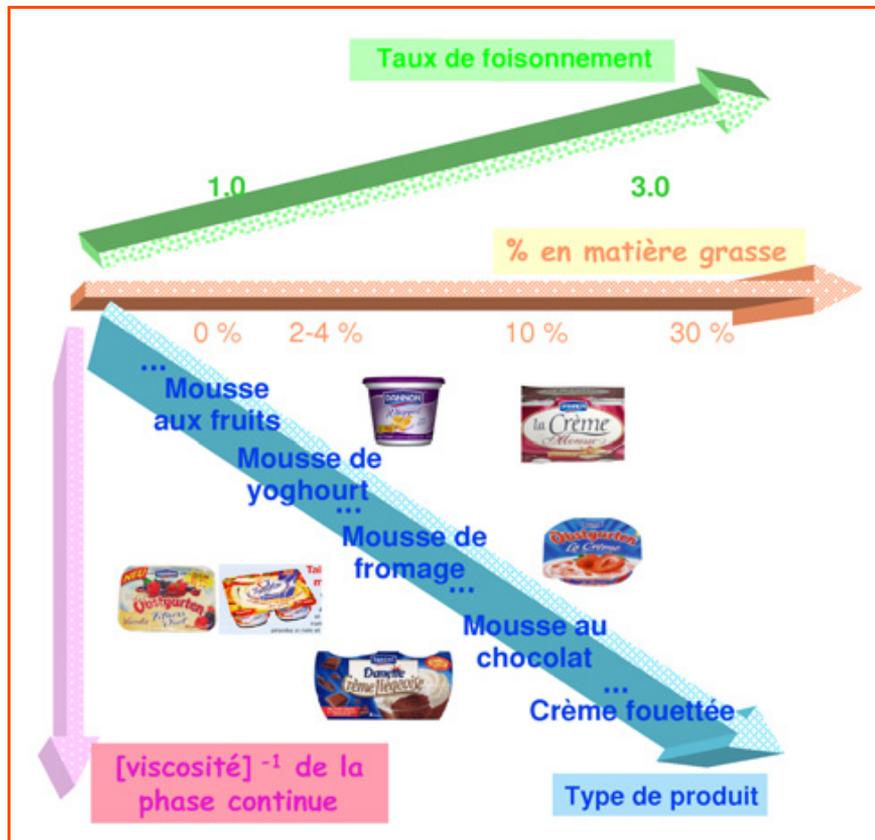


Figure 9 - Les deux voies de la stabilisation des mousses laitières : stabilisation des interfaces et viscosité de la phase continue.

contrôles sensoriels. Des descripteurs bien spécifiques sont mis en place, suivis et notés. Les contrôles sensoriels comprennent trois grandes rubriques :

- *l'aspect visuel du produit*

Dans cette rubrique, on note notamment le niveau de perturbation de la surface de la mousse (niveau d'hétérogénéité), sa tenue, sa brillance, sa couleur (intensité et migration de couleur)...

- *la texture à la cuillère*

Il s'agit ici d'évaluer la fermeté de la mousse, son empreinte, son crépitement, la taille des bulles, la régularité de la taille des bulles...

- *la texture en bouche*

L'évaluation de la stabilité de la mousse en bouche, mais aussi de son niveau de « compacité », « collant », « tapissant », « fuyant », « fondant » et « gras » seront effectuées selon des protocoles bien spécifiques.

La mise en commun d'un langage sensoriel pour tous les dégustateurs de ce type de produits permet d'évaluer les produits finis à une date donnée, de comparer leur évolution au cours du temps, mais aussi de comparer les produits avec ceux de la concurrence.

Conclusion et perspectives

Nombreux sont les exemples où les applications et développements industriels ont précédé la connaissance intime des phénomènes et des mécanismes impliqués. Les mousses alimentaires nous en offrent une nouvelle preuve. Pour confectionner œufs en neige ou crèmes fouettées, mousses au chocolat ou crèmes glacées, les générations précédentes

ont « expérimenté » et perfectionné, par tâtonnements successifs, recettes et tours de main, transmis oralement. Elles ne réalisaient guère ce qui se passait dans leurs récipients au moment du battage.

Pour produire à l'échelle industrielle des mousses alimentaires, laitières en particulier, l'industrie a donc été obligée, depuis une quarantaine d'années, non pas de transposer simplement la « recette », mais d'abord de rechercher l'équipement adéquat pour reproduire les gestes ancestraux, puis d'adapter la formulation en conséquence.

Dans un premier temps, une bonne connaissance des ingrédients du lait et des phénomènes qui régissent sa stabilité ont permis à l'industrie alimentaire de réussir assez rapidement cette transposition. D'autant plus que, depuis une vingtaine d'années aussi, les scientifiques ont décrit, de manière de plus en plus précise, les conditions de formation et le comportement de « mousses ». La lutte actuelle contre l'obésité donnera certainement à l'industrie alimentaire, et aux mousses qu'elle sait produire, une nouvelle jeunesse. Une occasion unique s'offre à elle de répondre à un besoin et à une opportunité du marché. Il ne s'agit plus simplement de transposer des recettes ancestrales, mais de proposer de réelles innovations, basées sur un

contrôle précis de l'apport calorique. Le récent développement de « mousses à glacer » en fournit déjà un bon exemple. Il intègre deux concepts, bien appréciés des gourmands, celui de « mousses laitières » et celui de « crèmes glacées ».

Mais les développements futurs ne se limiteront certainement pas aux seules demandes du marché. Les matières premières ou les équipements disponibles fourniront certainement aussi des opportunités intéressantes de faire des innovations. D'autres matières grasses que celles du lait, des matières grasses d'origine végétale, seront certainement formulées de plus en plus à l'état de mousses. De nouveaux équipements permettront aussi de faire des progrès dans la préparation et la stabilité de ces mousses. Nous avons déjà montré dans cet article l'intérêt des homogénéiseurs. Il faut s'attendre aussi à ce que les équipements de foisonnement évoluent rapidement vers des équipements plus spécifiques car mieux adaptés à l'incorporation de gaz dans des liquides.

Bref, sans risque de se tromper, on peut prévoir des transformations, rapides et majeures, dans la production et la commercialisation de mousses alimentaires, de même que le transfert des expériences mousses de l'industrie alimentaire vers d'autres marchés, celui des cosmétiques par exemple.

Note et références

(1) Le **taux de foisonnement** est caractérisé le plus souvent par l'augmentation du volume liquide initial et se calcule selon l'équation suivante :

$$\text{Taux de foisonnement} = \left(\frac{d_{\text{liquide}}}{d_{\text{mousse}}} - 1 \right)$$

La densité des mousses d_{mousse} est vérifiée par simple empotage manuel : un pot à prélèvement de volume (mL) connu, est rempli et arasé, puis pesé ; on détermine ainsi la masse de mousse m_{mousse} . La densité est alors connue de façon immédiate par rapport à la masse du même volume d'eau m_{eau} et la fraction volumique de gaz ϕ déduite, connaissant la densité du mix non aéré d_{mixNA} :

$$d_{\text{mousse}} = \frac{m_{\text{mousse}}}{m_{\text{eau}}} \text{ et } \phi = 1 - \frac{d_{\text{mousse}}}{d_{\text{mixNA}}}$$

- (2) La **synérèse** est le phénomène selon lequel le sérum (l'eau plus les composés dissous) est expulsé du réseau de gels protéiques.
- [1] Schorsch C., Les mousses laitières ; de la théorie à la pratique, *Émulsions alimentaires et foisonnement. Théories et applications*, Collection Sciences et Techniques Agroalimentaires, Lavoisier, à paraître.
- [2] Anderson M., Brooker B.E., Dairy foams, *Advances in Food Emulsions and Foams*, E. Dickinson, G. Stainsby (eds), Elsevier Applied Science, London, **1988**, p. 221-255.
- [3] Goff H.D., Colloid aspects of ice cream - a review, *International Dairy Journal*, **1997**, *7*, p. 363.
- [4] Leser M.E., Michel M., Aerated milk protein emulsions - new microstructural aspects, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, **1999**, *4*, p. 239.
- [5] Stanley D.W., Goff H.D., Smith A.K., Texture-structure relationships in foamed dairy emulsions, *Food Research International*, **1996**, *29*, p. 1.
- [6] Dalgleish D.G., Food emulsions stabilized by proteins, *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, **1997**, *2*, p. 573.
- [7] Rouimi S., Schorsch C., Valentini C., Vaslin S., Foam stability and interfacial properties of milk protein - surfactant systems, *Food Hydrocolloids*, **2005**, *19*, p. 467.

- [8] Schorsch C., Jones M.G., Norton I.T., Micellar casein gelation at high sucrose content, *J. Dairy Sci.*, **2002**, *85*, p. 3155.
- [9] Goff H.D., Ferdinando D., Schorsch C., Fluorescence microscopy to study galactomannan structure in frozen sucrose and milk protein solutions, *Food Hydrocolloids*, **1999**, *13*, p. 353.



Catherine Schorsch est ingénieur ENSIA et docteur en sciences des aliments (INRA). Actuellement « business designer » au sein de la Direction Planning Stratégique de Danone Vitapole*, elle a été « scientific manager » des « recherches crèmes glacées » chez Unilever (Colworth, G.-B., 1996-2000), puis responsable du projet « systèmes dispersés » à Danone Vitapole (Palaiseau, 2000-2004).

* Danone Vitapole, Route départementale 128, 91767 Palaiseau Cedex.
Tél. : 01 69 35 71 66.
Courriel : catherine.schorsch@danone.com



PUBLICATION
RÉGIE PUBLICITAIRE
EDITION
FINANCEMENT

Depuis 1988

Les Editions **D'Ile de France**

Expérience, la différence

www.edif.fr

Notre société est spécialisée dans l'édition d'annuaires et de revues professionnelles pour sociétés savantes, associations d'anciens élèves d'écoles d'ingénieurs, fédérations professionnelles,...

Notre présence depuis plus de 17 ans dans un secteur d'activités en mutation permanente, la transparence de nos résultats régulièrement positifs depuis la création de notre société, la fidélité de nos partenaires éditoriaux sont autant de preuves du professionnalisme de notre équipe et constituent de fait notre meilleure « carte de visite ».

Notre atout majeur, et c'est aussi notre spécialité, est de vous garantir la gratuité de vos ouvrages papiers en contrepartie de l'exclusivité de la régie publicitaire entièrement assurée par notre service commercial.

Régisseur exclusif
de la Revue **l'ACTUALITE CHIMIQUE**

Editions D'Ile de France

102, avenue Georges Clémenceau • 94700 Maisons-Alfort
Tél. : 33 1 43 53 64 00 • Fax : 33 1 43 53 48 00
e-mail : edition@edif.fr