

Mécanique & technologie alimentaires

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 08.01.Q14

janvier 2023

Mots clés : technologie alimentaire - mécanique - mécanisation - opération manufacturière - assemblage

Présenter la technologie alimentaire sous l'angle de la mécanique est inhabituel, puisque, dans ce domaine, les chercheurs s'intéressent surtout aux aspects biochimiques et biologiques.

Toutefois, pour les opérateurs de ces activités – que ce soit au niveau artisanal ou industriel – le regard est différent, puisque le plus gros de leur travail consiste à faire fonctionner des machines.

Cette fiche suit le produit à partir de la récolte, de la sortie de l'abattoir ou du bateau de pêche) jusqu'au produit prêt à être livré au commerce. Elle exclut donc la production agricole, l'élevage et la pêche, activités où la mécanique est aussi importante mais où elle a, depuis longtemps, droit de cité : c'est le machinisme agricole qui a ses syndicats professionnels, ses centres techniques et de recherche.

En technologie alimentaire, la mécanique, intervient à plusieurs niveaux : la conception et la réalisation des bâtiments, mais aussi le choix et l'exploitation des machines industrielles polyvalentes (pompes, convoyeurs, cuves, etc.). Tout ceci n'a rien de spécifique à la technologie alimentaire, en revanche, considérons les traitements apportés au produit : la transformation des produits issus de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche en produits alimentaires, nécessite un certain nombre d'opérations destinées à permettre leur commercialisation, ce qui implique une certaine capacité de conservation, et souvent une formulation et une présentation particulières.

Dans ces opérations, la mécanique intervient de deux manières, puisqu'elles s'effectuent :

- soit sur un produit en vrac : des liquides ou des solides, granulaires ou pulvérulents ;
- soit sur des objets individualisés : des objets solides durs ou mous, tous manipulables.

Opérations mécaniques sur de la matière en vrac

Ces opérations sont classiques dans l'industrie, puisqu'on les retrouve dans la chimie, ou dans le traitement des minerais et des matériaux de construction, etc. ; les exemples qui suivent montrent qu'elles ont aussi une grande place dans la technologie alimentaire.

Le broyage et le tamisage : ces opérations sont à la base de la minoterie. Un moulin moderne en met en œuvre une combinaison pour produire les différentes farines demandées par la boulangerie. Dans un contexte très différent, une étape-clé de la chocolaterie est le conchage de la pâte à base de beurre de cacao : c'est un broyage très fin de cristaux de sucre et de grains de cacao, de sorte que l'on ne sente plus que le moelleux de cette pâte sur la langue.

La filtration solide/liquide : les plus gros filtres sont mis en œuvre en sucrerie, que ce soit de betterave ou de canne, lors de l'épuration des jus sucrés ; l'ajout de chaux et de dioxyde de carbone (CO₂) permet d'extraire du jus le carbonate de calcium qui s'est formé, entraînant les impuretés. On filtre aussi de nombreuses boissons pour les clarifier : la bière, les jus de fruits, le vin, etc. Des capteurs optiques permettent, si nécessaire, de piloter ces appareils. Lorsque les particules à séparer sont très fines (inférieures à 0,1µm), on parle de microfiltration, opération qui peut aller jusqu'à l'épuration microbiologique.

Allant plus loin dans cette voie, on peut par filtration séparer des molécules : c'est l'ultrafiltration, faisant appel à une série de techniques qui a fait une percée en laiterie-fromagerie depuis une quarantaine d'années ; la séparation par filtration d'une partie des protéines du lait ouvre la voie à des façons nouvelles de faire du fromage, évitant toute une phase d'égouttage du caillé.

Enfin, avec des membranes denses et non plus poreuses, l'osmose inverse permet de séparer l'eau de petites molécules en solution comme le chlorure de sodium (NaCl) : on peut donc concentrer des jus de

fruits (voire dessaler l'eau de mer), toutefois il faut appliquer de hautes pressions pour vaincre la pression osmotique de cette solution ; il ne s'agit cependant plus d'opérations purement mécaniques, car les aspects physico-chimiques de la membrane sont importants. De fait, l'osmose inverse est peu utilisée en technologie alimentaire en raison de son coût.

Le pressage est une des opérations les plus traditionnelles de la technologie alimentaire, puisque, depuis des millénaires, on presse les olives ou les noix pour faire de l'huile, ou le raisin pour faire du vin. On presse aussi toutes sortes d'autres fruits pour produire des jus, comme la pomme (d'où viendra le cidre), l'orange, etc. La canne à sucre, elle, est pressée dans d'énormes moulins cylindriques horizontaux, premier stade de la sucrerie de canne. Le pressage est important aussi dans le traitement de la luzerne avant déshydratation thermique, ainsi que dans le traitement de déchets comme la drèche de brasserie ou la pulpe de betterave.

La décantation permet de séparer des solides et des liquides (comme la filtration et le pressage, mais avec une moindre dépense d'énergie). Elle intervient à grande échelle dans le traitement des eaux résiduaires ; le facteur-clé étant la surface de décantation, l'opération est souvent effectuée dans les grands bassins circulaires que l'on voit à proximité des usines.

Lorsque la décantation spontanée (dite gravitaire) – sous l'action du poids des objets – n'est pas assez efficace, on recourt à des centrifugations : les centrifugeuses de l'industrie alimentaire appliquent des accélérations plusieurs milliers de fois supérieures à l'accélération de la pesanteur. L'une des plus importantes applications est la séparation caillé/lactosérum de lait : la phase solide obtenue constitue la base du fromage blanc, tandis que le lactosérum est un effluent souvent valorisé en alimentation animale.

Les cyclones et les hydrocyclones sont des séparateurs centrifuges sans pièce mobile ; les cyclones sont visibles sur le toit des usines ou des ateliers lorsqu'ils servent de dépoussiéreurs. L'effet de séparation s'obtient par la rotation rapide de l'air ou de l'eau dans l'appareil, les particules s'accumulant sur les parois et glissant vers le bas. Les hydrocyclones sont beaucoup plus petits (parfois quelques centimètres) et sont utilisés en batterie ; ils servent par exemple en amidonnerie.

La décantation – qu'elle soit gravitaire ou centrifuge – s'utilise aussi pour séparer deux liquides non miscibles, l'un aqueux, l'autre gras. On la trouve sur nos tables, comme ces saucières qui séparent les deux phases d'une sauce, ou dans l'industrie des parfums sous le nom de *florentin*. En technologie alimentaire, un cas important est la séparation des matières grasses du lait, pour le standardiser, l'écrémer partiellement ou totalement, la partie grasse devenant la base du beurre.

Les opérations ci-dessus ont toutes comme principe de base la mécanique des solides et/ou des liquides.

La mécanique joue aussi un rôle dans beaucoup d'autres opérations, comme les transferts thermiques qui doivent souvent s'accompagner d'agitation, que ce soit dans des cuves de cuisson, dans des évaporateurs ou dans des échangeurs de chaleur à surface raclée pour produits épais ou en surgélation. La technique du *lit fluidisé* – en soufflant verticalement vers le haut de l'air très froid à travers une sole perforée – permet de surgeler des produits comme des petits pois ou autres petits légumes ou fruits, à la fois très rapidement et très uniformément.

La mécanique est aussi présente dans des opérations de transfert de matière, comme la cristallisation ou l'extraction solide/liquide : c'est le cas des énormes diffuseurs des sucreries de betteraves, où un fort degré de malaxage doit être maintenu dans toute la masse de cossettes¹ sucrées parcourues par l'eau chaude d'extraction à contre-courant.

Le séchage des produits épais, comme les purées, se fait par cylindres rotatifs chauffés, sur lesquels on enduit le produit, ensuite décollé puis cassé pour obtenir les flocons de purée séchée.

D'intéressantes techniques de mise en forme et de texturation de la matière utilisent l'extrusion, par exemple pour les pâtes alimentaires. Une technique plus récente est la cuisson-extrusion : la pression est élevée, avec un chauffage permettant d'atteindre la température de fusion de l'amidon ; la sortie du produit se fait avec une expansion due à la vaporisation de l'eau, ce qui donne une porosité au produit. C'est ainsi que sont fabriqués de nombreux snacks pour apéritif. De façon plus avancée, on peut coextruder deux composants, de façon à obtenir, par exemple, un cœur fondant dans une enveloppe croustillante !

On fait aussi appel à la mécanique dans le séchage de liquides comme le lait ou le lactosérum : le liquide est amené au sommet d'une grande tour parcourue d'air chauffé au moins à 180 °C ; là, une buse le pulvérise

¹ languettes de betterave ayant une forme permettant la circulation du jus dans leur tas

en fines gouttelettes qui sèchent rapidement et tombent à la base conique de la tour.

Notons, sur le plan de l'hygiène – point important en une époque de pandémies – que ces opérations sur la matière en vrac (le plus souvent dans des machines fermées) sont relativement faciles à maintenir saines. Des programmes de nettoyage en place (*cleaning in process*), consistant en une circulation périodique de solutions nettoyantes, désinfectantes et rinçantes, assurent la propreté des appareils sans démontage.

Opérations mécaniques sur des produits individualisés : les opérations manufacturières

Les ateliers et usines de transformation alimentaire montrent de très nombreux exemples d'opérations sur des produits se présentant sous forme d'objets individualisés, puisque leur commercialisation ne peut classiquement s'effectuer que sous cette forme. Ainsi les opérations sur objets individualisés y sont présentes depuis l'entrée jusqu'à la sortie, comme l'illustrent les exemples suivants :

Le stockage de matière première, comme des carcasses de viandes que l'on suspend à un câble.

Le découpage et désossage de ces carcasses, opérations souvent à assistance mécanique, mais encore manuelles dans la conduite des outils. Des recherches avancent dans le sens de la robotisation du démontage des grosses carcasses, mais supposent la mise au point de capteurs de formes et de forces. Le filetage des poissons est généralement plus mécanisé.

L'épluchage des fruits au couteau, effectué de façon mécanisée sur produits individuels.

L'inspection et le tri des fruits et légumes entrant à l'usine, après lavage : cette opération peut être visuelle ou automatisée, sur tapis ou en goulotte.

Le tri mécanique de grains de café pour vérifier leur degré de torréfaction, et ceci au vol, sur les grains projetés à partir de goulottes. Les grains non satisfaisants sont rejetés par un petit jet d'air, à un rythme rapide, hallucinant à voir.

Les nombreuses et diverses opérations de mise en forme de produits, souvent pâteux :

- moulage de biscuits ou de brioches, de chocolat et de confiseries, de sucre en morceaux, etc. ;
- formage par extrusion pour les saucisses et saucissons ;
- laminage des pâtes, voire leur feuilletage, avec ajout éventuel de matière grasse entre feuilles.

Le dosage (volumétrique ou pondéral) et le dépôt dans des contenants, de produits liquides, pâteux ou particuliers (paquets, boîtes de conserve, bouteilles, flacons de toutes sortes, etc.), l'action pouvant aller jusqu'au dépôt de morceaux de tomates ou d'anchois sur une pizza ; au stade industriel, si ces opérations ne sont pas manuelles, elles demandent une mécanisation délicate, voire une robotisation associant à la mécanique un système de vision et d'intelligence.

La pesée associative : à partir d'un stock de petites trémies contenant des objets pesés, un ordinateur calcule des lots de produits les plus proches possible d'un poids donné.

La fermeture étanche de contenants, notamment les boîtes de conserve, et leur transport dans les appareils de traitement thermique (stérilisateur, pasteurisateur) ; ce sont là des opérations mécaniques délicates.

Pour beaucoup, les produits ainsi fabriqués sont ensuite assemblés en unités de vente et suremballés² (exemples : 4 pots de yaourt, 6 briques de lait, 12 bouteilles de bière), et ces unités de vente sont assemblées en palettes pour le transport (opérations consommatrices de carton et de films plastiques).

Et cependant, on revient parfois à une pratique ancienne...

On note une tendance récente à revenir à une pratique ancienne : la distribution en vrac de produits transformés ; ceci permet de réduire l'importance des emballages plastiques au nom de l'écologie, le client apportant son propre emballage réutilisable, ou utilisant un emballage papier fourni. Sans retourner au pot à lait, on peut maintenant souvent remplir soi-même des sachets de riz, d'amandes, de lentilles, etc. Une tendance louable, mais va-t-elle durer ?

Des machines pour les machines

Dans l'usine, une grande variété de systèmes (bandes transporteuses, courroies...) assure le transport d'une machine à la suivante. Mais aussi, les machines de conditionnement doivent être approvisionnées en pièces, comme les boîtes vides, les bouteilles, les bouchons et couvercles, les étiquettes, les cartons, la colle, etc.

² Suremballage : emballage assemblant plusieurs objets déjà emballés, pour en faciliter la manutention

Un produit supposé simple est en fait un assemblage complexe !

On mesure mal le fait que la plupart des produits commercialisés sont constitués d'un assemblage de plusieurs objets. Par exemple, une *bouteille d'huile* est assemblage de 4 éléments : l'huile, la bouteille, le bouchon et l'étiquette. Ou encore, une pizza est constituée de pâte, de sauce tomate, de rondelles de tomate, de morceaux de champignons, de saupoudrage de fromage râpé, etc., et la pizza ainsi composée est entourée d'un film plastique, lui-même protégé par un carton : 7 éléments. On va plus encore loin avec une boîte de fromage fondu en portions, avec 8 à 9 éléments en tout :

- le produit est entouré d'un film métallique muni d'une tirette permettant son ouverture, et est recouvert d'une étiquette ;
- plusieurs de ces portions sont déposées dans une boîte de carton, avec parfois un carton intercalaire ;
- la boîte est recouverte d'une étiquette et entourée d'une autre étiquette latérale avec un petit fil d'ouverture ;

Combien de machines sont nécessaires pour monter ces assemblages ? C'est dans ces aspects que la technologie alimentaire s'apparente aux activités mécaniques manufacturières (électroménager, automobile ou meubles).

La mécanisation est bénéfique pour l'hygiène et pour la maîtrise des consommations

La visite d'une usine ou d'un atelier de traitement alimentaire montre l'importance, voire la prééminence, de toutes les opérations manufacturières (quantifiées en surfaces occupées, risques d'incidents), mais aussi révèle le souci des responsables de production par rapport aux opérations sur la matière en vrac.

Le contrôle permanent de l'hygiène des opérations et des produits est fondamental : *a priori*, toute mécanisation d'opérations est plus favorable qu'une manipulation manuelle ; toutefois, cela ne dispense pas de la prise des précautions nécessaires : conception des bâtiments (murs, sols) et des machines, tenues du personnel, assainissement de l'atmosphère, mais aussi procédures de nettoyage-désinfection-rinçage des machines. L'extrême vigilance devient encore plus impérative en périodes de pandémies.

La mécanisation (par robotisation et informatisation) devrait permettre d'aller vers une maîtrise toujours croissante des consommations d'énergie et d'eau, ainsi vers la réduction des gaspillages de matière. L'un des verrous à lever sera souvent la nécessité de mettre au point des capteurs (fréquemment optiques) relatifs aux objets individualisés.

Jean-Jacques BIMBENET, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Ce qu'il faut retenir :

Dans cet article, les procédés de transformation de la matière provenant de l'agriculture ou de la pêche sont présentés de façon inhabituelle sous leur aspect mécanique, dans les ateliers artisanaux ou dans des usines. La mécanique est omniprésente dans ces lignes de production, et ceci de deux façons différentes :

- Lorsque la matière est en vrac (liquide ou pulvérulente), elle est broyée, tamisée, filtrée, ultrafiltrée, pressée, centrifugée, fluidisée, extrudée, etc., toutes opérations classiques en industries chimiques, pharmaceutiques et autres ; ces opérations se prêtent bien aux procédures de nettoyage-désinfection et à l'automatisation.
- Lorsqu'il s'agit des objets individualisés que demande la distribution (comme les bouteilles et les flacons, les boîtes de conserve, les paquets et les sachets, etc.), on doit faire appel à des opérations de mise en forme de produits pâteux (boulangerie ou charcuterie), de découpage de viandes et de poissons, de dosage et de dépôt de produit (en bouteilles, flacons ou barquettes, ou sur des pizzas), d'operculation et de sertissage, etc. En effet, les produits que nous achetons sont très généralement constitués d'assemblages de nombreux éléments.

En artisanat, cela est fait à la main, mais en usine, cela doit être mécanisé, parfois robotisé, et peut poser des problèmes d'hygiène.

Pour en savoir plus :

- Jean-Jacques BIMBENET, Albert. DUQUENOY et Gilles TRYSTRAM : Génie des produits alimentaires, des bases aux applications, Dunod, 2e édition 2007