

Rédactrice
Deborah E. Berkowitz

Table des matières

GÉNÉRALITÉS ET EFFETS SUR LA SANTÉ

| | | |
|---|--|-------|
| Les procédés utilisés dans l'industrie alimentaire | <i>M. Malagie, G. Jensen, J.C. Graham et Donald L. Smith</i> | 67.2 |
| Les effets sur la santé et les types de maladies. | <i>John J. Svagr</i> | 67.8 |
| La protection de l'environnement et les problèmes de santé publique | <i>Jerry Spiegel</i> | 67.13 |

LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

| | | |
|---|--|-------|
| L'industrie de transformation de la viande | <i>Deborah E. Berkowitz et Michael J. Fagel</i> | 67.16 |
| La transformation de la volaille | <i>Tony Ashdown</i> | 67.20 |
| L'industrie des produits laitiers. | <i>Marianne Smukowski et Norman Brusk</i> | 67.25 |
| La production de cacao et l'industrie du chocolat. | <i>Anaïde Vilasboas de Andrade</i> | 67.27 |
| Les céréales, la meunerie et les denrées à base de céréales | <i>Thomas E. Hawkinson, James J. Collins et Gary W. Olmstead</i> | 67.28 |
| Les produits de boulangerie | <i>R.F. Villard</i> | 67.30 |
| L'industrie de la betterave à sucre | <i>Carol J. Lehtola</i> | 67.31 |
| Les huiles et les graisses | <i>N.M. Pant</i> | 67.32 |

● LES PROCÉDÉS UTILISÉS DANS L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE

M. Malagié, G. Jensen, J.C. Graham
et Donald L. Smith*

La dénomination «industries alimentaires» recouvre toute une série d'activités industrielles visant au traitement, à la préparation, à la transformation, à la conservation et au conditionnement des denrées destinées à l'alimentation humaine (voir tableau 67.1). D'origine végétale ou animale, les matières premières utilisées proviennent de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche. Cet article se limite à une vue d'ensemble de ces branches; d'autres textes de l'*Encyclopédie* traitent plus spécialement de certains secteurs alimentaires et de risques particuliers.

Aujourd'hui, l'industrie alimentaire est hautement diversifiée; ses établissements vont de la petite exploitation familiale traditionnelle, qui exige une importante main-d'œuvre, à l'usine fortement mécanisée, fondée sur le grand capital. Nombre d'industries alimentaires dépendent presque exclusivement de l'agriculture ou de la pêche locales. Autrefois, une telle dépendance supposait une production saisonnière et l'embauchage de travailleurs saisonniers. Les progrès techniques en matière de fabrication et de conservation ont libéré les travailleurs de l'obligation de traiter les produits alimentaires rapidement afin d'éviter qu'ils se gâtent. Cette évolution a entraîné une baisse des emplois de ce type même si certains secteurs continuent encore à avoir des activités rythmées par les saisons: c'est le cas pour les fruits et les légumes. D'autres connaissent une hausse de production au moment des vacances comme la boulangerie et la chocolaterie. Les saisonniers sont souvent des femmes et des travailleurs étrangers.

La production mondiale de denrées alimentaires n'a cessé de croître. Les exportations de produits alimentaires dans le monde ont atteint, en 1989, 290 milliards de dollars E.-U., ce qui correspond à une augmentation de 30% par rapport à 1981. A eux seuls, les pays industriels à économie de marché ont assuré 67% de ces exportations. Une large part de cette augmentation est due à la demande accrue de denrées et de boissons, notamment dans les pays en développement où le marché n'est pas encore saturé.

L'essor de la production de denrées et de boissons ne s'est, toutefois, pas traduit par un accroissement de l'emploi. La raison en revient à la concurrence, de plus en plus vive, qui a entraîné une intensification de la production, un renforcement de la mécanisation et, de ce fait, une réduction de la main-d'œuvre dans de nombreux secteurs alimentaires, en particulier dans les pays industriels.

La poussée démographique, l'inégale répartition des ressources agricoles et la nécessité de garantir la conservation des produits pour en faciliter la distribution expliquent la rapide évolution technique dans les industries alimentaires. Les constantes pressions économiques et commerciales imposent à l'industrie de fournir le marché en produits nouveaux et variés, alors que, parallèlement, elle peut continuer à fabriquer un même produit de façon immuable pendant des décennies. Il arrive souvent que des entreprises industrielles de pointe aient recours à des techniques apparemment dépassées pour lancer de nouveaux produits ou de nouveaux pro-

cessus de fabrication. En pratique, pour satisfaire les besoins des populations, il faut garantir une quantité suffisante de denrées alimentaires — ce qui implique une augmentation de la production —, mais il faut aussi, pour obtenir la qualité indispensable au maintien de la santé collective, assurer un contrôle rigoureux de l'hygiène. Seule une modernisation des techniques, motivée par un volume important dans un cadre de production permanent, est de nature à éliminer les risques inhérents à la manutention manuelle. Malgré l'extrême diversité des industries alimentaires, les étapes du traitement peuvent se répartir en manutention et stockage des matières premières, extraction, transformation, conservation et conditionnement.

La manutention et le stockage

La manutention se présente diversement selon qu'il s'agit de matières premières, de produits en cours de transformation ou de produits finis. On tend généralement à réduire la manutention manuelle par la mécanisation, plus précisément par la fabrication en continu et par l'automatisation. La manutention mécanique fait appel à des chariots automoteurs avec ou sans palettisation pour le transport à l'intérieur de l'usine — il peut s'agir de sacs plus ou moins volumineux contenant souvent plusieurs milliers de kilogrammes de produits pulvérulents; de transporteurs à bande (pour les betteraves, les céréales, les fruits, etc.); d'élévateurs à godets (pour les céréales, les poissons, etc.); de transporteurs à vis (pour la confiserie, la farine, etc.); d'installations de transport pneumatique (pour le déchargement des céréales, du sucre ou des noix, pour le transport des farines, etc.).

Le stockage des matières premières est très important dans l'industrie à caractère saisonnier (raffinerie de sucre, brasserie, minoterie, conserverie, etc.). Il se fait généralement en silos, citernes, caves, bacs ou chambres froides. Le stockage des produits finis dépend de leur nature (solide ou liquide), de la méthode de conservation et du mode de conditionnement (vrac, sacs — gros ou géants —, paquets, boîtes ou bouteilles); les locaux correspondants doivent être conçus pour répondre aux conditions de manutention et de conservation (couloirs de circulation, facilité d'accès, température et hygrométrie adaptées aux produits, installations frigorifiques). Les denrées peuvent être soumises à une atmosphère pauvre en oxygène ou à une fumigation pendant leur stockage ou juste avant leur chargement.

L'extraction

Pour extraire un produit alimentaire donné à partir de fruits, de céréales ou de liquides, on peut recourir à plusieurs procédés: le broyage, le concassage, la mouture, l'extraction par la chaleur (directe ou indirecte), l'extraction par des solvants, la dessiccation et la filtration.

Le broyage, le concassage et la mouture sont le plus souvent des opérations préparatoires; il en est ainsi pour le concassage des fèves de cacao et le découpage des betteraves à sucre en cossettes. Dans d'autres cas, le procédé d'extraction se suffit à lui-même, comme la mouture en meunerie.

La chaleur peut être utilisée directement pour préparer le produit à l'extraction, par exemple dans la torrification (cacao, café, chicorée). Mais, le plus souvent, elle intervient, directement ou indirectement, sous forme de vapeur; c'est ce qui se produit dans l'extraction des huiles comestibles ou dans celle du jus sucré des cossettes de betteraves en sucrerie.

L'extraction des huiles peut également se faire par traitement des fruits broyés à l'aide de solvants, lesquels sont ensuite éliminés par filtration et réchauffage. La séparation des produits liquides est réalisée soit par centrifugation (turbines en sucrerie), soit par

* Adapté des articles «Industries de l'alimentation», par M. Malagié; «Congélation des aliments», par G. Jensen; et «Conseils alimentaires», par J.C. Graham, publiés dans la 3^e édition de l'*Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*, et révisés par Donald L. Smith.

Tableau 67.1 • Matières premières et procédés utilisés dans les industries alimentaires

| Type d'industrie | Produits mis en œuvre | Conditions de stockage | Modes de transformation | Modes de conservation | Conditionnement des produits finis |
|--|---|--|---|--|--|
| Traitement et conservation de la viande | Bœuf, agneau, porc, volaille | Chambres froides | Abattage, dépeçage, désossage, broyage fin, cuisson | Salaison, fumaison, réfrigération, surgélation, stérilisation | Vrac, boîtes métalliques, cartons |
| Traitement du poisson | Toutes les espèces de poissons | Chambres froides, en vrac (après salage), en tonneaux | Étêtage, vidage, prélèvement des filets, cuisson | Surgélation, séchage, fumaison, stérilisation | Vrac (en conteneurs réfrigérés), boîtes métalliques |
| Conservation des fruits et légumes | Fruits et légumes frais | Traitement immédiat. Eventuellement, pour les fruits, stabilisation au dioxyde de soufre | Blanchiment ou cuisson, broyage, concentration des jus sous vide | Stérilisation, pasteurisation, séchage, déshydratation, lyophilisation (dessiccation par le froid) | Sachets, boîtes métalliques, bouteilles en verre ou en plastique |
| Meunerie | Céréales | Silos. Eventuelles fumigations pendant le stockage | Broyage, mouture, blutage | Etuvage, cuisson | Silos (transportés par des convoyeurs pneumatiques), sacs (destinés à d'autres traitements), boîtes (pour le commerce de détail) |
| Boulangerie | Farine, autres matières sèches, eau, huiles | Silos, sacs — gros ou géants | Pétrissage, fermentation, laminage, traitements de surface, assaisonnements | Cuisson, entaillage de la surface, emballage | Emballage pour le commerce de gros, les restaurants et la grande distribution |
| Biscuiterie | Farine, crème, beurre, sucre, fruits, épices | Silos, sacs — gros ou géants | Malaxage, pétrissage, laminage, façonnage | Cuisson, entaillage de la surface, emballage | Sacs, boîtes (pour les collectivités et le commerce de détail) |
| Fabrication de pâtes alimentaires | Farine, œufs | Silos | Pétrissage, mouture, filage ou moulage | Séchage | Sacs, paquets |
| Sucrierie et raffinerie | Betterave à sucre, canne à sucre | Silos | Broyage, macération, concentration sous vide, centrifugation, séchage | Cuisson sous vide | Sacs, paquets |
| Chocolaterie et confiserie | Fèves de cacao, sucre, graisses | Silos, sacs, chambres conditionnées | Torréfaction, broyage, mélange, conchage, moulage | — | Paquets |
| Brasserie | Orge, houblon | Silos, foudres, caves conditionnées | Concassage du grain, maltage, brassage, filtration, fermentation | Pasteurisation | Bouteilles, boîtes, fûts |
| Distillerie et fabrique d'autres boissons | Fruits, céréales, eau gazeuse | Silos, citernes | Distillation, assemblage, gazéification | Pasteurisation | Fûts, bouteilles, boîtes |
| Laiterie et fabrication de produits laitiers | Lait, sucre, autres ingrédients | Traitement immédiat. Ensuite, cuves d'affinage, cuves conditionnées, chambres froides | Ecrémage, barattage (beurre), emprésurage (fromage), affinage | Pasteurisation, stérilisation ou concentration, dessiccation | Bouteilles, emballages plastifiés, boîtes (fromage) ou non conditionnés |
| Fabrication des huiles et des graisses | Arachides, olives, dattes, autres fruits et graines, graisses animales ou végétales | Silos, citernes, chambres froides | Broyage, extraction par un solvant ou par la vapeur, filtration | Pasteurisation, si nécessaire | Bouteilles, paquets, boîtes |

filtration (filtres-presses en brasserie, ainsi que pour la production de l'huile et des graisses).

Les procédés de transformation

Les opérations de transformation des aliments sont extrêmement variées et ne peuvent être décrites que dans l'étude particulière de chacune des branches. D'une manière générale cependant, les procédés utilisés sont la fermentation, la cuisson, la déshydratation et la distillation.

Communément obtenue par addition d'un micro-organisme au produit préalablement préparé, la fermentation est pratiquée en

boulangerie, en brasserie, dans la production des vins et des spiritueux et en fromagerie (voir chapitre n° 65, «L'industrie des boissons»).

La cuisson participe à de nombreuses opérations de fabrication: la mise en boîtes et la conservation de la viande, du poisson, des légumes et des fruits; la transformation de la viande en produits «prêts à consommer» (pépites de poulet, par exemple); en boulangerie, biscuiterie, brasserie, etc. Dans d'autres cas, la cuisson s'effectue sous vide et permet d'obtenir une concentration du produit (raffinage du sucre, fabrication du concentré de tomate, par exemple).

Mis à part le séchage au soleil, auquel on a recours pour de nombreux fruits exotiques, la déshydratation peut être réalisée de diverses façons: séchage à l'air chaud, à l'aide de séchoirs fixes ou de tunnels sécheurs; séchage par contact, sur un tambour de séchage chauffé à la vapeur, comme pour la fabrication du café soluble et pour celle du thé; dessiccation sous vide, souvent associée à une filtration; lyophilisation, ou dessiccation par le froid, le produit étant congelé avant d'être séché sous vide dans une pièce chauffée.

La distillation intervient dans la fabrication des spiritueux: le liquide fermenté, obtenu à partir de grains ou de fruits, est vaporisé dans un alambic; la vapeur condensée est ensuite recueillie sous forme d'alcool éthylique.

Les procédés de conservation

Il importe d'empêcher toute altération des produits alimentaires, à la fois pour assurer leur qualité, mais aussi pour prévenir le risque, plus grave, de contamination ou d'atteinte à la santé des consommateurs.

Il existe six méthodes fondamentales de conservation des aliments:

1. la stérilisation par la chaleur;
2. la stérilisation par irradiation;
3. la stérilisation par addition d'antibiotiques;
4. l'action chimique;
5. la déshydratation;
6. la conservation par le froid.

On peut dire, sans entrer dans les détails, que les trois premières méthodes détruisent les micro-organismes et que les trois dernières en inhibent le développement. Les denrées crues, comme les poissons, les viandes, les fruits ou les légumes, sont prises à l'état frais et conservées par l'un ou l'autre procédé. On peut aussi traiter un mélange de produits, le transformer en plat préparé, puis le conserver. Les potages, les viandes cuisinées et les desserts appartiennent à cette catégorie.

La conservation de la nourriture remonte à la dernière période glaciaire, vers 15 000 ans avant J.-C., lorsque l'homme de Cro-Magnon découvrit le séchage par fumage. En témoignent les sculptures, gravures et peintures qui nous sont parvenues, notamment dans les grottes de la région des Eyzies-de-Tayac-Sireuil en Dordogne (France). Depuis ces temps reculés, de nombreuses autres méthodes ont vu le jour. Toutefois, la cuisson reste la technique de base de la conservation des aliments.

Les procédés à haute température peuvent, selon la température et la durée de cuisson, détruire entièrement les bactéries. La stérilisation (surtout pratiquée dans les conserveries) consiste à soumettre les produits, préalablement mis en boîtes, à l'action de la vapeur, généralement dans un récipient hermétiquement clos tel qu'un autoclave ou un cuiseur en continu. La pasteurisation — le terme est réservé à des liquides tels que les jus de fruit, la bière, le lait et la crème — s'effectue à une température plus basse et en un temps plus court. Le fumage, employé essentiellement pour les poissons et les viandes, assure la dessiccation du produit et lui confère un goût particulier.

La stérilisation par rayonnements ionisants est très utilisée pour les épices, dans certains pays, car elle permet de réduire les pertes et les déchets. «La pasteurisation par irradiation», qui met en œuvre des doses bien plus faibles, allonge très sensiblement la durée de conservation de nombreux aliments réfrigérés. Il faut toutefois noter que la stérilisation des conserves par rayonnement requiert des doses telles que la saveur et l'odeur en sont inacceptables. Les rayonnements ionisants se prêtent à deux autres utilisations

dans l'industrie alimentaire: la détection de corps étrangers dans les denrées emballées et celle d'éventuels défauts de remplissage.

Couramment utilisée dans le secteur alimentaire, la stérilisation par micro-ondes a recours au rayonnement électromagnétique; elle a pour fonction de dégeler rapidement des ingrédients congelés crus ou de chauffer, en deux à trois minutes, des aliments cuits congelés. Cette méthode, qui s'accompagne d'une perte hydrique infime, préserve l'aspect des produits et n'en altère pas le goût.

Le séchage est un procédé de conservation courant. Le séchage au soleil demeure la formule la plus ancienne et la plus répandue. Aujourd'hui, les denrées peuvent être séchées par ventilation d'air sec, à la vapeur surchauffée, sous vide, en atmosphère inerte ou par chauffage direct. Il existe de nombreux types d'étuves, le choix du modèle dépendant de l'aliment à conserver, de la forme qu'on souhaite lui donner, etc. La déshydratation, quant à elle, consiste à faire passer l'aliment dans un courant d'air chaud et sec, qui se charge de son humidité, la vapeur d'eau étant ensuite entraînée par l'air.

Les modes de conservation qui font intervenir le froid comportent l'entreposage en chambre froide (la température est déterminée par la nature des produits), la congélation et la surgélation, cette dernière permettant aux aliments de garder leur fraîcheur aussitôt. Au fur et à mesure qu'elle disparaît, la glace est sublimée et l'eau de constitution résiduelle remonte à la surface du produit à travers sa structure poreuse.

La cryodessiccation consiste à congeler le produit, puis à le placer dans une chambre à vide, sous pression réduite, maintenue à moins de 1 mm Hg, et à le chauffer, afin de faire fondre la glace superficielle et d'évacuer la vapeur en laquelle elle se transforme aussitôt. Au fur et à mesure qu'elle disparaît, la glace est sublimée et l'eau de constitution résiduelle remonte à la surface du produit à travers sa structure poreuse.

Les denrées à degré d'humidité moyen présentent une teneur en eau relativement élevée (5 à 30%). Elles ne tolèrent pas, cependant, une croissance microbienne. La technique complexe de conservation qui leur est appliquée est dérivée de l'aéronautique. La stabilité des produits en stockage ouvert est assurée par un contrôle approprié de l'acidité, du potentiel redox, des agents humectants et des conservateurs. La plupart des applications actuelles concernent les aliments pour animaux de compagnie.

Quel que soit le mode de conservation, les aliments sont d'abord préparés. Les conserveries de viande disposent d'une section boucherie. Les poissons doivent être nettoyés, vidés, débités en filets, salés, etc. Avant que les fruits et les légumes puissent être conservés, il est indispensable qu'ils soient lavés, nettoyés, blanchis, éventuellement triés, pelés, égrappés, décortiqués, dénoyautés, etc. Beaucoup d'aliments sont hachés, coupés en tranches, émincés ou pressés.

Le conditionnement

Il existe de nombreuses techniques de conditionnement, par exemple, la mise en boîtes, la conservation aseptique et la congélation.

La mise en boîtes

La méthode traditionnelle de la mise en boîtes repose sur l'invention du Français Nicolas Appert, auquel le gouvernement de la France décerna en 1810 un prix de 12 000 francs. Ce pionnier stérilisait les aliments dans des bocaux en verre. C'est à Dartford (Angleterre), en 1812, que Bryan Donkin et John Hall fondèrent la première fabrique de conserves utilisant un emballage en fer-blanc.

Aujourd'hui, l'industrie des conserves emploie plusieurs millions de tonnes de fer-blanc, chaque année, dans le monde. Le conditionnement en bocaux en verre reste néanmoins pratiqué

pour une part non négligeable de la conserverie. La mise en boîtes consiste à placer des aliments lavés, crus ou partiellement cuits, mais non intentionnellement stérilisés, dans des boîtes fermées par un couvercle soudé. Les boîtes sont chauffées, généralement à la vapeur et sous pression, à une certaine température et pendant une durée déterminée, de façon que la chaleur pénètre bien jusqu'au cœur et détruise les micro-organismes. Les boîtes sont ensuite refroidies, à l'air ou dans de l'eau chlorée, puis étiquetées et emballées.

Au fil des années, le procédé a évolué. Des stérilisateur continus sont apparus, dans lesquels les boîtes subissent moins de chocs et qui permettent le refroidissement et le séchage en atmosphère close. Les denrées alimentaires peuvent également subir un traitement thermique dans des sachets stérilisables en autoclave. Ce sont des sacs de petite section, faits de lamelles d'aluminium et de plastique scellable à la chaleur. Le traitement est identique à celui de la mise en boîtes classique, mais les produits doivent présenter des qualités de goût supérieures, car le temps de stérilisation peut être réduit. Un contrôle extrêmement attentif du procédé permet d'éviter toute défectuosité au niveau de la fermeture thermique et donc d'empêcher une contamination bactérienne.

Le conditionnement aseptique

Des progrès sont intervenus dans le conditionnement aseptique des aliments. Le procédé est fondamentalement différent de la mise en boîtes traditionnelle. Dans la méthode aseptique, le contenant et son couvercle sont stérilisés séparément, le remplissage et le sertissage du contenant s'effectuent en atmosphère stérile. La qualité du produit est optimale, car le traitement de ce produit par la chaleur peut être rigoureusement contrôlé et ne dépend ni de la taille ni du matériau du contenant. L'exposition du personnel aux agents stérilisateurs est ici importante. Selon toute vraisemblance, ce procédé est appelé à se développer dans la mesure où il permet des économies de main-d'œuvre. A ce jour, le progrès le plus important concerne les liquides et purées stérilisés par le procédé UHT (ultra haute température), qui consiste à porter un produit à haute température pendant quelques secondes. Une évolution est prévisible pour des denrées particulières. Ainsi les usines alimentaires seront-elles moins bruyantes lorsque les récipients en métal rigide auront été remplacés. Sans compter que ces récipients peuvent être à l'origine de problèmes de contamination des aliments conservés, par le plomb ou l'étain. On s'efforce d'y remédier par l'emploi de nouveaux contenants: les uns, en deux parties, faits de fer-blanc verni, et les autres, en trois parties, dont les joints latéraux sont sertis à chaud au lieu d'être soudés.

Le conditionnement par congélation

L'industrie de la congélation utilise toutes les méthodes de surgélation des aliments frais; elle consiste à abaisser leur température au-dessous de leur point de congélation, ce qui entraîne la formation de cristaux de glace dans les tissus contenant de l'eau. Les aliments sont congelés tels quels ou partiellement cuits (par exemple, les quartiers de viande, les plats de viande préparés, les poissons et les produits à base de poisson, les légumes, les fruits, les volailles, les œufs, les mets cuisinés, le pain et les gâteaux). Les denrées périssables congelées peuvent supporter de longs trajets et être stockées en vue d'être transformées ou vendues à la demande; les produits saisonniers sont ainsi disponibles à tout moment de l'année.

Les aliments destinés à la congélation doivent être d'une qualité irréprochable et préparés sous contrôle sanitaire rigoureux. Les emballages doivent être imperméables à la vapeur et aux odeurs et résister aux basses températures. La vitesse de l'abaissement de la température influe sur la qualité du produit; si elle est trop

lente, les tissus peuvent être détériorés par des cristaux trop gros, et les enzymes et les micro-organismes détruits. Les denrées de petit volume, comme les crevettes ou les petits pois, peuvent être congelées rapidement, ce qui contribue à en améliorer la qualité.

Il existe divers procédés de congélation: à l'air, par air pulsé, en lit fluidisé, par trempage dans un bain liquide, par contact dans des appareils à plateaux, par pulvérisation d'un gaz liquéfié et, enfin, par déshydratation-congélation.

La congélation à l'air, sous sa forme la plus simple, consiste à entreposer les aliments sur des plateaux, eux-mêmes placés sur les rayonnages d'une chambre froide, à une température d'environ $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ et pendant une durée qui, selon la taille des denrées, varie de quelques heures à trois jours. Plus complexe, la congélation par air pulsé utilise un courant d'air froid circulant à grande vitesse et qui est parfois associé à des serpentins de refroidissement; cet air pulsé élimine la chaleur par rayonnement. Les températures se situent entre -40 et $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, la vitesse maximale du courant d'air est de 5 m/s . La congélation par air pulsé peut être effectuée dans des tunnels de congélation souvent équipés de convoyeurs pour l'acheminement des aliments vers les entrepôts frigorifiques. Quand le tunnel et l'entrepôt sont contigus, le tunnel est souvent fermé par un rideau d'air en guise de porte.

La congélation en lit fluidisé est employée pour les légumes coupés en morceaux ou émincés, les petits pois, etc. Les aliments sont placés sur un tapis perforé à travers lequel circule un courant d'air. Chaque article se trouve recouvert de glace; ainsi conserve-t-il sa forme et sa texture. Les légumes congelés sont entreposés dans de vastes conteneurs, puis, au fur et à mesure des besoins, conditionnés en petits paquets. La congélation par trempage dans un bain liquide est l'une des méthodes les plus anciennes. Les aliments, généralement du poisson, sont immergés dans une forte solution de saumure. Le sel peut pénétrer les denrées non emballées et même à l'intérieur des emballages, ce qui nuit à la saveur et accélère le rancissement. Pour ces raisons, ce procédé avait régressé. Il connaît aujourd'hui un regain de faveur grâce à la mise au point d'emballages en matière plastique plus isolants. Les volailles sont congelées selon une méthode qui combine cette congélation par trempage dans un bain liquide et la congélation à l'air. Chaque volatile, emballé dans du polyéthylène ou dans une matière similaire, est d'abord congelé en surface, par pulvérisation ou par immersion dans un liquide, puis congelé intérieurement par ventilation d'air froid.

La congélation par contact intervient couramment dans le cas de denrées emballées dans des cartons. Les cartons sont posés entre des rayonnages évidés à travers lesquels circule un fluide réfrigérant; les rayonnages sont collés aux cartons, généralement par pression hydraulique.

Dans la congélation par pulvérisation d'un gaz liquéfié, le produit est placé sur une bande transporteuse qui traverse soit un bac d'azote liquide (ou de dioxyde de carbone liquéfié), soit un tunnel dans lequel de l'azote liquide est pulvérisé. La congélation se faisant à une température pouvant atteindre $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, le procédé n'est pas applicable à tous les produits, ni à tous les emballages. La déshydratation-congélation, qui élimine une partie de l'eau avant la congélation, est pratiquée pour certains légumes ou fruits. Elle réduit considérablement le poids du produit et, par conséquent, diminue les coûts de transport, d'entreposage et d'emballage.

Pour l'entreposage au froid, il convient de maintenir la température entre -25 et $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, ainsi que d'assurer une bonne circulation de l'air. Les produits alimentaires congelés sont transportés dans des wagons, des camions, des navires, etc. équipés d'installations frigorifiques. Lors du chargement et du déchargement, leur exposition à la chaleur doit être réduite le plus possible. D'ordinaire, les usines de denrées congelées se chargent aussi de la préparation des produits bruts, mais ce n'est pas toujours le cas.

En ce qui concerne la viande de bœuf et les volailles, le dioxyde de carbone est souvent utilisé pour refroidir et conserver les produits au cours de leur expédition.

Les risques et leur prévention

Les risques d'accidents

Les causes d'accidents les plus courantes dans l'industrie alimentaire sont la manipulation d'ustensiles manuels, notamment des couteaux; le travail sur machines; la collision avec des objets en mouvement ou fixes; les chutes ou les glissades; les brûlures.

Les blessures dues à l'utilisation de couteaux pour la préparation de la viande et du poisson peuvent être limitées par la conception du poste de travail et par son entretien, par le choix du couteau le mieux adapté à ce travail, par la fourniture de gants et de tabliers de protection solides, ainsi que par la formation des travailleurs à l'aiguisage et au maniement des couteaux. Pour être mécaniques, les appareils de découpage n'en sont pas moins dangereux; un entretien vigilant et une formation appropriée du personnel sont nécessaires pour prévenir tout risque (voir figure 67.1).

Bien qu'ils soient relativement rares, les accidents dus aux mécanismes de transmission peuvent être graves. Les risques liés aux machines et aux systèmes de manutention doivent faire l'objet d'études particulières en fonction de la branche. Les problèmes de manutention peuvent être abordés à partir de l'histoire des accidents survenus dans chacun des processus; une solution peut y être apportée grâce à l'emploi de protections individuelles efficaces pour les pieds, les jambes, les mains, les bras, les yeux et le visage. Les risques liés aux machines peuvent être évités par une protection sûre des installations. Les dispositifs de manutention mécanique, notamment les convoyeurs, sont extrêmement courants, et les pinces en mouvement méritent une attention toute particulière. Les machines utilisées pour le remplissage et la fermeture des contenants doivent être encoffrées, à l'exception des ouvertures permettant l'arrivée et la sortie des produits. Les accès aux bandes transporteuses, aux tambours, aux poulies et à l'engrenage doivent être rigoureusement protégés. Pour éliminer le risque de coupures lors de la mise en boîtes, par exemple, des moyens doivent être mis en œuvre qui évacuent les déchets métalliques ou le verre brisé. Les très graves lésions provoquées par le démarrage intempestif du mécanisme de transmission, au cours du nettoyage ou de l'entretien, peuvent être évitées par une procédure stricte d'interdiction d'accès par verrouillage/affichage.

Les chutes résultent, la plupart du temps, des circonstances ci-après:

- *L'état des sols.* Des accidents peuvent se produire sur les sols irréguliers, mouillés ou rendus glissants soit par leur nature même ou par la présence de produits, de déchets alimentaires gras ou huileux, ou encore de poussières, soit enfin, dans les chambres froides, par condensation de l'air humide. Des revêtements antidérapants contribuent à éviter les chutes. Le choix rationnel du revêtement, un nettoyage soigneux et un entretien correct, ainsi que le port de chaussures appropriées permettent de les réduire. L'installation de rebords autour des machines contenant de l'eau empêche le trop-plein de se répandre sur le sol. Un système de drainage efficace devrait, en outre, faciliter son écoulement rapide en cas de débord.
- *Les fosses et les rigoles d'écoulement non couvertes.* La mise en place d'une protection couvrante ou d'une barrière isolant le danger est nécessaire.
- *Le travail en hauteur.* De nombreux accidents peuvent être évités si les moyens d'accès aux installations et aux zones de stockage sont sûrs, si les échelles sont solides et si l'on prévoit des dispositifs antichute, comme les harnais de sécurité et les cordes d'assurance.

- *La vapeur ou les poussières.* Les opérations qui dégagent de la vapeur ou des poussières sont susceptibles de rendre le sol glissant et de nuire à la visibilité.
- *Un éclairage insuffisant ou incompatible.* L'éclairage doit être assez intense pour permettre aux opérateurs de suivre le processus. Il apparaît impropre, lorsque les entrepôts semblent obscurs en comparaison des lieux de production et que l'adaptation visuelle ne se fait pas quand les yeux se déplacent d'une zone à l'autre.

Il n'est pas rare de se brûler ou de s'ébouillanter au contact de liquides très chauds, d'appareils de cuisson, voire de la vapeur et de l'eau chaude utilisées pour nettoyer le matériel. Des accidents plus graves encore peuvent résulter de l'explosion de chaudières ou d'autoclaves, accidents imputables à la négligence dans l'inspection du matériel, à la formation insuffisante du personnel, aux modes opératoires inadéquats ou au manque d'entretien. En effet, tous les appareils à vapeur requièrent un entretien régulier et consciencieux de façon à prévenir les fortes explosions comme les petites fuites.

Les installations électriques, particulièrement dans les locaux mouillés et humides, appellent des mesures efficaces de mise à la terre et d'entretien afin de maîtriser les risques habituels de choc électrique. Outre une mise à la terre correcte, l'installation, sur les prises, de disjoncteurs différentiels assure à cet égard une protection efficace.

A chaque situation à risque correspond un matériel électrique spécifique. Ainsi, souvent, des ingrédients aromatiques, des déchets ou des matières pulvérulentes inflammables, telles que les poussières de céréales, l'amidon ou le sucre de maïs (considérés comme des aliments plutôt que comme des produits chimiques dangereux) peuvent justifier un équipement électrique homologué pour éliminer le risque d'incendie pendant leur manipulation ou leur transport. Un incendie peut également se déclarer lors d'opérations de soudage dans les silos à céréales et les minoteries, en raison de la présence de poussières organiques combustibles et explosibles. Le danger d'explosion concerne aussi les fours ou d'autres matériels de cuisson chauffés au gaz ou au mazout,

Figure 67.1 • Découpage de viande de baleine congelée, Japon, 1989



Cette opération se fait à l'aide d'une scie à ruban dépourvue de protecteur de machine et de dispositif de protection électrique adéquat

quand ils ne sont pas installés, utilisés ou entretenus correctement, quand ils ne sont pas équipés des moyens de protection élémentaires ou que les procédures de sécurité ne sont pas respectées (notamment pour les opérations à feu ouvert).

Un contrôle sanitaire rigoureux des produits est indispensable à tous les stades de la fabrication des denrées alimentaires, par exemple dans les abattoirs. L'observation des règles d'hygiène, qu'elles s'appliquent au personnel ou au travail proprement dit, est essentielle pour prévenir l'infection ou la contamination des produits. Les locaux et les équipements doivent être conçus pour favoriser l'hygiène du personnel: installations sanitaires bien situées et comportant des lavabos, voire des douches; fourniture de vêtements de protection appropriés, maintenus propres; mise à disposition de crèmes et de lotions protectrices, lorsque cela s'impose.

Un contrôle sanitaire tout aussi strict des équipements est nécessaire à tous les stades de la fabrication. La plupart du temps, dans des conditions de fonctionnement normal, les règles de sécurité suffisent à écarter les dangers liés à l'équipement. Pour entretenir correctement les machines, il est nécessaire de les ouvrir, d'en retirer les protections et de mettre hors service les systèmes de verrouillage. Malheureusement, le matériel est conçu pour tourner et son nettoyage est souvent relégué au second plan. Or, c'est précisément durant cette opération que se produit la majeure partie des accidents les plus graves. Les pinces en mouvement, l'eau bouillante, les éclaboussures de produits chimiques, d'acides ou de bases, ou les appareils de nettoyage en marche sont à l'origine de nombreuses lésions, sans compter que les conduits d'eau chaude sous haute pression constituent eux aussi un danger. Le manque de procédures afférentes à l'appareillage, l'absence de formation et l'expérience insuffisante des nouveaux employés enrôlés pour une tâche de nettoyage ajoutent encore au problème. Le danger est accru lorsque les équipements à nettoyer sont difficilement accessibles. Un système d'interdiction d'accès par verrouillage/affichage efficace est indispensable. La meilleure solution réside, cependant, dans des moyens de nettoyage incorporés aux installations, tels que des gicleurs d'eau bouillante sous haute pression ou des brosses automatiques. Néanmoins, trop souvent encore, c'est à la main qu'il faut nettoyer les souillures qui posent problème. Dans les filières de la viande et de la volaille, toutes les opérations de nettoyage sont effectuées manuellement.

Les risques pour la santé

Les infections et les maladies infectieuses ou parasitaires transmises par les animaux ou les déchets animaux utilisés représentent une partie importante des affections professionnelles rencontrées dans les industries alimentaires. Il s'agit, entre autres, du charbon, de la brucellose, des différentes leptospiroses, de la tularémie, de la tuberculose bovine, de la morve, de l'érysipèle, de la fièvre Q, de la fièvre aphteuse, de la rage, etc. Certains travailleurs appelés à manipuler des denrées peuvent contracter un grand nombre d'infections cutanées, parmi lesquelles le charbon, l'actinomycose et l'érysipèle. Certains fruits secs peuvent être infestés d'acariens, ce qui rend leur tri dangereux.

Outre la vaccination prophylactique spécifique contre les maladies infectieuses, les mesures de prévention les plus efficaces consistent dans le port de gants appropriés, une bonne hygiène corporelle et les installations sanitaires qu'elle requiert (c'est, dans l'industrie alimentaire, une condition nécessaire pour la sécurité des produits). Des installations de toilette, comportant une douche, et une tenue de travail adéquate sont aussi primordiales. Des soins médicaux doivent pouvoir être administrés par une personne compétente, notamment pour traiter les blessures mineures.

Les dermatites de contact et les allergies cutanées ou respiratoires provoquées par les produits organiques, animaux ou végétaux sont également fréquentes. Les dermatites primaires peuvent être

causées par des substances irritantes telles que les acides, les alcalis, les détergents et l'eau de récurage, ainsi que par les frottements lors de la cueillette ou de l'emballage des fruits et par la manipulation du sucre, très utilisé dans l'industrie alimentaire. Une sensibilisation secondaire résulte de la manipulation de nombreux fruits et légumes. Les poussières organiques provenant des céréales ou de la farine peuvent causer des maladies respiratoires, tel «l'asthme du boulanger», et, pour cette raison, doivent être limitées. L'industrie alimentaire tend encore trop souvent à considérer les matières qu'elle emploie comme de simples ingrédients plutôt que comme des substances chimiques susceptibles de porter atteinte à la santé des travailleurs, lorsqu'elles sont employées non pas en doses ménagères, mais en quantité ou en concentration industrielle.

Dans de nombreux établissements traitant la viande, les volailles, le poisson et d'autres denrées, le travail est hautement répétitif et exige beaucoup de force. De par sa nature même, le produit nécessite souvent une manipulation manuelle, par exemple lorsqu'on inspecte ou charge des articles fragiles aux fins de la conditionner, ou encore lorsqu'il faut augmenter la production sans disposer d'équipement à haut rendement. D'autre part, la manutention manuelle de boîtes au moment de l'expédition peut être source de lombalgies. Il convient de prêter une attention toute particulière aux tâches qui obligent à prendre des postures anormales, sont pénibles ou très répétitives. La combinaison de deux de ces facteurs accentue le problème. C'est la raison pour laquelle une détection précoce et un traitement rapide des cas avérés sont recommandés. Le réaménagement ergonomique des installations et d'autres modifications dont il est question dans des articles spécifiques de ce chapitre sont de nature à réduire les risques de pathologies d'hypersollicitation.

Les fluides réfrigérants, tels que l'ammoniac, le chlorométhane ou les hydrocarbures aliphatiques halogénés, utilisés dans la congélation et dans l'entreposage frigorifique comportent quant à eux des risques d'intoxication et de brûlures chimiques. Une procédure d'urgence doit être associée au classique plan d'évacuation en cas d'incendie, et le personnel doit y être entraîné. Des protections respiratoires peuvent être nécessaires lors de l'évacuation de certaines zones. Pour quelques produits chimiques, des capteurs installés dans le bâtiment alertent aussitôt le poste d'alarme central, qui donne alors l'ordre d'évacuation. Les réactions des travailleurs à l'élévation des niveaux d'ammoniac doivent être prises au sérieux; ceux qui en souffrent doivent être évacués et soignés. Il faut être attentif aux fuites d'ammoniac, qui doivent être détectées de manière continue. L'évacuation des locaux peut s'imposer dès que la concentration commence à monter, avant même qu'elle soit menaçante. Un lieu de rassemblement devrait être choisi de façon que les personnes évacuées soient à l'abri de la fuite de réfrigérant. Pour pouvoir affronter le flux toxique, les travailleurs chargés de réparer la fuite devront porter des vêtements de protection spécialement conçus pour les produits chimiques. L'ammoniac et d'autres gaz réfrigérants moins employés, comme le propane, le butane, l'éthane et l'éthylène sont aussi inflammables et explosifs. Les fuites, généralement dues à un mauvais entretien des tuyaux, peuvent être évitées grâce à une vigilance soutenue. Des mesures efficaces devraient être prises contre l'explosion et l'incendie.

Les produits de lutte antiparasitaire, les fumigants et d'autres substances dangereuses doivent être surveillés scrupuleusement et n'être utilisés que conformément aux prescriptions du fabricant. Les pesticides organophosphorés ne peuvent être employés que sous monitoring biologique afin de maintenir l'exposition dans les limites admissibles.

Traditionnellement, on effectue une soudure à l'étain et au plomb pour la fermeture latérale des boîtes de conserve. La sensibilisation aux dangers que présente le plomb pour les denrées

alimentaires a amené à effectuer différentes études portant à la fois sur les concentrations de plomb dans l'atmosphère des ateliers de mise en boîtes et sur les niveaux de plombémie chez les travailleurs. Ces études ont certes révélé la présence de concentrations élevées, que ce soit lors des contrôles d'ambiance ou lors des prélèvements sanguins, sans pour autant que les niveaux d'exposition admissibles soient dépassés, ni dans un cas ni dans l'autre. Le risque d'intoxication lié à ce procédé est donc faible.

Le dioxyde de carbone, utilisé pour le maintien au froid des produits réfrigérés pendant leur transport, doit aussi faire l'objet de contrôles rigoureux. Une ventilation adéquate des réservoirs qui le contiennent permet d'éviter ses effets nocifs.

Le personnel se trouve aussi exposé au froid lors de la manutention et de l'entreposage des produits crus, en hiver, ou lors du travail dans des chambres froides non ventilées. Il est exposé au grand froid à l'occasion de la réfrigération des produits bruts par air pulsé — c'est le cas dans l'industrie des glaces et dans celle des aliments congelés. Les travailleurs des chambres froides peuvent souffrir du froid s'ils ne sont pas équipés de vêtements de protection appropriés. Le risque est accru pour ceux qui accomplissent des tâches sédentaires dans ce type d'ambiance thermique. Des écrans permettent de détourner le courant d'air froid des travailleurs qui se trouvent près des ventilateurs. La rotation du travail entre locaux froids et locaux tempérés est recommandée. Dans les grands tunnels de congélation, il peut être fatal aux travailleurs, même portant des vêtements dits «polaires», de se tenir dans le puissant courant d'air froid. L'accès à ces tunnels doit être strictement interdit lorsqu'ils sont en fonctionnement. Des dispositifs de verrouillage efficaces ou des protocoles d'entrée dans les espaces confinés doivent être mis en œuvre de façon à empêcher que les tunnels ne soient mis en marche alors que des travailleurs se trouvent à l'intérieur. Des repas et des boissons chaudes contribueront à soulager les effets d'un travail au froid.

La chaleur, souvent associée à une grande humidité pendant la cuisson et la stérilisation, peut créer une atmosphère tout aussi insupportable physiquement et causer, notamment, coup de chaleur et épuisement. C'est ce qui se passe, en particulier, dans les opérations au cours desquelles on procède à l'évaporation de solutions, comme pour la fabrication de concentré de tomate dans des pays où il fait déjà très chaud. C'est aussi ce qui se produit dans la halle d'abattage des abattoirs. Des systèmes de ventilation efficaces sont indispensables et une attention particulière doit être portée aux problèmes de condensation. L'air climatisé peut s'avérer nécessaire dans certaines régions.

Le bruit constitue une source sérieuse de risques pour la santé; il est souvent présent dans les usines modernes, en particulier dans les ateliers de mise en boîtes. Il suffit de plusieurs machines tournant à haute vitesse dans un espace restreint pour que le niveau sonore soit élevé, et ce malgré tous les efforts faits pour le maintenir au-dessous de 85 dBA. Les installations où s'effectue l'acheminement et le remplissage des boîtes de conserve fonctionnent à des cadences qui peuvent atteindre 1 000 unités par minute. Les travailleurs y sont exposés à un niveau sonore pouvant s'élever jusqu'à 100 dBA, dans une gamme de fréquences comprise entre 500 et 4 000 Hz, ce qui correspond à un équivalent de dose d'environ 96 dBA. Dans bien des cas, au terme d'une vie professionnelle, un tel niveau sonore se solde par un déficit auditif si aucune précaution n'a été prise. Certains moyens de prévention technique contribuent à réduire le bruit, telles que les parois absorbantes, les électroaimants magnétiques, les câbles gainés de Nylon et l'harmonisation des cadences des convoyeurs de boîtes de conserve. Ce ne sont, toutefois, que des mesures plus radicales, comme l'adoption de contenants en plastique, qui pourraient assurer, à l'avenir, un environnement sonore moins agressif. Dans l'immédiat, il conviendrait d'instaurer un programme de conservation de l'audition associant des audiogrammes, des dispositifs de protection de l'audition et la

formation du personnel à cette protection, des niches antibruit et une protection individuelle de l'ouïe.

Lorsque la production fait intervenir des rayonnements ionisants, toutes les précautions propres à ce type de travail entrent en vigueur: radioprotection, monitoring, dépistage sanitaire, examens médicaux périodiques, etc.

La surveillance médicale des travailleurs est souhaitable; de nombreuses usines alimentaires sont de petite taille et leur inscription à un service médical interentreprises représente, sans doute, la meilleure façon d'assurer ce suivi.

La clef de la réussite, en matière de sécurité, repose sur la création de comités d'hygiène et de sécurité qui font intervenir l'ensemble des services de l'entreprise, y compris les travailleurs de la production, dans la conception des programmes internes. On tend, trop souvent, à sous-estimer les risques posés par l'industrie alimentaire et un climat d'autosatisfaction s'y développe. Il est vrai que le caractère familier des produits qu'elle traite empêche souvent de comprendre que leur manipulation industrielle et les quantités alors employées ne sont pas exemptes de risques. L'idéal serait que les travailleurs prennent conscience que les règles et les procédures mises en place l'ont été, avant tout, pour protéger leur sécurité et leur santé, et non simplement pour se plier à la législation; une telle prise de conscience pourrait contribuer favorablement à la qualité du programme de sécurité. La direction doit mettre en place des usages et des cadres de conduite qui permettront de renforcer ce sentiment chez les travailleurs.

LES EFFETS SUR LA SANTÉ ET LES TYPES DE MALADIES

John J. Svagr

Les effets sur la santé propres à la transformation des aliments s'apparentent à ceux observés dans d'autres opérations de fabrication. Les troubles respiratoires, les affections de la peau, les allergies de contact, les pertes d'audition et les troubles musculo-squelettiques comptent parmi les maladies professionnelles les plus fréquemment rencontrées dans l'industrie des denrées alimentaires et des boissons (Tomoda, 1993; Bureau of Labor Statistics (BLS), 1991; Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés, 1990). Les températures extrêmes auxquelles le personnel est exposé posent également des problèmes. Le tableau 67.2 établit une classification hiérarchique des trois maladies professionnelles les plus courantes dans quelques pays sélectionnés.

L'appareil respiratoire

Les problèmes respiratoires se répartissent en trois types d'affections: la rhinite, qui touche les fosses nasales; la bronchite obstructive, qui affecte les voies respiratoires; et l'alvéolite, localisée au niveau du parenchyme pulmonaire. L'exposition aux poussières en suspension dans l'air issues de divers aliments ou de produits chimiques peut provoquer de l'emphysème et de l'asthme. Une étude finlandaise fait état de cas fréquents de rhinite chronique chez les travailleurs des abattoirs et des usines de denrées précuites (30%), chez ceux de la meunerie et de la boulangerie (26%) et chez ceux des industries de transformation des aliments (23%), lesquels sont également touchés par la toux chronique (14%), l'incidence de cette maladie atteignant 11% dans les abattoirs et les usines de denrées précuites. L'agent responsable de ces affections est la poussière de farine en boulangerie, alors que, dans d'autres branches, ce sont plutôt les variations de température et divers types de poussières (les poussières d'épices, par exemple) qui sont mis en cause.

Tableau 67.2 • Principales maladies professionnelles observées dans les industries des aliments et des boissons dans divers pays

| Pays | Année | Maladies professionnelles | | | |
|---------------------|-------|--|---|--|--|
| | | En première position | En deuxième position | En troisième position | Autres |
| Autriche | 1989 | Bronchite, asthme | Perte d'audition | Maladies de la peau | Infections transmises par des animaux |
| Belgique (aliments) | 1988 | Maladies liées à l'inhalation de substances | Maladies provoquées par des agents physiques | Maladies de la peau | Infections ou parasites transmis par des animaux |
| Belgique (boissons) | 1988 | Maladies provoquées par des agents physiques | Maladies provoquées par des agents chimiques | Maladies liées à l'inhalation de substances | — |
| Colombie | 1989 | Perte d'audition | Troubles respiratoires (asthme) | Troubles musculo-squelettiques | Maladies de la peau |
| Danemark | 1988 | Troubles de la coordination des mouvements | Maladies de la peau | Perte d'audition | Infections, allergies |
| Etats-Unis | 1989 | Microtraumatismes répétés | Maladies de la peau | Maladies provoquées par des agents physiques | Troubles respiratoires provoqués par des agents toxiques |
| France | 1988 | Asthme et autres troubles respiratoires | Usure de diverses parties du corps (genoux, coudes) | Septicémie (empoisonnement du sang) et autres infections | Perte d'audition |
| Pologne | 1989 | Troubles respiratoires | Maladies de la peau | Infections | Perte d'audition |
| Suède | 1989 | Troubles musculo-squelettiques | Allergies (contact avec des agents chimiques) | Perte d'audition | Infections |
| Tchécoslovaquie | 1988 | Troubles respiratoires | Troubles musculo-squelettiques | Troubles digestifs | Troubles circulatoires, maladies de la peau |

Source: Tomoda, 1993.

Deux études menées en ex-Yougoslavie ont mis en évidence une prévalence bien plus grande de symptômes d'affections respiratoires chroniques chez les travailleurs de l'industrie alimentaire que dans un groupe témoin. Une étude consacrée aux travailleurs du secteur des épices a montré que l'affection la plus commune était la dyspnée, caractérisée par des difficultés respiratoires (57,6%), suivie de la rhinite catarrhale (37,0%), de la sinusite (27,2%), de la toux chronique (22,8%) et de la bronchite productive chronique (19,6%). Une étude portant sur les travailleurs de l'industrie de l'alimentation du bétail a permis de constater que, hors les ingrédients entrant dans la composition de cette alimentation, les risques étaient liés aux poussières de coriandre, d'ail, de cannelle, de piment rouge et de diverses autres épices. Les non-fumeurs présentent, de façon significative, un pourcentage supérieur de cas de sécrétions nasales et pharyngées et d'oppressions thoraciques. Les fumeurs, quant à eux, révélaient une prévalence plus élevée significative aux toux chroniques; ils étaient aussi sujets aux sécrétions nasales et pharyngées chroniques, aux bronchites chroniques et aux oppressions thoraciques. La fréquence des symptômes respiratoires aigus associés à la journée de travail était élevée pour le groupe exposé à ces substances, et le débit ventilatoire des fumeurs était incontestablement plus faible que prévu. L'étude a donc conclu à une relation entre l'exposition aux poussières d'aliments destinés aux animaux et le développement de troubles respiratoires.

Au Royaume-Uni, le régime de réparation des accidents du travail et des maladies professionnelles reconnaît, comme maladie professionnelle, l'asthme induit par la manipulation d'enzymes, de céréales, de farines ou d'animaux. L'exposition à l'aldéhyde cinnamique provenant de l'écorce d'arbre, et au dioxyde de soufre, agent de blanchiment et de fumigation, entraîne une forte prévalence de l'asthme chez les personnes travaillant la cannelle au Sri Lanka. L'exposition aux poussières est minime chez ceux qui détachent l'écorce; en revanche, elle est très élevée à la fois pour les

poussières et le dioxyde de soufre dans les entrepôts des grossistes locaux. Une étude a établi que 35 travailleurs sur 40 souffraient de toux chronique (37,5%) ou d'asthme (22,5%). Les autres symptômes observés étaient, notamment, un amaigrissement (65%), une irritation cutanée (50%), une chute des cheveux (37,5%), une irritation oculaire (22,5%) et des rougeurs (12,5%). Parmi les travailleurs exposés à des concentrations massives de poussières d'origine végétale, l'asthme est surtout répandu chez ceux qui travaillent la cannelle (22,5%), contre 6,4% chez les travailleurs du thé et 2,5% chez ceux qui traitent le kapok. Le tabagisme ne semble pas avoir de lien direct avec la toux, puisqu'on a mis en évidence des symptômes similaires à la fois chez huit femmes non fumeuses et cinq hommes qui fumaient environ sept cigarettes par jour. La toux est provoquée par une irritation des muqueuses des voies respiratoires, consécutive à l'inhalation de poussières de cannelle.

D'autres études ont recherché une relation possible entre les troubles respiratoires et les allergènes ou antigènes contenus dans les denrées alimentaires, tels que l'albumine de l'œuf ou les produits de la mer. Alors que ces études n'ont pas pu établir de lien de cause à effet entre un type de poussière lié à un poste de travail spécifique et les différents troubles respiratoires, aigus ou chroniques, observés chez les travailleurs exposés, elles ont en revanche montré une corrélation étroite entre les affections et le milieu de travail.

De longue date, la fabrication des aliments s'appuie sur la microbiologie. La plupart des micro-organismes utilisés dans l'industrie alimentaire et dans celle des boissons sont généralement considérés comme inoffensifs. Pour obtenir du vin, du fromage, du yaourt et de la pâte à pain, sous une forme comestible, on fait intervenir certains micro-organismes. La production de protéines et d'enzymes a, de plus en plus, recours à la biotechnologie. Certaines espèces d'aspergillus et de bacilles produisent des amylases qui

transforment l'amidon en sucre. Les levures transforment l'amidon en acétone. *Trichoderma* et *Penicillium* produisent des cellulases qui dégradent la cellulose. Il en résulte que les spores de champignons et d'actinomycètes sont largement présentes dans la transformation des aliments. L'aspergillus et le pénicillium se retrouvent fréquemment dans l'air des boulangeries. *Penicillium* est aussi présent dans les laiteries et les usines de transformation de la viande; les fromages en cours d'affinage et les saucisses en phase de maturation sont des terrains propices à son développement à la surface des produits. Les opérations de nettoyage, préalables à la vente, dispersent ces micro-organismes dans l'air, et les travailleurs sont susceptibles de développer des alvéolites d'origine allergique. L'asthme d'origine professionnelle est dû à un grand nombre de ces germes. Certains d'entre eux sont soupçonnés de causer des infections ou de transporter des mycotoxines. Des enzymes telles que la trypsine, la chymotrypsine et la protéase sont responsables de l'hypersensibilité et des affections respiratoires qui touchent surtout le personnel des laboratoires.

Outre les particules dégagées par les aliments et les micro-organismes pathogènes, les substances chimiques dangereuses utilisées comme réactifs, réfrigérants, fumigants et désinfectants peuvent, si elles sont inhalées, entraîner des troubles divers, notamment respiratoires. Ces substances se présentent sous forme solide, liquide ou gazeuse. L'exposition à des doses égales ou supérieures aux limites admissibles entraîne souvent des irritations cutanées ou oculaires et des troubles respiratoires. Une exposition excessive peut aussi provoquer des maux de tête ou de gorge, des réactions de salivation, de sudation, des nausées et des vomissements.

Gaz incolore, doté de propriétés réfrigérantes et détergentes, l'ammoniac est utilisé comme fumigant. L'exposition à l'ammoniac peut causer des brûlures corrosives ou une vésication de la peau. Une exposition excessive et prolongée est susceptible de provoquer une bronchite et une pneumonie.

Le trichloroéthylène, l'hexane, le benzène, le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂) et le (poly)chlorure de vinyle (PVC) se retrouvent couramment dans les usines de denrées alimentaires et de boissons. Le trichloroéthylène et l'hexane sont employés dans l'extraction de l'huile d'olive.

Incolore et inodore, le CO est difficile à détecter. L'exposition à ce gaz se produit dans les fumoirs mal ventilés ou lors du travail dans les silos à grains, les caves de fermentation du vin ou les locaux de stockage du poisson. La congélation ou la réfrigération par voie sèche, les tunnels de congélation utilisant le CO₂ et les installations de combustion exposent les travailleurs à ce gaz. L'intoxication par le CO et le CO₂ se traduit notamment par les symptômes ci-après: céphalée, étourdissement, somnolence, nausées et vomissements. Elle peut même, dans des cas extrêmes, entraîner la mort. Le CO peut aussi aggraver les symptômes cardiaques et respiratoires. Les limites d'exposition admissibles, fixées par la loi dans plusieurs pays, autorisent un temps d'exposition cent fois plus important pour le CO₂ que pour le CO, et ce pour déclencher la même réponse.

Le PVC est utilisé pour l'emballage des produits alimentaires, soit en contact immédiat avec les aliments, soit comme suremballage. Lorsque le film de PVC est chauffé, les produits issus de la dégradation thermique provoquent une irritation des yeux, du nez et de la gorge. Les travailleurs ont également une respiration sifflante, des douleurs thoraciques, des difficultés respiratoires, des nausées, des douleurs musculaires, des frissons ainsi que de la fièvre.

Les hypochlorites, les acides (phosphorique, nitrique et sulfurique), les produits caustiques et les composés d'ammonium quaternaire sont couramment utilisés dans le nettoyage par voie humide. Les laboratoires de microbiologie se servent de composés du mercure et de formaldéhyde (sous forme de gaz ou de solution de formaline). Leur désinfection se fait avec des dérivés phénoliques,

des hypochlorites et du glutaraldéhyde. En cas d'exposition à des doses excessives ou de contact prolongé, des signes d'irritation ou de brûlure oculaires, cutanées ou pulmonaires sont observés. Une manipulation inadéquate peut libérer des substances hautement toxiques, comme le chlore ou des oxydes de soufre.

Aux Etats-Unis, l'Institut national de la sécurité et de la santé au travail (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)) a signalé l'apparition de troubles respiratoires chez des travailleurs lavant des volailles dans de l'eau trop javellisée. Ces troubles se sont traduits par des maux de tête et de gorge, une oppression thoracique et une gêne respiratoire. L'agent suspecté est la chloramine. Des chloramines peuvent se former par le contact d'eau traitée à l'ammoniaque ou d'eau de chaudières traitée aux amines avec des solutions d'hypochlorite utilisées à des fins de désinfection. Les grandes villes ajoutent de l'ammoniaque à l'eau pour empêcher la formation de méthane halogéné. Aucune méthode d'échantillonnage des chloramines de l'air ambiant n'est actuellement disponible. Les concentrations en chlore et en ammoniaque ne sont pas des indicateurs d'exposition, les essais ayant révélé des niveaux bien inférieurs aux limites admissibles.

Les fumigants préviennent les infestations qui peuvent se produire pendant le stockage ou le transport des matières premières alimentaires. Certains d'entre eux contiennent du gaz ammoniac, de la phosphine et du bromométhane. Compte tenu de la courte durée du traitement, c'est la protection respiratoire qui se révèle la stratégie la plus rentable. Lors de la manipulation de ces substances, des mesures de protection respiratoire appropriées devraient être appliquées jusqu'à ce que la concentration dans l'air soit inférieure à la limite maximale admissible.

Les employeurs devraient prévoir les équipements nécessaires à l'évaluation du niveau de toxicité sur le lieu de travail et s'assurer que les niveaux d'exposition ne dépassent pas les valeurs maximales fixées par les réglementations de prévention. Les taux de contamination devraient être mesurés fréquemment, surtout après un changement dans les procédés de fabrication ou dans les produits chimiques mis en œuvre.

Les moyens de prévention technique destinés à minimiser les risques d'intoxication ou d'infection sont de deux types. Soit on remplace telle ou telle substance par une autre, moins dangereuse — par exemple on substitue à une poudre un liquide ou un aérosol, soit on limite l'exposition en réduisant le niveau de contamination de l'air. Dans ce cas, on agit au niveau de la conception même des postes de travail et, notamment, on confine totalement ou partiellement les processus, on installe des systèmes de ventilation appropriés et on restreint l'accès à la zone concernée, afin de limiter le nombre de personnes exposées. Le système de ventilation présente l'avantage d'empêcher la dissémination des spores ou la dispersion des aérosols sur l'ensemble du poste de travail. Enfin, plutôt que de nettoyer les machines avec un jet d'air comprimé, qui risque de disséminer les particules dans l'atmosphère, on a avantage à recourir à l'aspiration ou au lavage.

A côté des moyens de prévention technique, on peut aussi faire appel aux mesures administratives au nombre desquelles il faut citer la rotation des tâches (qui permet de diminuer le temps d'exposition) et l'attribution des tâches à risques à un personnel travaillant en dehors des horaires normaux ou en fin de semaine (qui permet de réduire le nombre de personnes exposées). L'équipement de protection individuelle est en fait la solution de dernier recours, car il est coûteux à entretenir, difficile à trouver dans les pays en développement et, quand bien même il est disponible, il n'est pas nécessairement porté par les travailleurs.

L'équipement destiné aux travailleurs manipulant des produits chimiques dangereux se compose de lunettes antiéclaboussures, d'écrans faciaux et de masques respiratoires. Pour qu'il soit efficace, il doit être ajusté à chaque individu et le personnel doit être formé à son utilisation et à ses limites. Il existe plusieurs types de

protections respiratoires, qui selon la nature du travail et le niveau de risque, vont du demi-masque protecteur contre les poussières et la vapeur aux divers masques captant par voie chimique les impuretés de l'air, en passant par les appareils de protection respiratoire autonomes et les appareils à adduction d'air. Une sélection appropriée (fondée sur le risque, l'adaptation au visage et la facilité d'entretien) et une information adéquate assurent l'efficacité de la protection tout en limitant l'exposition et en diminuant la fréquence des troubles respiratoires.

La peau

Les problèmes cutanés rencontrés dans les industries des denrées alimentaires et des boissons sont des dermatites et des allergies de contact (par exemple, l'eczéma). Conformément aux mesures d'hygiène en vigueur, les travailleurs se lavent sans cesse les mains au savon ou dans des bains contenant des solutions d'ammonium quaternaire. Le fait d'avoir constamment les mains humides a tendance à dégraisser la peau et à provoquer une dermatite. La dermatite est une affection inflammatoire résultant du contact cutané avec des produits chimiques ou des additifs alimentaires. La manipulation de matières contenant des graisses ou des huiles peut obstruer les pores de la peau et entraîner des lésions acnéiformes. Ces irritants primaires sont responsables de 80% des dermatites professionnelles.

Il est de plus en plus à craindre que les travailleurs ne se trouvent fortement sensibilisés à des protéines et à des peptides microbiens, libérés lors de la fermentation et de l'extraction, et ne développent des eczémas ou d'autres allergies. Par allergie, on entend toute réaction d'hypersensibilité plus aiguë que la réaction normale de l'organisme à des antigènes étrangers présents dans l'air ambiant. La dermatite de contact, d'origine allergique, se déclare rarement avant le cinquième ou le septième jour d'exposition. La dermatite professionnelle d'hypersensibilité est également observée chez des sujets manipulant des enzymes, telles que la trypsine, la chymotrypsine et la protéase.

Les solvants chlorés (voir «L'appareil respiratoire» ci-dessus) déclenchent une croissance anarchique des cellules de l'épiderme. En stimulant la kératine, ils peuvent entraîner la formation de tumeurs. D'autres composés chlorés incorporés aux savons dans un but antibactérien peuvent provoquer des dermatites de photosensibilité.

La meilleure prévention des dermatites et des allergies de contact reste encore de limiter l'exposition aux agents mis en cause. Un séchage approprié des aliments avant stockage et des conditions hygiéniques de stockage peuvent contribuer à réduire la concentration des spores dans l'air. Des équipements de protection individuelle, tels que gants, masques et combinaisons, préservent les travailleurs d'un contact direct et limitent donc les risques de dermatites et d'autres allergies. Les matériaux à base de latex dont sont faits les gants peuvent provoquer des réactions allergiques cutanées et, de ce fait, devraient être écartés. Là où cela est autorisé, l'application adéquate de crèmes isolantes peut aussi minimiser le contact avec les substances irritantes.

Les maladies infectieuses et parasitaires d'origine animale sont les maladies professionnelles les plus caractéristiques des industries des aliments et des boissons. Elles se rencontrent surtout chez les travailleurs des abattoirs et des laiteries, susceptibles les uns comme les autres de se trouver en contact direct avec des animaux contaminés. Les travailleurs agricoles, pour ne citer qu'eux, ne sont pas davantage épargnés. La prévention est particulièrement délicate, car les animaux atteints ne présentent pas toujours de signes extérieurs de maladie. Le tableau 67.3 énumère les différents types d'infections observées.

Le principe fondamental permettant de prévenir la contraction et la propagation des maladies infectieuses et parasitaires de la peau demeure l'hygiène personnelle. Des lavabos, des toilettes et des douches d'une extrême propreté devraient être mis à disposition. Les combinaisons, les équipements de protection individuelle et les serviettes de toilette doivent être lavés et, parfois même, fréquemment stérilisés. Toutes les blessures, même les plus bénignes, devraient être désinfectées, pansées et demeurer protégées

Tableau 67.3 • Types d'infections observées dans les industries des aliments et des boissons

| Infections | Exposition | Symptômes |
|--|--|---|
| Brucellose (<i>Brucella melitensis</i>) | Contact direct avec des bovins, des chèvres ou des moutons contaminés (Europe du Nord, Europe centrale et Amérique du Nord) | Fièvre constante et oscillante, maux de tête, état de faiblesse, douleurs articulaires, sueurs nocturnes et perte d'appétit; éventuellement, manifestations arthritiques, grippe, asthénie et spondylite |
| Erysipèle | Contamination de plaies ouvertes par des germes transmis par des porcs ou des poissons (Tchécoslovaquie) | Rougeurs localisées, irritation, sensation de brûlure, douleur autour de la zone infectée. L'infection peut gagner la circulation du sang et les ganglions lymphatiques |
| Leptospirose | Contact direct avec des animaux infectés ou avec leur urine | Maux de tête, douleurs musculaires, infections oculaires, fièvre, vomissements et frissons. Dans les cas graves, troubles rénaux et hépatiques, accompagnés de complications cardio-vasculaires et neurologiques |
| Epidermomycose | Mycose due à un champignon parasite qui colonise l'épiderme des animaux | Erythèmes et vésicules cutanés |
| Dermatophytose (teigne) | Mycose provoquée par le contact avec la peau ou les poils d'animaux contaminés | Chute de cheveux localisée et petites croûtes sur le cuir chevelu |
| Toxoplasmose | Contact direct avec des moutons, des chèvres, des bovins, des porcs ou des volailles contaminés | Stade aigu: fièvre, douleurs musculaires, maux de gorge, céphalée, ganglions lymphatiques enflés et rate dilatée. L'infection chronique induit la formation de kystes cérébraux et musculaires. La transmission fœtale entraîne la naissance d'enfants mort-nés ou prématurés. Les enfants nés à terme peuvent présenter des atteintes cérébrales et cardiaques, souvent de mauvais pronostic |
| Cancers du poumon à <i>Papillomavirus</i> | Contact régulier avec des animaux vivants ou des tissus animaux, couplé à une exposition à des hydrocarbures aromatiques polycycliques et à des nitrates | Cancers du poumon observés en Angleterre, au pays de Galles, au Danemark et en Suède chez les bouchers et les travailleurs des abattoirs |

jusqu'à leur guérison complète. La propreté et l'hygiène des locaux sont tout aussi importantes; c'est ainsi qu'il faut procéder, à la fin de chaque journée de travail, à un lavage minutieux de tous les équipements et de toutes les surfaces qui ont été en contact avec de la viande, qu'il faut exterminer systématiquement les rongeurs et ne pas tolérer la présence de chiens, de chats et d'autres animaux sur le lieu de travail.

La vaccination des animaux et celle du personnel qui travaille à leur contact sont des mesures préventives appliquées dans de nombreux pays. La détection et le traitement précoces des maladies, au moyen d'antibactériens ou d'antiparasitaires, sont essentiels pour leur limitation, voire leur éradication. Les travailleurs devraient être examinés dès l'apparition des symptômes (toux récurrente, fièvre, céphalée, maux de gorge ou troubles intestinaux) et subir, de toute façon, des examens médicaux périodiques, dont des examens de base de pré- et de postembauche. Dans certains pays, il est obligatoire d'avertir les autorités en cas d'infection professionnelle décelée à la faveur d'un de ces examens.

Le bruit et l'audition

La perte d'audition résulte d'une exposition continue et prolongée à un bruit dépassant le seuil maximal admissible. Cette perte est irréversible; elle constitue une entrave à la communication sociale, mais aussi une source de stress si le travail exige de la concentration. Les performances psychologiques et physiologiques peuvent donc s'en trouver diminuées. De plus, il existe des liens entre un niveau élevé d'exposition au bruit et une tension artérielle anormale, un pouls irrégulier, une capacité respiratoire amoindrie, des spasmes gastriques et intestinaux, ou encore des troubles du système nerveux. Pour évaluer le risque de déficit auditif, il faut prendre en compte la sensibilité individuelle, la durée de l'exposition, la fréquence et l'intensité sonores.

Les normes en matière de sécurité et de santé varient selon les pays, mais, d'une façon générale, la limite de l'exposition au bruit se situe entre 85 et 90 dBA pendant huit heures consécutives, période qui doit être suivie d'une pause de seize heures à un niveau sonore inférieur à 80 dBA. Dès 85 dBA, un casque antibruit doit être fourni; cette protection devrait être obligatoirement portée par les travailleurs souffrant d'une perte auditive. Les travailleurs exposés pendant huit heures à un niveau égal ou supérieur à 90 dBA devraient aussi en être équipés. Dans certains pays et pour le personnel exposé, un test audiométrique annuel est recommandé, voire obligatoire. Tous les deux ans au moins, il conviendrait de mesurer le niveau sonore, par exemple avec le sonomètre II de l'Institut américain de normalisation (American National Standards Institute (ANSI)). Ces contrôles devraient être renouvelés chaque fois qu'un changement intervenu dans l'équipement ou dans les méthodes de travail est susceptible d'accroître le niveau sonore.

La première mesure à prendre pour limiter l'impact des nuisances sonores consiste à s'assurer que les niveaux d'exposition au bruit ne sont pas dangereux. Le code des bonnes pratiques de fabrication exige des sonomètres que leur surface extérieure soit facile à nettoyer, qu'ils n'abritent pas d'insectes et qu'ils soient agréés pour se trouver au contact d'aliments ou pour intervenir dans le processus de production alimentaire. Le choix des différentes techniques de contrôle dépend aussi des possibilités financières, de l'équipement, des matières et du personnel qualifié. L'un des principaux facteurs de réduction du bruit est l'aménagement du poste de travail, dont l'équipement devrait être peu bruyant et absorber les vibrations. Le remplacement des parties métalliques par des matériaux plus souples, tels que le caoutchouc, peut réduire le niveau sonore. Lors de l'acquisition d'un nouveau matériel, on devrait veiller à ce qu'il soit insonorisé. Il conviendrait de fixer des silencieux sur les prises d'air et sur les tuyaux d'évacuation. Les machines et les opérations bruyantes

devraient être encoffrées de façon à limiter le plus possible le nombre de personnes exposées. Chaque fois que la chose est réalisable, des cloisons insonorisées et des plafonds absorbants devraient être installés, le coût financier de leur démontage et de leur nettoyage étant inclus dans les frais d'entretien. La solution optimale réside généralement dans un panachage de ces mesures, adapté aux besoins de chaque lieu de travail.

Lorsque les moyens de prévention technique ne sont pas envisageables ou qu'il s'avère impossible d'abaisser le bruit à un niveau acceptable, on devrait s'en remettre à un équipement de protection individuelle. La fourniture de cet équipement et la prise de conscience des travailleurs jouent un rôle important dans la prévention de la perte d'audition. En général, la mise à disposition d'un choix de bouchons d'oreille et de coquilles antibruit contribue à sensibiliser le personnel à ce problème et l'incite à s'en servir.

Le système musculo-squelettique

Les troubles musculo-squelettiques ont été signalés dès 1988-89 (voir tableau 67.2). Les données obtenues au début des années quatre-vingt-dix faisaient état d'une forte progression de ce type de pathologies. L'automatisation des équipements et les cadences de travail imposées par une machine ou par une bande transporteuse concernent aujourd'hui plus de travailleurs de l'industrie alimentaire que jamais auparavant. Les installations automatisées rendent les tâches monotones, les travailleurs devant effectuer le même geste tout au long de la journée.

Une étude finlandaise a montré que près de 40% des sujets étudiés effectuaient un travail répétitif toute la journée et que, parmi ceux-ci, 60% se servaient de leurs mains, 3% de leurs pieds et 37% de plus d'une seule partie du corps. Des tâches répétitives étaient effectuées, pendant les deux tiers, ou plus, de leur temps de travail, par 70% des agents de nettoyage, 67% du personnel des abattoirs et des usines d'aliments précuits et d'emballage, 56% des travailleurs des entrepôts et du transport et, enfin, par 54% du personnel des laiteries.

Les contraintes ergonomiques tiennent au fait que la plupart des produits alimentaires sont d'origine naturelle et, par conséquent, non homogènes. Dans la filière de la viande, les carcasses à manipuler sont de tailles très diverses. Dans les années soixante, on commença à vendre les volailles découpées, ce qui se traduisit par une augmentation significative du nombre de volatiles débités en morceaux — de moins de 20 à 40%. Pour cette découpe, les travailleurs utilisent des instruments très tranchants. Le ministère de l'Agriculture américain a modifié certaines normes, et la vitesse moyenne de la chaîne est passée de 56 à 90 volatiles par minute. Lors du conditionnement, le personnel peut être appelé à effectuer des mouvements répétitifs de la main et du poignet pour placer les articles, sans les endommager, dans des barquettes ou d'autres emballages. C'est en particulier le cas de produits nouveaux, vendus en faible quantité. Les ventes promotionnelles, accompagnées notamment de recettes ou de coupons de réduction, exigent parfois qu'un article soit introduit à la main dans l'emballage. Au moment du conditionnement, si l'aménagement du poste n'est pas prévu pour cela, on peut avoir à tendre les bras au-delà de la zone de préhension recommandée par les organismes chargés de la santé au travail.

Les troubles consécutifs à des microtraumatismes répétés se traduisent par l'inflammation d'un tendon (tendinite) et par celle de sa gaine synoviale (téno-synovite); ils affectent principalement les travailleurs qui exécutent des mouvements répétitifs des mains, comme ceux qui emballent la viande. Les tâches qui associent flexions du poignet et mouvements de préhension, de pincement et de torsion peuvent provoquer une inflammation du canal carpien. Caractérisé par une sensation de fourmillement dans les doigts de la main, le syndrome du canal carpien est consécutif à

une inflammation de l'articulation du poignet, laquelle produit une compression de l'ensemble des nerfs du poignet. Un mauvais diagnostic — il peut être confondu avec l'arthrite — débouche parfois sur un engourdissement permanent et sur des douleurs intenses aux mains, aux coudes et aux épaules.

Les troubles liés aux vibrations apparaissent aussi là où la mécanisation est poussée. Les travailleurs des industries alimentaires n'échappent pas à la règle, bien que le problème y soit peut-être moins sérieux que dans d'autres branches. Ainsi, les travailleurs qui se servent de machines telles que scies à ruban, mélangeurs ou cutters sont-ils exposés à des vibrations. Les basses températures favorisent le développement de ces pathologies, notamment dans les doigts de la main. Cinq pour cent des sujets sur lesquels a porté l'étude finlandaise mentionnée plus haut étaient exposés à un niveau assez élevé de vibrations, alors que pour 9% d'entre eux, le niveau de vibrations était moyen.

Une exposition excessive aux vibrations cause, entre autres problèmes, des troubles musculo-squelettiques des poignets, des coudes et des épaules. Le type et la gravité de ces troubles dépendent de la machine, de la manière dont elle est utilisée et du degré d'oscillation en jeu. Des niveaux d'exposition élevés peuvent provoquer le développement d'une protubérance sur l'os ou la destruction graduelle de l'os au niveau de l'articulation, ce qui cause des douleurs intenses et a pour effet de limiter la mobilité.

Lorsqu'on répartit la tâche qui pose problème entre tous les travailleurs d'une équipe, en les faisant passer d'un poste à l'autre, on limite les mouvements répétitifs et on minimise du même coup le risque. Cette rotation au sein d'une équipe ou, du moins, le partage entre deux personnes de la manutention de charges lourdes et peu maniables est de nature à atténuer l'effort requis de la part d'un seul travailleur. L'entretien des outils — en particulier, l'affûtage des couteaux — joue aussi un rôle important. Une équipe ergonomique composée de représentants de la direction et de travailleurs de la production reste la meilleure solution pour traiter ces problèmes au cas par cas.

La prévention technique vise à réduire ou à éliminer les trois principales causes des troubles musculo-squelettiques: force, posture et répétition. Le lieu de travail devrait être étudié afin de définir les changements nécessaires, par exemple dans la conception du poste (plus facilement réglable), dans les méthodes de travail, dans l'automatisation des tâches ou l'assistance mécanique, ainsi que dans la conception ergonomique de l'outillage à main.

On devrait apprendre aux travailleurs à aiguiser correctement les couteaux afin qu'ils puissent ménager leurs forces. Les installations doivent comporter des dispositifs d'affûtage, et la découpe manuelle de la viande congelée doit être évitée. La formation aide le personnel à comprendre les causes des troubles musculo-squelettiques et les méthodes pour les prévenir. Elle insiste sur la nécessité d'une utilisation appropriée des outils et des machines. Elle devrait également encourager les travailleurs à signaler des symptômes médicaux dès leur apparition. Des changements dans l'organisation du travail ou d'autres mesures consistant à limiter les tâches dangereuses peuvent éviter que ces pathologies ne réclament une intervention médicale plus lourde.

La chaleur et le froid

Les températures les plus extrêmes coexistent dans la zone de traitement des aliments. Les personnes travaillent dans des chambres de congélation à -18 °C ou moins. Une tenue vestimentaire adaptée contribue, certes, à les isoler du froid, mais elles doivent pouvoir bénéficier en plus de pauses dans des locaux chauffés où des boissons chaudes leur seront fournies. Les installations de traitement de la viande doivent être maintenues à une température comprise entre 7 et 10 °C; ces températures se situent au-dessous de la zone de confort thermique, et le personnel peut avoir besoin de porter des couches de vêtements complémentaires.

Les fours et les cuiseurs à vapeur dégagent une chaleur radiante et humide. Aux changements de saison et durant les vagues de chaleur, les travailleurs peuvent souffrir de stress thermique. L'absorption de grandes quantités de liquides et l'ajout de sel aux aliments peuvent en atténuer les symptômes pendant la période d'acclimatation, qui est généralement de cinq à dix jours. Les comprimés de sel ne sont pas recommandés en raison des risques d'hypertension ou de troubles digestifs qu'ils comportent.

LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET LES PROBLÈMES DE SANTÉ PUBLIQUE

Jerry Spiegel

Généralités

C'est dans l'environnement naturel que l'industrie alimentaire trouve les éléments qui lui permettent d'offrir au consommateur des produits sains. Le traitement à grande échelle d'un volume important de matières peut avoir un impact considérable sur l'environnement. Cela est également valable pour l'industrie des boissons.

S'agissant de l'industrie alimentaire, la menace pour l'environnement tient plus aux polluants organiques qu'aux substances toxiques. Si les charges de polluants ne font pas l'objet d'une prévention et d'un contrôle suffisants, elles peuvent menacer les infrastructures collectives mises en place pour lutter contre la pollution ou avoir des effets nocifs sur les écosystèmes locaux. Des techniques de production capables de limiter les pertes de produits ont pour double fonction d'améliorer le rendement et de réduire les problèmes potentiels de déchets et de pollution.

Si la fourniture d'eau potable lui est essentielle, l'industrie de transformation des aliments requiert aussi d'importants volumes d'eau qu'elle destine à de nombreuses utilisations non alimentaires, comme le premier lavage des matières premières, l'entraînement des produits dans des rigoles, le blanchiment, la pasteurisation, le nettoyage des équipements et le refroidissement des produits finis. Les eaux doivent répondre à des critères de qualité qui varient selon leur utilisation, et lorsqu'une eau de grande qualité est requise, elle nécessite souvent un traitement particulier de façon à en éliminer l'odeur et le goût désagréables et à lui conférer une qualité constante.

Le traitement de volumes très importants de matières pose, au stade de la production, un grave problème de déchets solides. En phase de postconsommation, le problème des emballages est de plus en plus préoccupant. Dans certains secteurs de l'industrie alimentaire, les opérations de traitement s'accompagnent aussi d'émissions dans l'air et de nuisances olfactives.

En dépit de l'extrême diversité qui caractérise les sous-secteurs de cette industrie, les méthodes de prévention et de lutte contre la pollution présentent de nombreux traits communs.

La lutte contre la pollution de l'eau

Les effluents bruts de l'industrie de transformation des aliments montrent une concentration extrêmement élevée en matières organiques biodégradables. Même des usines de petite taille, qui ne fonctionnent qu'une partie de l'année, peuvent présenter des charges polluantes comparables à celles de populations de 15 000 à 25 000 personnes. Les rejets des grandes usines peuvent égal

ceux de collectivités de 250 000 habitants. Lorsqu'un cours d'eau de faible importance reçoit une quantité massive de polluants organiques, ces polluants puisent dans l'oxygène dissous pour se stabiliser et polluent ou dégradent la masse d'eau en abaissant sa teneur en oxygène de sorte qu'elle n'est plus en mesure d'assurer la survie de la faune et de la flore aquatiques. Or, le plus souvent, les effluents des établissements de transformation des aliments peuvent faire l'objet d'un traitement biologique.

La charge polluante des eaux résiduaires varie considérablement suivant l'installation, le procédé mis en œuvre et les caractéristiques du produit brut. Du point de vue économique, il est généralement moins coûteux de traiter des déchets de faible volume et fortement concentrés que des déchets volumineux et dilués. Pour cette raison, les effluents à demande biologique en oxygène (DBO) élevée, comme le sang des poulets ou la viande, ne devraient pas être déversés dans les eaux usées des abattoirs, car ils en augmenteraient la charge polluante, mais être récupérés dans des conteneurs destinés à des établissements de traitement des sous-produits ou de récupération des graisses.

Les effluents acides, c'est-à-dire à pH très élevé, devraient faire l'objet d'innombrables précautions en raison de leur effet sur l'épuration biologique. Le mélange de rejets acides et basiques peut entraîner une neutralisation chimique. Lorsque cela est possible, une coopération avec les industries voisines peut s'avérer extrêmement bénéfique.

En général, les effluents d'une usine de transformation des aliments sont d'abord tamisés, puis on élimine leur partie liquide afin que les déchets solides puissent être traités à l'instar des ordures ménagères ou combinés à d'autres solides dans le cadre d'un programme de recyclage des sous-produits.

Les méthodes de traitement des eaux usées sont variées; elles peuvent être physiques, chimiques ou biologiques. Comme les traitements secondaires sont plus onéreux, il est impératif de recourir le plus possible au traitement primaire. Celui-ci fait appel à des procédés tels que la décantation ou sédimentation simple, la filtration (qui emploie une, deux ou plusieurs matières filtrantes), la floculation, la flottation, l'échange d'ions par centrifugation, l'osmose inverse, l'adsorption des micropolluants par le charbon actif et la précipitation chimique. Les installations de traitement par dépôt des matières vont du simple bassin de décantation aux épurateurs complexes, spécialement adaptés aux caractéristiques des effluents.

Le respect des normes relatives aux eaux usées impose souvent que ce traitement primaire soit suivi d'un traitement biologique secondaire. Étant donné que la majeure partie des eaux usées des industries des aliments et des boissons contient essentiellement des matières organiques biodégradables, le traitement biologique secondaire vise surtout à réduire la DBO des effluents en y ajoutant des boues fortement concentrées en matières organiques et en oxygène qui leur permettent de s'oxyder et de se stabiliser rapidement avant leur rejet dans l'environnement.

Les techniques peuvent être adaptées aux différents cas rencontrés. Pour les effluents laitiers, par exemple, on s'est aperçu qu'il était très efficace d'avoir recours à un traitement anaérobie éliminant la plus grande partie de la charge polluante, puis à un traitement aérobie permettant d'abaisser radicalement la DBO résiduelle et la demande chimique en oxygène (DCO) puis, enfin, à une élimination biologique des substances nutritives. Le mélange de biogaz formé par le méthane (CH_4) et le dioxyde de carbone (CO_2) lors du traitement anaérobie peut être récupéré et peut remplacer les combustibles fossiles, ou être mis à profit comme source d'énergie électrique (la production normale est de 0,30 m³ de biogaz par kg de DCO éliminé).

Les autres méthodes secondaires couramment utilisées sont le procédé des boues activées, le procédé du lit bactérien aérobie, l'épandage par aspersion et le traitement en bassins et stations

d'épuration. Dans le cas des bassins, il est important qu'ils aient une profondeur suffisante pour éviter qu'ils dégagent des odeurs nauséabondes. Les odeurs produites par les traitements anaérobies peuvent être éliminées par passage à travers des terres filtrantes qui oxydent les gaz polaires indésirables.

La lutte contre la pollution de l'air

En règle générale et à quelques exceptions près, la pollution atmosphérique due à l'industrie alimentaire est plus le fait d'odeurs désagréables que d'émissions toxiques dans l'air. C'est notamment pour cette raison que, dans de nombreuses villes, la localisation des abattoirs est régie par des codes sanitaires. Leur éloignement des habitations permet, certes, de réduire les récriminations des citoyens contre les odeurs, mais il n'en supprime pas pour autant cette nuisance malodorante. Il est parfois nécessaire de mettre en place des absorbeurs ou des épurateurs.

Les fuites d'ammoniac qui peuvent se produire dans les installations de réfrigération constituent un grave problème de santé publique. Ce gaz irrite fortement les yeux et les voies respiratoires. Un important rejet dans l'atmosphère peut nécessiter l'évacuation des habitants de la zone touchée. Un plan de maîtrise des fuites et des mesures d'urgence s'imposent.

Les industries alimentaires qui utilisent des solvants (par exemple, pour l'extraction des huiles alimentaires) peuvent dégager des vapeurs dans l'atmosphère. La production en circuit fermé et le recyclage des solvants sont les meilleures solutions pour y remédier. Les secteurs qui, comme dans le cas du raffinage du sucre de canne, utilisent de l'acide sulfurique ou d'autres acides peuvent produire des substances contaminantes telles que des oxydes de soufre. Des moyens de lutte, parmi lesquels les épurateurs, devraient être mis en œuvre.

La gestion des déchets solides

La part de déchets solides peut être considérable. Dans la production de tomates en boîtes, elle peut représenter de 15 à 30% de la quantité totale traitée. Dans le cas des petits pois et du maïs, elle atteint 75%. En isolant les déchets solides, on parvient à réduire la concentration des eaux résiduaires en matières organiques biodégradables. Plus secs, ces déchets solides peuvent être alors aussi facilement récupérés comme sous-produits ou à des fins alimentaires, ou encore comme combustible.

Une telle réutilisation, si elle est rentable, diminue le coût total du traitement des rejets et, éventuellement, celui du produit fini. Il est important de se demander s'il est possible de se servir des déchets solides comme base alimentaire pour les végétaux et les animaux. L'accent est de plus en plus mis sur la recherche de marchés pour les sous-produits et sur le compost obtenu par conversion des déchets organiques en humus. Le tableau 67.4 fournit des exemples d'emploi de sous-produits issus de l'industrie alimentaire.

Le recyclage de l'eau et la réduction des effluents

La très grande dépendance des industries alimentaires vis-à-vis de l'eau a favorisé la mise au point de programmes de conservation et de recyclage, notamment dans des sites où l'eau est rare. Le recyclage des eaux industrielles peut entraîner des diminutions substantielles de la consommation d'eau et de la charge polluante. Il peut permettre la réutilisation d'une eau de moindre qualité pour des applications ne nécessitant pas de traitement biologique. Toutefois, l'eau ne doit présenter aucun risque de fermentation anaérobie de matières organiques solides afin qu'aucun produit de décomposition, corrosif et malodorant, ne puisse endommager l'équipement et nuire au milieu de travail ou à la qualité du produit. La désinfection de l'eau et la modification de certains facteurs qui influent sur l'environnement, comme le pH ou la température, sont de nature à limiter la prolifération bactérienne.

Tableau 67.4 • Exemples de valorisation de sous-produits des industries alimentaires

| Méthode | Exemples |
|----------------------|--|
| Digestion anaérobie | <i>Digestion par des populations mélangées de bactéries dégageant du méthane et du CO₂</i> <ul style="list-style-type: none"> • Marc de pommes, pulpe d'abricots, déchets de pêches et de poires, pelures d'oranges |
| Alimentation animale | <i>Utilisation directe, à l'état pressé ou desséché, comme fourrage (ensilage) ou comme complément alimentaire</i> <ul style="list-style-type: none"> • Grande variété de déchets issus du traitement des fruits et des légumes • Pailles de céréales additionnées d'une substance caustique destinée à en améliorer la digestibilité |
| Compostage | <i>Procédé microbiologique naturel permettant la décomposition de matières organiques dans des conditions aérobies contrôlées</i> <ul style="list-style-type: none"> • Résidus de brasserie déshydratés • Grande variété de déchets de fruits et de légumes • Résidus gélatineux |
| Fibres alimentaires | <i>Valorisation des déchets organiques solides par filtration et hydratation</i> <ul style="list-style-type: none"> • Fibres de marc de pommes ou de poires utilisées en boulangerie et dans l'industrie pharmaceutique • Balles d'avoine et d'autres céréales |
| Fermentation | <i>Mélange d'amidon, de sucre et de substances alcoolisées</i> <ul style="list-style-type: none"> • Biomasse (déchets agricoles, bois, ordures ménagères) destinée à la production d'éthanol • Résidus de pommes de terre destinés à la production de méthane • Sucre provenant de l'amidon de maïs destiné à la production de matières plastiques biodégradables |
| Incinération | <i>Utilisation de la biomasse en tant que combustible</i> <ul style="list-style-type: none"> • Noyaux, feuilles, noix, coquilles et branches élaguées destinés à la combustion ou à la production combinée d'électricité et de chaleur |
| Pyrolyse | <i>Transformation des coquilles de fruits secs et des noyaux de fruits en briquettes de charbon de bois</i> <ul style="list-style-type: none"> • Noyaux de pêches, d'abricots et d'olives, coques d'amandes et coquilles de noix |
| Amendement des sols | <i>Application sur les sols de fertilisants pauvres en nutriments et en matières organiques</i> <ul style="list-style-type: none"> • Pêches, poires, tomates |

Source: d'après Merlo et Rose, 1992.

Le tableau 67.5 présente les principaux coefficients de réutilisation de l'eau. Des éléments tels que l'emplacement des pulvérisateurs, la température de l'eau et la pression interviennent fortement sur le volume d'eau nécessaire au traitement des produits. Ainsi, l'eau servant au refroidissement des boîtes de conserve et à

Tableau 67.5 • Coefficients de réutilisation de l'eau caractéristiques de divers sous-secteurs des industries alimentaires

| Sous-secteurs | Coefficients de réutilisation |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| Fabrication du sucre de betterave | 1,48 |
| Fabrication du sucre de canne | 1,26 |
| Mouture du blé et du maïs | 1,22 |
| Distillation | 1,51 |
| Transformation des aliments | 1,19 |
| Traitement de la viande | 4,03 |
| Traitement des volailles | 7,56 |

la climatisation peut être ensuite réemployée pour le tout premier lavage des légumes ou d'autres produits, puis pour l'évacuation des déchets. Enfin, une partie de cette même eau peut servir à refroidir les cendres des appareils de chauffe.

Les techniques visant à la conservation de l'eau et à la prévention des déchets incluent notamment le nettoyage par jets à haute pression, l'élimination du surplus des cuves de lavage et de trempage, le remplacement des canalisations d'entraînement des matières par des convoyeurs mécaniques, l'installation de vannes d'arrêt automatique sur les tuyaux d'arrosage, la récupération, à partir des eaux chargées de déchets composites, de l'eau destinée au refroidissement des boîtes de conserve et la remise en circulation de cette eau de refroidissement.

Il est possible de réduire les charges polluantes des établissements industriels en modifiant les méthodes de traitement. Ainsi, dans le cas des fruits et des légumes, la pollution tient essentiellement aux opérations d'épluchage et de blanchiment. Le remplacement du blanchiment traditionnel, à l'eau ou à la vapeur, par un blanchiment dans un gaz chaud permet de diminuer la charge polluante de 99,9%. De même, l'épluchage à sec à la soude caustique peut abaisser la DBO de plus de 90% par rapport aux procédés classiques d'épluchage.

Traitement des eaux usées de l'industrie laitière

L'industrie laitière se compose d'un grand nombre d'entreprises relativement petites qui produisent du lait, du fromage, du caillé, de la crème aigre, des crèmes glacées, des produits à base de petit lait concentré et du lactose.

L'industrie laitière pratique depuis longtemps le traitement biologique aérobie de ses eaux usées. Nombre de laiteries ont consacré d'importants budgets à la construction d'installations réservées au procédé des boues activées, de tours d'épuration biologique, de réacteurs à fonctionnement discontinu et de systèmes intégrés de traitement des eaux. L'intérêt porté aujourd'hui à la préservation des ressources en eau et en énergie a incité de nombreuses laiteries à réduire leur consommation d'eau. Cette tendance, confortée par la présence d'une forte concentration de polluants dans les eaux usées de ces établissements, a débouché sur la conception et la mise en place d'innombrables installations anaérobies de traitement des eaux.

Les économies d'énergie

La complexification sans cesse croissante qui caractérise l'industrie alimentaire s'est accompagnée d'une augmentation de ses besoins énergétiques. De fait, elle a besoin d'énergie pour beaucoup de ses équipements: les fours à gaz, les séchoirs, les chaudières à vapeur, les moteurs électriques, les installations de réfrigération ou les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation.

L'augmentation du coût de l'énergie a motivé la mise en place d'installations de récupération de la chaleur et a favorisé les recherches sur l'emploi de nouvelles sources d'énergie dans certaines opérations comme l'affinage des fromages, la déshydratation des aliments ou le chauffage de l'eau. Les stratégies d'économie d'énergie, de réduction des déchets et de conservation de l'eau sont en fait complémentaires.

Les conséquences sur la santé du consommateur

L'urbanisation a de plus en plus éloigné le consommateur du producteur. Dès lors, privé des moyens classiques dont il disposait jusque-là pour s'assurer de la qualité et de la salubrité des aliments, le consommateur est devenu tributaire d'une industrie alimentaire consciente de sa fonction et de sa responsabilité. Cette dépendance accrue s'est accompagnée du risque de mise sur le marché de denrées contaminées. Pour y faire face, un ensemble de dispositions a été instauré, surtout dans les pays industriels, afin de protéger la santé de la population et de réglementer l'emploi des additifs et d'autres substances chimiques. L'harmonisation des règlements et des normes par-delà les frontières semble s'imposer pour garantir la libre circulation des denrées alimentaires dans le monde.

LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS

● L'INDUSTRIE DE TRANSFORMATION DE LA VIANDE

Deborah E. Berkowitz et Michael J. Fagel

La viande destinée à la consommation humaine est principalement fournie par les bovins, les porcs, les moutons, les agneaux et, dans certains pays, par les chevaux et les chameaux. La taille et la capacité de production des abattoirs varient considérablement. À l'exception des zones rurales où ces opérations se font à très petite échelle, les animaux sont abattus et traités dans des entreprises industrielles. Celles-ci sont généralement soumises à des contrôles sanitaires vétérinaires effectués par les autorités locales dans le souci de prévenir toute contamination bactérienne susceptible de porter atteinte à la santé du consommateur. Les agents pathogènes les plus courants sont, notamment, les salmonelles et *Escherichia coli*. Dans ces établissements, le travail, désormais très spécialisé, est presque entièrement effectué sur des chaînes de production où la viande progresse à l'aide de tapis roulants et de convoyeurs, chaque travailleur n'ayant en charge qu'une seule opération. La quasi-totalité de la découpe et du traitement est encore effectuée par le personnel. Un poste de production peut exiger entre 10 000 et 20 000 découpes par jour. Dans quelques grands abattoirs des États-Unis, par exemple, certains postes de travail, tels que ceux spécialisés dans la fente des carcasses et le tranchage du lard, sont aujourd'hui automatisés.

L'abattage

Les animaux sont rassemblés dans un enclos d'attente avant d'être conduits à la halle d'abattage (voir figure 67.2). Il est obligatoire de les étourdir avant de les saigner, sauf dans le cas des abattages rituels juif ou musulman. À cette fin, on emploie généralement un pistolet spécial soit à culasse mobile, soit à air comprimé qui percute un projectile dans le crâne de l'animal, au niveau du bulbe rachidien (*medulla oblongata*). Une fois étourdi ou «assommé», l'animal est hissé en l'air par l'une des pattes arrière et tiré par une chaîne accrochée à un convoyeur aérien qui l'achemine jusqu'au local voisin, où il est saigné par section de la veine jugulaire avec un couteau effilé. Le sang s'écoule dans des rigoles qui le dirigent vers les étages inférieurs où il est traité.

L'animal est dépouillé de sa peau (cuir) par une série de parfentes pratiquées au couteau — de nouveaux couteaux pneumatiques sont utilisés dans les grands abattoirs pour effectuer certaines opérations de dépouille. Il est ensuite pendu par les deux pattes postérieures à un convoyeur aérien à chaîne. Pour le porc, la dépouille n'intervient pas toujours à ce stade. Les soies sont enle-

vées par échaudage de la carcasse dans un bain d'eau chauffée à 58 °C, puis dans une machine à épiler. Les soies restantes sont éliminées par brûlage et, enfin, par rasage.

Les pattes antérieures sont alors coupées, et les viscères (intestins) retirés. La tête est tranchée et jetée dans un bac. La carcasse est fendue verticalement en deux parties, selon l'axe vertébral; des scies à ruban hydrauliques sont généralement utilisées pour cette opération. La carcasse est ensuite lavée à l'eau chaude et, éventuellement, désinfectée à la vapeur, sous vide, voire soumise à un procédé de pasteurisation récemment introduit dans un certain nombre de pays.

Le plus souvent, les vétérinaires-inspecteurs sanitaires interviennent à l'issue des opérations de tranchage de la tête, d'éviscération, de fente de la carcasse et de lavage final.

Figure 67.2 • Diagramme fonctionnel de l'abattage des bovidés

