

## **1. Technologie alimentaire**

La technologie alimentaire est l'application de la science alimentaire et des techniques scientifiques à la sélection, la conservation, la transformation, le conditionnement, la distribution et l'utilisation des aliments en vue d'une alimentation saine et équilibrée, de bonne valeur nutritionnelle et qualité organoleptique.

Les scientifiques et les techniciens de l'alimentation étudient la composition des aliments sous les aspects physiques, microbiologiques et chimiques.

En fonction de leur domaine de spécialisation, les spécialistes de l'alimentation peuvent mettre au point des méthodes de traitement, de conservation, d'emballage ou de stockage des denrées alimentaires, en respectant les spécifications de l'industrie et du gouvernement et les normes réglementaires.

Les premières recherches dans le domaine de la technologie alimentaire sont anciennes. L'invention en 1810 du procédé de l'appertisation, par Nicolas Appert fut une étape décisive. Le procédé ne s'appelait pas alors mise en conserve et Appert n'en connaissait pas en réalité les principes de fonctionnement, mais la conserve a eu un impact important sur les techniques de conservation des aliments.

Les recherches de Louis Pasteur sur l'altération du vin et sa description de la manière de l'éviter en 1864 fut un premier essai pour donner des bases scientifiques à la technologie alimentaire. Outre ses recherches sur l'altération du vin, Pasteur fit aussi des recherches sur la production de l'alcool, du vinaigre, des vins et de la bière et sur l'acidification du lait. Il mit au point le procédé de la pasteurisation — procédé de chauffage du lait et des produits laitiers pour détruire les microorganismes responsables de la dégradation des aliments et causes d'affections. Par ses recherches dans le domaine de la technologie alimentaire, Pasteur fut un pionnier en bactériologie et en médecine préventive moderne.

Les technologies agroalimentaires concernent les différentes opérations effectuées sur des produits agricoles, après leur récolte, en vue de l'obtention d'aliments.

## **2. Caractéristiques des matières premières agricoles**

Les matières premières agricoles sont d'origine biologique, ce qui leur confère trois caractéristiques : complexité, instabilité et variabilité. Ces matières premières des industries alimentaires proviennent : de l'agriculture (productions végétale et animale) pour la plus grande partie ; de la pêche et de la mer (algues, sel marin) ; du sous-sol, dans le cas des eaux minérales et du sel gemme ; de l'industrie chimique (certains additifs) : tonnages limités, mais économiquement et fonctionnellement importants.

## 2.1. Leur complexité

est fondée sur l'existence de différents niveaux de structure et d'une grande diversité biochimique. Une distinction doit être faite entre ce qui est *compliqué* et ce qui est *complexe*. Un produit compliqué est un produit que l'on peut analyser en le décomposant en éléments simples depuis le niveau macroscopique (cm) jusqu'à l'échelle du nanomètre ( $10^{-6}$  m). Dans un système complexe, les éléments du système sont en *interactions* : la compréhension des propriétés de l'ensemble dépasse celle des propriétés des parties constitutives. Apparaissent ainsi les notions de *propriété émergente* et de *niveau d'organisation*, à la base de l'analyse de la complexité des aliments.

## 2.2. Leur instabilité

est liée à leur composition biochimique, à la présence de cellules vivantes, dont en particulier des micro-organismes. Tous les produits agricoles sont d'abord des tissus ou des organes dont les cellules sont dans un état dépendant de la matière considérée. Alors que le lait ne comprend que quelques cellules somatiques (provenant du tissu mammaire), le muscle passe à un état post-mortem à l'issue de l'abattage, avec un équipement enzymatique complet et une compartimentation cellulaire qui se dégrade. Les fruits et légumes frais sont vivants au sens biologique du terme. Les grains et graines sont dans un état de dormance facile à lever. En conséquence, la stabilisation de ces tissus est une opération...

## 3. Les procédés de transformation

### 3.1. Système de production



Il s'agit d'un système permettant la conversion de matières premières en produits finis, Basé sur des procédés de transformation physique, chimique ou biochimique de la matière première

### 3.2. Approche par mécanisme

Les procédés mis en œuvre peuvent être classés en fonction du mécanisme principal qui les gouverne :

- Les procédés physiques font intervenir la température, les contraintes mécaniques, l'irradiation. Les procédés membranaires, les différentes formes de transfert de chaleur, la cuisson-extrusion et le broyage sont des éléments de cet ensemble.
- Les procédés biotechnologiques (biotechnologies blanches) sont fondés sur les fermentations et l'emploi des enzymes.
- Les procédés chimiques sont peu pratiqués dans les filières alimentaires.

Toutes ces opérations sont analysables en termes de transferts de masse, de quantité de mouvement, de chaleur, issus du génie chimique. Toutefois, la complexité propre aux matières agricoles, aux produits

alimentaires intermédiaires (P.A.I.) et aux aliments impose de suivre, pour chaque opération, les structures à leurs différentes échelles et leur dynamique réactionnelle. C'est la complémentarité des approches matière et génie des procédés qui génère l'originalité des technologies agroalimentaires. D'autres techniques strictement mécaniques sont nécessaires pour la technologie des poudres lors des opérations de broyage.

### 3.2. Procédés traditionnels

Les procédés les plus traditionnels sont le séchage au soleil, le salage, la fumaison ou boucanage, le saumurage, les fermentations – éthanolique (vins, cidres) et lactique (fromages, choucroute, levains de panification) – et la conservation par le sucre et l'acide acétique (vinaigre).

La clé de l'inhibition du développement des micro-organismes est de s'attaquer aux éléments nécessaires à leur croissance : l'eau, l'oxygène, la température. Le séchage est de loin le procédé le plus ancien et le plus répandu. L'addition de sel ou de sucres (saccharose, lactose, glucose, sirops de glucose) permet de réduire l'eau disponible pour les micro-organismes ainsi que les enzymes présentes dans l'aliment. L'acidification, c'est-à-dire la baisse du pH, permet également de réduire – voire d'empêcher – le développement des microbes.

## 4. Principes de l'industrie alimentaire

L'industrie alimentaire est basée sur 4 principes

De transformer les produits par cuisson, fermentation, etc.; d'extraire, séparer, purifier les constituants des produits naturels (sucrierie, huilerie, minoterie, beurrerie, etc.); d'effectuer des mélanges pour obtenir les goûts et/ou les textures voulues (par exemple, en biscuiterie, charcuterie, etc.). de stabiliser les produits de l'agriculture et de la pêche (par séchage, traitements thermiques ou frigorifiques, salage, fumage, confisage, etc.);

**Tableau 01. Développement chronologique des techniques de transformation des aliments**

<i>Transformation traditionnelle</i>	<i>Procédés plus récents (à partir de 1900)</i>	<i>Techniques modernes (après 1960)</i>
Mise en conserve Fermentation Congélation	Cuisson-extrusion	Lyophilisation
Séchage à l'étuve	Congélation et réfrigération Pasteurisation	Traitement par lumière pulsée
Mise en saumure	Stérilisation	Irradiation

Salaison	Ultra Haute Température (UHT)	Champs magnétiques
Fumage		Traitement par micro-ondes
Séchage au soleil		Conditionnement sous atmosphère modifiée
		Chauffage ohmique
		Champs électriques pulsés
		Traitement thermique par atomisation
		Ultra-sonification

## 5. Différents traitements de transformation des aliments

### 5-1- Traitement pour améliorer mes micro-organismes favorables

Depuis des milliers d'années, de nombreux micro-organismes - incluant différents types de bactéries lactiques, certaines moisissures et levures -, ont été utilisés dans les préparations alimentaires. Par exemple dans la production de boissons (bière, cacao, café, thé, vin); de crème aigre, yaourts et fromages; de pains et spécialités boulangères ; de saucisses et de choucroutes. Les micro-organismes contribuent à la fois à la saveur et à la préservation des produits alimentaires, comme ils prennent part à l'éradication des germes prolifiques indésirables. Toutefois, certaines de ces bactéries bénéfiques sont sensibles aux infections virales qui peuvent causer des pertes substantielles de production. En conséquence, les scientifiques travaillent à la création de nouvelles souches résistantes aux virus; d'autres œuvrent à la mise au point de substances nommées « bactéricines » qui puissent, en particulier, inhiber la multiplication des micro-organismes indésirables. Ces micro-organismes génétiquement modifiés pourraient jouer un rôle dans l'augmentation de la sécurité et de la qualité des aliments, et contribuer à générer davantage d'améliorations relatives aux aspects économiques et écologiques de la production alimentaire.

### 5-2- Traitement pour améliorer le goût

La plupart d'entre nous considèrent la sécurité alimentaire comme normale, la tenant pour tacitement admise, et prêtent, de loin, bien plus d'attention aux aspects organoleptiques et pratiques de leur alimentation. Pourtant, à plus d'un égard et de façon sous-jacente, les attentes technologiques sont importantes. Les méthodes de transformation des aliments se perfectionnent et augmentent constamment en vue d'approvisionner le marché de denrées alimentaires plaisantes et commodées à l'emploi vis-à-vis desquelles la demande va croissant. La recherche, chez les fabricants, suit les tendances des consommateurs. Ainsi des efforts sont entrepris pour mesurer l'impact des techniques de préparations alimentaires sur la qualité sensorielle. La taille des particules des ingrédients en poudre détermine si nous percevons une texture comme grumeleuse ou crémeuse. Ceci est important, par exemple, dans le cas des

substituts de graisses à base de glucides. La déshydratation par atomisation ou des sécheurs industriels de haute précision sont utilisés pour régler la taille de la particule à quelques fractions de millimètres près. Par exemple, le son joue un rôle dans l'agrément que l'on prend à manger des chips. En l'occurrence, les chips doivent être suffisamment grosses pour ne pas pouvoir être entièrement introduites en bouche en une seule fois. A défaut de quoi nous n'entendrions pas le « crunch », autrement dit le croustillant qui contribue de façon essentielle à la sensation procurée par les chips.

Les techniques modernes de production et les biotechnologies végétales peuvent être employées pour conférer davantage de saveur aux fruits et légumes. Le goût des petits pois, des tomates comme de nombreux autres fruits et légumes s'améliore avec l'augmentation de la teneur en sucre. Des variétés de fraises, de framboises, d'ananas ou de bananes qui mûrissent lentement et demeurent fermes sont également en cours de développement. En ce qui concerne les produits de la viande, les scientifiques recherchent les causes de diminution du goût et de la texture (c. à d. les fibres de la viande) associée à la réduction désirée de la teneur en graisses. Des aliments qui soient à la fois pauvres en calories et riches en goût pourraient ainsi voir le jour.

### **5-3- Traitements de conservation**

#### **a- Traitements traditionnelles**

##### **➤ Chauffage**

La température de l'aliment est amenée à un niveau qui permet d'inhiber le développement de bactéries, de désactiver les enzymes ou même de détruire des bactéries viables. Les méthodes de cuisson humides classiques sont le blanchiment, l'ébullition, la cuisson à la vapeur et à pression. Les méthodes de cuisson sèche sont la cuisson au four, la friture et le rôtissage. Dans les techniques plus récentes, la chaleur est appliquée par radiation électromagnétique, par exemple les micro-ondes.

Les techniques à Ultra Haute Température (UHT) sont largement utilisées dans l'industrie alimentaire. Elles consistent à chauffer l'aliment à  $\geq 135$  °C pendant au moins une seconde, puis à le refroidir brusquement afin de détruire tous les microorganismes.

La pasteurisation consiste à chauffer l'aliment à au moins 72 °C pendant au moins 15 secondes afin d'éliminer la plupart des agents pathogènes transmis par la nourriture, puis à le refroidir rapidement à 5 °C.

➤ **Refroidissement**

La température de l'aliment est réduite de manière à ralentir sa détérioration, soit en retardant le développement bactérien, soit en désactivant les enzymes provoquant leur dégradation. Les méthodes de refroidissement classiques sont la réfrigération, à des températures avoisinant 5 °C, et la congélation, avec des températures inférieures à -18 °C (inférieures à -196 °C dans les congélateurs commerciaux). Plus la température est basse, plus les aliments peuvent être stockés en toute sécurité. Cependant, les changements importants de température sur des périodes prolongées peuvent entraîner des pertes de nutriments et une décomposition des structures des aliments qui provoquent une réduction importante de la nature et de la valeur nutritionnelle de l'aliment.

➤ **Séchage**

En séchant, le contenu en eau des aliments végétaux est réduit à un niveau tel que les réactions biologiques (telles que l'activité enzymatique et la croissance microbienne) sont inhibées, et la probabilité d'une détérioration de l'aliment est ainsi réduite. Le séchage peut prendre la forme d'une lyophilisation (par ex. les herbes et le café), d'un traitement thermique par atomisation (par ex. le lait en poudre), d'un séchage au soleil (par ex. tomates, abricots) ou d'un séchage en tunnel (par ex. légumes en morceaux).

➤ **Additifs alimentaires**

L'adjonction de sucre ou de sel aux aliments est utilisée depuis la nuit des temps comme méthode de conservation de la nourriture. Elle repose sur le principe que les additifs réduisent l'activité de l'eau des aliments conservés, ce qui empêche le développement des organismes responsables de leur détérioration. Il est également possible de ralentir ou de freiner le développement de certains microorganismes et de les tuer en modifiant le pH de la nourriture (par ex. en ajoutant un acide comme le vinaigre pour la saumure).

Le nombre d'additifs utilisés a augmenté avec l'importance croissante de la transformation des aliments dans notre chaîne alimentaire depuis le XIXe siècle. Les additifs peuvent être naturels, identiques aux naturels, ou artificiels. Tous les additifs contenus dans les aliments transformés doivent être autorisés par l'organisme de réglementation national chargé de la sécurité alimentaire dans chaque pays. La quantité et les types d'additifs contenus dans les aliments sont strictement limités et tout additif doit figurer sur la liste des ingrédients figurant sur l'emballage. En Europe, les additifs autorisés portent le préfixe « E » d'Europe, par ex. E330 correspond à l'acide citrique. L'acide citrique fut isolé pour la première fois en 1784 par le chimiste suédois Carl Wilhelm Scheele, qui le cristallisa à partir de jus de citron.

## **B) Nouvelles technologies**

Nombre des méthodes traditionnelles de conservation entraînent des pertes inévitables de niveaux de nutriments et peuvent avoir des conséquences négatives sur la nature du produit lors de la transformation. Les technologies récentes, souvent qualifiées de « traitements minimaux », visent à produire des aliments sûrs, d'une qualité nutritionnelle supérieure, et dotés de qualités organoleptiques et de conservation élevées. Chaque nouveau procédé est testé en profondeur afin de s'assurer que ses effets sur la valeur nutritionnelle sont totalement mesurés.

### **➤ Traitement aux micro-ondes**

Le traitement aux micro-ondes consiste en un chauffage par radiation, par opposition aux techniques plus classiques de chauffage par convection ou par conduction. Les micro-ondes sont transmises efficacement dans l'eau mais pas par le plastique ni le verre, elles sont reflétées par les métaux. C'est l'oscillation des molécules d'eau dans la nourriture qui entraîne son réchauffement. L'eau n'étant généralement pas répartie équitablement dans un aliment, il est indispensable de remuer de temps en temps pour assurer un chauffage uniforme et une manipulation sûre de l'aliment. La cuisson par micro-ondes est une méthode rapide, qui nécessite un ajout réduit d'eau et entraîne par conséquent une perte de nutriments moindre que d'autres formes de cuisson.

### **➤ Préparation/stockage/conditionnement sous atmosphère modifiée**

La préparation en atmosphère modifiée peut être définie comme « l'emballage de produits alimentaires sous film étanche aux gaz dans lequel l'environnement gazeux est modifié ». L'atmosphère dans laquelle les aliments sont préparés, conditionnés ou stockés subit des modifications contrôlées destinées à inhiber le développement de bactéries. Les gaz employés sont généralement l'oxygène, le gaz carbonique et l'azote. Ce type de conditionnement peut se faire sous vide ou par l'introduction d'un gaz pendant l'emballage. Une évolution récente de ce procédé consiste à adopter un conditionnement actif, dans lequel l'atmosphère change en permanence pendant la durée de conservation du produit. Des films absorbant l'oxygène ou émettant du gaz carbonique par exemple peuvent être utilisés. La réduction des niveaux d'oxygène et l'augmentation du gaz carbonique inhibent la croissance microbienne.

La viande, le poisson et le fromage sont autant de produits qui « ne respirent pas » et qui nécessitent des films très peu perméables aux gaz pour conserver le mélange initial de gaz dans l'emballage. En outre, l'interaction du film de conditionnement avec le produit est importante pour les produits « qui respirent », tels que les fruits et les légumes. Il est possible d'adapter la perméabilité au gaz du film d'emballage à la respiration du produit, de manière que l'équilibre du mélange gazeux se fasse dans le conditionnement et que la durée de conservation du produit soit allongée.

➤ **Irradiation**

Le traitement par rayonnement ionisant est un type particulier de transfert d'énergie au cours duquel la quantité d'énergie transférée est suffisamment élevée pour provoquer l'ionisation. Il permet d'agir sur les processus biologiques et de les interrompre afin d'augmenter la durée de conservation des produits frais. Il peut également servir à stériliser les matériaux d'emballage. Les effets biologiques bénéfiques de l'irradiation sont l'inhibition de la germination, le retardement du mûrissement et l'élimination des insectes. Sur le plan microbiologique, l'irradiation supprime les microorganismes pathogènes et ceux qui entraînent la détérioration. Le principal avantage de l'irradiation est qu'elle passe dans les aliments, tue les microorganismes, mais puisqu'elle ne chauffe pas la nourriture, elle n'a qu'un effet marginal sur la composition nutritionnelle. Les protéines et les glucides peuvent être décomposés dans une certaine mesure, mais leur valeur nutritionnelle en est peu affectée.

La réglementation européenne en matière d'alimentation (1999/2/EC et 1999/3/EC) stipule que le traitement à radiation ionisante d'un aliment est autorisé uniquement si:

- le besoin technologique est raisonnable ;
- Il ne présente aucun danger pour la santé ;
- Il est bénéfique pour les consommateurs ;
- Il n'est pas utilisé en remplacement des pratiques liées à l'hygiène et à la santé ou des bonnes pratiques de fabrication ou agricoles.

Dans le respect de la réglementation européenne, il doit être indiqué clairement sur l'étiquette qu'un aliment est irradié ou qu'il contient des ingrédients irradiés.

➤ **Chauffage ohmique**

Il s'agit d'un traitement thermique au cours duquel la chaleur est générée en interne par le passage en alternance de courants électriques dans l'aliment, lequel agit comme une résistance électrique. Ce procédé est également connu sous le nom de « chauffage par résistance », ou de « chauffage direct par résistance ». Il ne s'appuie pas sur le transfert d'énergie par des particules d'eau et il constitue par conséquent un développement important pour chauffer efficacement les aliments à faible teneur en eau et en particules. C'est une méthode à haute température et de courte durée (HTST) qui limite les possibilités de sur traitement à haute température et les éventuelles pertes de nutriments associées. Un autre avantage du chauffage ohmique est qu'il respecte la structure délicate de certains aliments, comme les fraises.



➤ **Ultra haute pression**

La technologie de la haute pression soumet les aliments à des pressions de l'ordre de 100 à 1 000 mégapascals, généralement pendant 5 à 20 minutes. Elle permet l'inactivation des microorganismes, la modification du bio polymère provoquant par exemple la formation de gel et la conservation de caractéristiques telles que la couleur, la saveur et les nutriments. Elle possède la capacité unique d'agir directement sur les liaisons non covalentes (comme les liaisons hydrogènes, ioniques et hydrophobiques) sans impact sur les liaisons covalentes, sans recourir à la chaleur. En conséquence, elle permet de conserver les vitamines, pigments et les composants de saveur tout en inactivant les microorganismes ou les enzymes qui pourraient avoir un effet négatif sur la fonctionnalité de la nourriture en raison de la détérioration des aliments.

➤ **Impulsions lumineuses**

Cette méthode recourt à des éclats intermittents de lumière blanche (20 % d'UV, 50 % de visibles et 30 % d'infrarouges) avec une intensité déclarée équivalente à 20 000 fois celle du soleil à la surface de la Terre. La fréquence standard des pulsations est de un à vingt éclairs par seconde. Celles-ci réduisent fortement la surface des microorganismes lorsqu'elles sont appliquées à la viande, au poisson et aux produits de boulangerie. Cette technique, idéale pour la décontamination de la surface des matériaux d'emballage, fonctionne mieux sur des surfaces lisses, exemptes de poussière.

➤ **Champs électriques pulsés**

Ce procédé implique l'application de courtes pulsations répétées d'un champ électrique à haute tension (10 à 50 kV/cm) sur un fluide pompable circulant entre deux électrodes. Il ne fait pas appel à l'électricité pour produire de la chaleur, mais il inactive les microorganismes en brisant la paroi et les membranes des cellules exposées à des pulsations à haute tension. Cette technique est principalement utilisée dans le cas de produits réfrigérés ou à température ambiante. Étant appliquée pendant une seconde ou moins, elle n'entraîne pas le chauffage du produit. C'est pourquoi elle présente des avantages sur le plan nutritionnel par rapport aux procédés thermiques classiques qui détériorent les nutriments sensibles à la chaleur

