

Les procédés alimentaires : aspects technologiques et conséquences physico-chimiques sur les aliments

Catherine M.G.C. Renard

UMR408 SQPOV « Sécurité et qualité des Produits d'Origine Végétale », INRA, Université d'Avignon, 84000 Avignon

Introduction

Les procédés alimentaires répondent à deux buts principaux :

- Rendre les aliments palatables c'est-à-dire consommables et agréables à manger ;
- Permettre la conservation des aliments au-delà de leurs périodes de récolte dans des conditions optimales de sécurité.

Historiquement les procédés agro-alimentaires ont donc pour but de préserver les nutriments essentiels pour pouvoir assurer tout au long de l'année la disponibilité d'aliments sains, couvrant les besoins énergétiques et nutritionnels, la consommation retardée de ces nutriments étant essentielle. Les deux socles de l'élaboration des procédés ont été la stabilisation et la sécurité, qui restent la base même de la législation associée. Sont venus s'y adjoindre des demandes de praticité, constance, santé, éthique. Les procédés de fabrication, doivent assurer au moins 4 dimensions caractéristiques : la sécurité sanitaire, les exigences de naturalité et de sensoriel, les caractéristiques nutritionnelles, et leur empreinte écologique. La maîtrise des coûts de production est aussi une dimension essentielle.

L'aliment est en règle générale un système complexe, structuré et hétérogène. Les aliments sont souvent fortement hydratés et leur composition est favorable à la croissance des microorganismes, d'où un risque d'évolution (dégradation) biologique. La stabilisation biologique est donc la clé de très nombreux procédés alimentaires. D'un point de vue physico-chimique, les aliments peuvent aussi être distingués selon qu'il s'agisse de solides à structure cellulaire, comme la viande et les fruits et légumes, ou d'aliments structurés, qu'il s'agisse de mousses solides (produits de panification) ou d'aliments gélifiés / dispersés / aérés. Ces aliments dispersés sont particulièrement instables d'un point de vue physique (décantation, crémage, rétrogradation).

Une des caractéristiques fortes du système alimentaire actuel est ce qu'on pourrait appeler la diversité retardée, c'est-à-dire la conception de produits « sur mesure » (mais constants) à partir de matières premières (de plus en plus) variables, par l'intermédiaire de la déconstruction de la matière première, les procédés et la formulation.

Les différents types de produits alimentaires ont historiquement conduit à des procédés et des filières différenciées selon leurs caractéristiques propres, qui en constituent un socle à la fois historique et culturel. Les procédés sont de plus en règle générale l'enchaînement de plusieurs « opérations unitaires » : autant il est possible d'identifier les principaux impacts des opérations unitaires individuelles, autant les procédés peuvent donner lieu à des combinaisons très variées, et donc l'enchaînement exact peut être hautement significatif.

1 Procédés de conservation et sécurité microbiologique

De nombreuses matières premières et aliments sont des milieux extrêmement favorables à la croissance des microorganismes ; ils sont de plus riches en enzymes endogènes, elles-mêmes pouvant être responsables d'altérations. Différentes stratégies peuvent être mises en œuvre :

- Eliminer les microorganismes : soit détruire ou inactiver les microorganismes et enzymes par un traitement physique, classiquement thermique, mais aussi hautes pressions, champs électriques pulsés, lumière pulsée... ; soit, pour des milieux liquides, les séparer physiquement par exemple par microfiltration ;
- Modifier les conditions physico-chimiques pour rendre le produit moins vulnérable : diminution de la température (froid, surgélation) et de l'activité de l'eau (séchage, salage, confisage), augmentation de l'acidité (fermentation), ou création d'autres conditions défavorables (oxygène, agents anti-bactériens...).

Les industries agro-alimentaires vont souvent combiner différents facteurs ou traitements afin d'avoir la même efficacité antimicrobienne pour une intensité plus faible de chacun des traitements ou facteurs. Ainsi pour les produits acides la pasteurisation peut suffire à assurer leur stabilité à température ambiante. Cette approche est généralement dénommée « hurdle technology ».

1.1 Traitement thermique

En règle générale le traitement thermique (cuisson, blanchiment...) vise à éliminer bactéries et parasites, et à inactiver les enzymes. Deux niveaux sont couramment distingués : la pasteurisation détruit les formes végétatives des microorganismes, et la stérilisation détruit tous les microorganismes, y compris leurs spores. Les aliments pasteurisés devront en général être conservés au froid, avec des durées de vie de l'ordre de quelques semaines. Une stérilisation couplée à un emballage étanche (appertisation) permet des stockages de longue durée à température ambiante. Parmi les procédés alternatifs, l'irradiation peut permettre une stérilisation, tandis que les hautes pressions hydrostatiques (pascalisation) conduisent uniquement à l'élimination des formes végétatives des microorganismes, avec des effets très irréguliers sur les enzymes endogènes.

Les traitements thermiques modifient les caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles des aliments. Les modifications de texture qui leur sont associés rendent l'aliment moins résistant et plus facilement consommables, ce qui est particulièrement marqué pour les fruits et légumes. Ils favorisent nettement l'assimilation des nutriments des aliments. L'exemple le plus marqué est celui des produits amylicés : le nutriment essentiel de ces aliments, l'amidon, n'est assimilable qu'après une cuisson, qui en permet la gélatinisation et le rend digestible par nos enzymes endogènes. Les protéines sont dénaturées par les traitements thermiques, ce qui inactive les enzymes endogènes et en augmente la digestibilité jusqu'à un certain point. Des effets positifs sont trouvés aussi pour l'assimilation des micronutriments des fruits et légumes. Par contre, ils conduisent à la dégradation de certains micronutriments (vitamines) particulièrement fragiles.,

Les effets organoleptiques des traitements thermiques peuvent être recherchés, comme dans les procédés de torréfaction, la génération de composés de réaction de Maillard avec leurs couleur et arôme spécifiques, ou les modifications de texture des végétaux. De nombreux procédés, par exemple de surgélation ou séchage, incluent une phase d'élévation de la température de façon à inactiver les enzymes endogènes (blanchiment) ou accélérer les échanges de matière, qui peuvent impacter les aliments concernés.

1.2 Diminution de l'activité de l'eau

Les réactions biologiques (croissance des microorganismes, activité des enzymes) ont besoin d'eau « libre », en tant que solvant ou que réactif; cette eau libre est évaluée par l'activité de l'eau a_w , un paramètre crucial dans les industries agroalimentaires. Diminuer l'activité de l'eau peut être fait par élimination de l'eau (séchage), par cristallisation (surgélation), ou par apport de solutés qui vont la capter (salage, confisage), ou par des combinaisons de ces méthodes.

Le séchage traditionnel (à l'air ou à l'air chaud) reste très couramment utilisé (produits de charcuterie, fruits secs, céréales...). Les temps longs qui sont utilisés permettent le développement de microorganismes et l'action d'enzymes, qui peuvent être souhaité quand le séchage est conjugué à une fermentation (saucisson) ou non (brunissement des abricots secs). La température de séchage doit être soigneusement choisie et contrôlée, pour accélérer la perte d'eau mais limiter le développement de réactions chimiques (Maillard...) indésirables. Des méthodes alternatives pour l'apport de chaleur au produit à sécher sont de plus en plus utilisées : séchage par infrarouge, par microonde... Le séchage par ébullition (sur cylindres chauffant) est utilisé par exemple pour la production de flocons, le séchage par atomisation (très grande surface développée) pour différents liquides dont le lait. La lyophilisation repose sur une sublimation de la glace : les faibles températures utilisées permettent une préservation optimale de la structure et des nutriments présents.

Salage et confisage reposent sur des composés fortement hydrosolubles et capables de baisser l' a_w . Le salage est typiquement utilisé pour les produits de sauriserie, mais aussi les charcuteries, le beurre, les cornichons... L'utilisation du sel conduit par ailleurs à une sélection des flores (lactique notamment) qui est mise à profit pour certaines charcuteries. Pour arriver à une a_w inférieure à 0,91, permettant la conservation hors chaîne du froid, il faut des teneurs en sel de 5 à 6%, et pour 0,95 (qui implique d'avoir une conservation au froid) 2 à 3% de sel. Dans ces conditions il y a aussi une modification marquée de la texture des produits. L'utilisation de sels nitrités permet d'inhiber la croissance de *C. botulinum*, a un impact sur la saveur et conduit à une couleur rouge et stable.

Les sucres outre leur saveur ont un impact marqué sur l'activité de l'eau. Les confitures ou gelées, si elles atteignent une teneur en sucres > 60%, peuvent ainsi être stables à température ambiante. De plus la présence de sucres et de pectines conduit à la texture gélifiée de ces produits. La déshydratation osmotique (à froid) est aussi couramment utilisée : les températures plus faibles permettent de limiter les effets de cuisson et d'avoir des morceaux fermes après séchage.

1.3 Acidification et fermentation

Un milieu acide (conventionnellement la barrière est fixée à pH 4,5) ne permet pas la croissance des bactéries pathogènes, et diminue fortement les capacités de croissance de nombreuses autres espèces. Un aliment peut être acidifié soit par des moyens chimiques, c'est-à-dire l'addition d'acides faibles comme l'acide acétique (vinaigre), l'acide lactique..., soit par fermentation.

La fermentation peut également permettre la biosynthèse de certains nutriments, améliorer la digestibilité des protéines ou réduire certains facteurs nutritionnels. Ceci explique la part fondamentale des aliments fermentés dans notre alimentation. Il s'agit en général en Europe de fermentations lactiques (produits laitiers, saucisson, choucroute et autres légumes fermentés),

acétique (vinaigre) ou alcoolique (vin, bière, cidre). La panification résulte d'une fermentation par de la levure ou un levain complexe incluant des bactéries lactiques, des moisissures sont mises en œuvre pour la production de sauce soja, de miso ou de tempeh, *Bacillus subtilis* pour le natto, ...

Les fermentations induisent des modifications physico-chimiques (baisse du pH et du potentiel rédox) ou l'épuisement de certains substrats, qui peuvent inhiber d'autres flores. Elles contribuent également à des modifications de texture (développement de gaz dans le pain, hydrolyse des protéines dans le fromage), de saveur et d'arômes. Les fermentations alimentaires sont rarement le fait d'une souche pure, avec des successions fermentaires ou des écosystèmes complexes.

1.4 Utilisation du froid

Le froid stabilise les aliments en ralentissant la croissance des microorganismes et en diminuant l'activité des enzymes endogènes. La chaîne du froid a ainsi acquis un rôle central dans notre système alimentaire, en favorisant la consommation de produits périssables dans des lieux éloignés de leur production. La surgélation conjugue ralentissement des réactions par diminution de la température et élimination de l'eau libre par cristallisation sous forme de glace. Les enzymes ne sont pas inactivées : certaines réactions ont encore lieu, même si c'est à des vitesses très faibles, et elles sont notamment favorisées par des changements de température en cours de stockage. La surgélation permet des conservations de longue durée.

2 Fractionnement et formulation

Ces opérations unitaires visent plus directement la composition et les propriétés physico-chimiques des aliments.

2.1 Fractionnement

Le fractionnement consiste à obtenir, à partir d'une matière première agricole, différents produits et ingrédients aux propriétés spécifiques. Il peut permettre d'éliminer des parties non consommables, non assimilables ou non désirées, ou avoir pour but d'isoler des fractions possédant des propriétés spécifiques.

Le premier exemple concerne l'élimination des parties non assimilables. La filière des céréales a l'avantage de reposer sur des matières premières (grains et graines) qui sont à faible activité de l'eau et qui sont donc « faciles » à conserver. Mais l'amidon et les protéines sont englobés dans des enveloppes (son) que nous ne pouvons pas digérer. De là découlent tous les procédés de meunerie, qui visent à récupérer la partie la plus nutritive du grain. Les farines obtenues nécessiteront encore un traitement hydrothermique (panification, cuisson-extrusion...) pour les rendre directement assimilables.

Le pressage des fruits et oléagineux pour conduire aux jus, boissons fermentées ou huiles peut être conçu comme un procédé de fractionnement, puisqu'il élimine les parties « solides » du végétal. Pour les jus, un traitement complémentaire est indispensable pour en assurer la conservation : fermentation (alcoolique) ou traitement thermique. Un défi actuel consiste à utiliser toute la biomasse produite, c'est-à-dire à trouver pour les marcs ou résidus des utilisations écologiquement acceptables et économiquement viables.

Des procédés plus élaborés ont été mis en place depuis le siècle dernier, et parmi eux en premier lieu les procédés à membrane, qui permettent de séparer les différentes molécules d'un liquide. L'exemple typique en est le cracking du lait, qui, au-delà de la récupération des lipides et protéines classiquement permises par la confection de beurre ou fromage permet d'isoler de façon raisonnée les différentes protéines, le lactose...

2.2 Formulation

De très nombreux aliments sont des systèmes dispersés, c'est-à-dire qu'ils comprennent plusieurs phases: liquides non miscibles (émulsions), liquide et gaz (mousses), liquide et solide (suspension), voire plusieurs à la fois. Ces produits ne sont pas thermodynamiquement stables et vont avoir naturellement tendance à déphaser, d'où l'utilisation de surfactants afin de rendre les différentes phases compatibles, et d'hydrocolloïdes pour ralentir ou bloquer (gels) cette séparation.

Une émulsion est une dispersion de gouttelettes d'un liquide dans un autre, leur opacité est liée à la taille de ces gouttelettes (0.1 à 100 μ). Le lait, le jaune d'œuf sont ainsi naturellement sous forme d'émulsions, mais cette classe recouvre aussi par exemple les sauces émulsionnées. Les émulsions ont naturellement tendance à se séparer, la diminution des surfaces de contact permettant la diminution de l'énergie du système.

Les mousses alimentaires sont en règle générale des systèmes complexes avec une dispersion de bulles de gaz dans une phase continue liquide à semi-solide : crème chantilly, « mousses dessert... Les mousses sont thermodynamiquement instables car il y a une très grande aire à l'interface liquide/gaz, et la différence de densité est elle-aussi très grande. Des mousses solides (produits de panification, meringue) peuvent être obtenues par solidification de cette phase continue sous l'effet d'un phénomène physique. De nombreux produits sont des émulsions foisonnées, c'est-à-dire qu'une phase gazeuse et une phase liquide sont dispersées dans une phase continue liquide (cakes ...). Les systèmes peuvent être plus complexes comme dans les crèmes glacées où des bulles d'air sont incluses dans une matrice complexe contenant des globules gras (solides), des cristaux de glace, une solution saturée de sucres, protéines et polysaccharides.

Les purées de fruits ou de légumes sont des suspensions de « fantômes cellulaires », agrégats ou cellules individuelles, dans une phase continue (sérum), qui peut elle-même être essentiellement composée de sucre, eau et pectines, mais aussi contenir de l'amidon (présence de pomme de terre) voire d'une phase grasse (ajout de beurre).

Conclusion

La demande de praticité par les consommateurs, ainsi que la désaisonnalisation, l'appétence pour des aliments « exotiques »... ont conduit l'industrie agro-alimentaire à aller de plus en plus en aval à partir des matières premières pour proposer aux consommateurs des aliments ou ingrédients sûrs et constants. Cette tendance a été marquée notamment par le développement des industries de fractionnement Au-delà des ingrédients, l'industrie agro-alimentaire propose des produits formulés, qui doivent être stables y compris d'un point de vue physico-chimique sur des temps allant de quelques semaines à plusieurs mois : ceci nécessite, outre la prise en compte du risque biologique, la mise en œuvre de stratégies de stabilisation reposant sur des hydrocolloïdes et/ou tensioactifs.