



MANUEL

DE FORMATION

- PRODUCTION AGRICOLE ET TRANSFORMATION -

CONSERVATION, TRANSFORMATION ET CONDITIONNEMENT DES FRUITS ET LÉGUMES



Ce manuel de formation a été conçu et réalisé par les services Formation et Information & Communication du COLEACP.

La présente publication a été élaborée par le COLEACP dans le cadre de programmes de coopération financés par l'Union européenne (Fonds Européen de développement – FED), l'Organisation des États d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique (OEACP), l'Agence française de Développement (AFD) et le Fonds pour l'application des normes et le développement du commerce (STDF).

Le contenu de la présente publication relève de la seule responsabilité du COLEACP et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue officiel de l'Union européenne, de l'OEACP, de l'AFD et du STDF.

Le COLEACP gère deux programmes intra-ACP «Fit For Market». Le programme «Fit For Market», cofinancé par l'UE et l'AFD, qui en est à sa cinquième année, vise à renforcer la compétitivité et la durabilité du secteur horticole des pays d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique (ACP), principalement pour le secteur privé.

Le programme SPS «Fit For Market» a débuté en janvier 2019 et se concentre sur le renforcement des systèmes sanitaires et phytosanitaires (SPS) du secteur horticole des ACP, principalement pour le secteur public.

Les deux programmes font partie du programme indicatif intra-ACP (2014-2020) de coopération entre l'UE et l'OEACP.



CONSERVATION, TRANSFORMATION ET CONDITIONNEMENT DES FRUITS ET LÉGUMES

CHAPITRE 1: LA TRANSFORMATION: DÉFIS ET CONTRAINTES DANS LES PAYS ACP	1
1.1. Introduction	2
1.2. Quels sont les défis et quel est le contexte général du secteur agro-alimentaire dans les pays ACP?	8
1.3. Conservation, transformation, conditionnement	13
1.4. Créer une entreprise de transformation	18
CHAPITRE 2: IMPORTANCE DE LA PHYSIOLOGIE, DE LA MICROBIOLOGIE ET DE L'HYGIÈNE POUR LA CONSERVATION ET LA TRANSFORMATION DES PRODUITS	25
2.1. Importance de la détérioration des aliments	26
2.2. Analyse des différents facteurs influençant la préservation et la conservation des produits	27
2.3. Importance des micro-organismes pour la conservation et la transformation des produits	39
2.4. Influence de l'hygiène et des Bonnes Pratiques sur la conservation et la qualité des produits transformés	52
2.5. Annexes	55
CHAPITRE 3: OPÉRATIONS DE PRÉ ET POST-RÉCOLTE: NORMES D'HYGIÈNE ET BONNES PRATIQUES	57
3.1. Introduction	58
3.2. Les opérations de récolte	59
3.3. La préparation des produits en post-récolte	69
3.4. Les règles générales d'hygiène	81
3.5. Application des recommandations d'hygiène de base ou mise en place de PRP dans les entreprises	88
3.6. Application des principes HACCP	99
3.7. Mise en place d'un Système de Management de la Qualité Sanitaire et Phytosanitaire (SMQS) en entreprise	102

CHAPITRE 4: TECHNIQUES DE CONSERVATION DES PRODUITS	103
4.1. Principes généraux	104
4.2. La conservation par le séchage	109
4.3. Le traitement par la chaleur	116
4.4. Utilisation du froid pour la conservation	123
4.5. Autres techniques de conservation	128
4.6. L'emploi des additifs pour la conservation	139
4.7. Annexes	142
CHAPITRE 5: PRÉPARATION DES JUS ET NECTARS DE FRUITS	151
5.1. Définition et principes généraux	152
5.2. Les types de produits	155
5.3. Schéma de préparation des jus	159
5.4. Le conditionnement des jus de fruits	166
5.5. Les vérifications à réaliser pendant le processus	167
CHAPITRE 6: PRÉPARATION DES CONFITURES, GELÉES ET MARMELADES DE FRUITS	171
6.1. Définition et principes généraux	172
6.2. Caractéristiques des différents produits	175
6.3. Schéma de production des confitures, marmelades et gelées	178
6.4. Risques en production et vérifications à réaliser	189
6.5. Annexe: Formulation et calcul du rendement industriel	193
CHAPITRE 7: PRÉPARATION DES FRUITS ET LÉGUMES SÉCHÉS	195
7.1. Principes généraux du séchage	196
7.2. Les types de produits	204
7.3. Schéma général de préparation des produits séchés	206
7.4. Caractéristiques des différents séchoirs	222
7.5. Les vérifications à réaliser pendant le processus	227
7.6. Annexes techniques	232

CHAPITRE 8: PRÉPARATION DES PRODUITS CONGELÉS	233
8.1. Réfrigération et congélation : définitions	234
8.2. Principes physiques du procédé de congélation	237
8.3. Congélation et risques de détérioration	244
8.4. Procédés de préparation des produits congelés	248
CHAPITRE 9: CONDITIONNEMENT ET MARQUAGE DES PRODUITS	259
9.1. Le conditionnement	260
9.2. Installations de conditionnement	263
9.3. Opérations de conditionnement	269
9.4. Les emballages	279
9.5. Les matériaux d'emballage	290
9.6. Palettisation des emballages	305
9.7. Le marquage des produits	308
ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES	319
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	323
SITES WEB UTILES	327



Chapitre 1

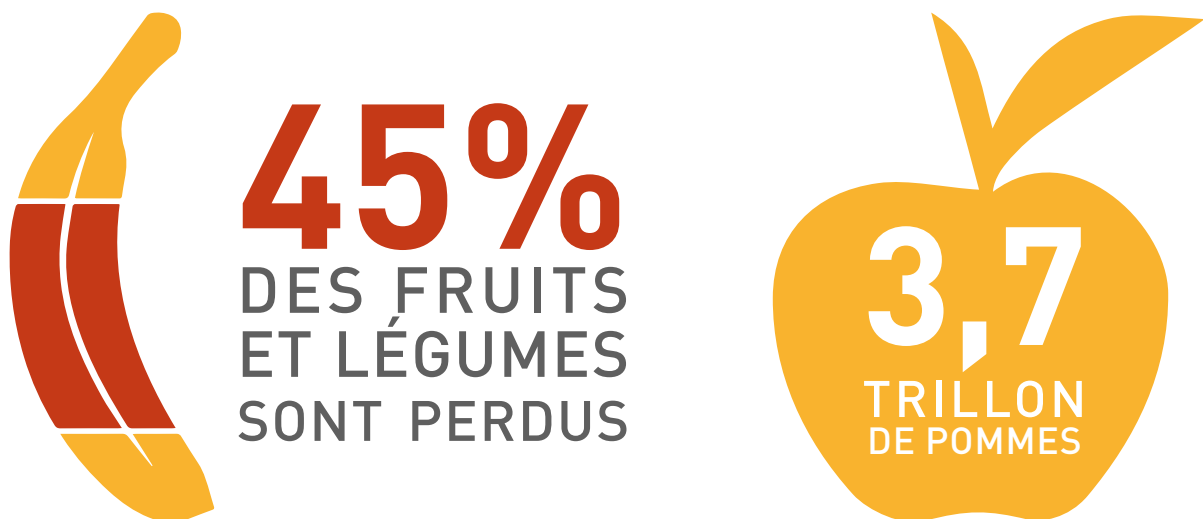
La transformation: défis et contraintes dans les pays ACP

1.1. Introduction	2
1.2. Quels sont les défis et quel est le contexte général du secteur agro-alimentaire dans les pays ACP?	8
1.3. Conservation, transformation, conditionnement	13
1.4. Créer une entreprise de transformation	18

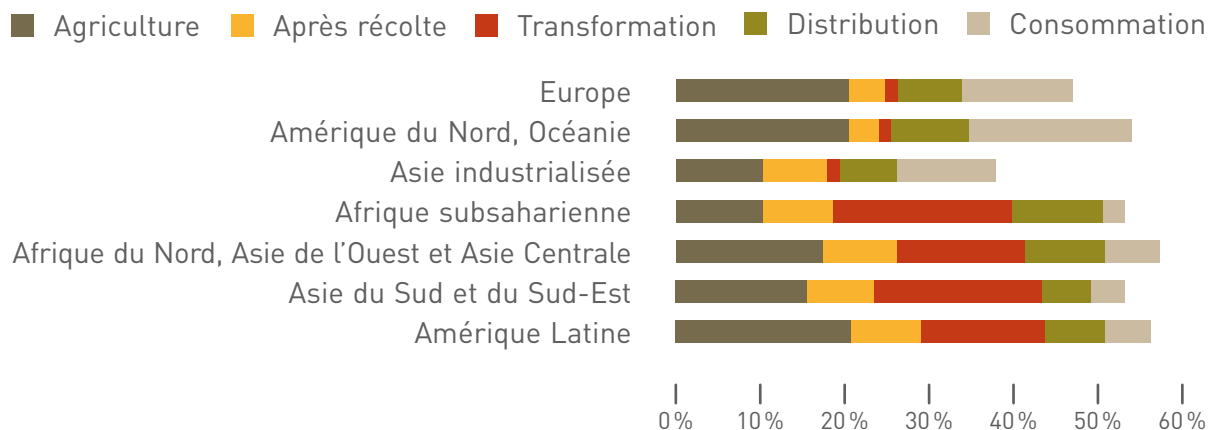
1.1. INTRODUCTION

1.1.1. Des pertes insupportables

Sans transformation, une immense quantité d'aliments (pouvant aller jusqu'à 90%) sont perdus entre la récolte et la consommation. Alors que les pertes durant la période de production sont globalement estimées à 30% (notamment sous la pression des adventices, des maladies et des ravageurs), **les pertes en post-récolte pourraient être encore plus élevées**, souvent à cause de l'insuffisance des installations d'entreposage qui laissent l'humidité, les champignons parasites, les animaux nuisibles et les insectes faire leurs ravages, mais aussi tout simplement faute de débouchés au moment de la surabondance engendrée par le **pic de production** (spécialement, p. ex., quand une même variété s'est imposée dans une région, créant un afflux instantané de produits... inutilisables). Pourtant, pour le paysan, la perte en post-récolte est plus révoltante et plus économiquement pénalisante encore que pendant le cycle végétatif, car gaspiller une partie de sa récolte, c'est perdre tout ce qui a été investi en labour, en semences, en fertilisants, en eau, en produits phytosanitaires, etc.



Les fruits et légumes, de même que les racines et tubercules, ont le taux de perte le plus élevé de tous les produits alimentaires ; ainsi presque la moitié des fruits et légumes produits sont perdus.



Les fruits et les légumes sont des denrées extrêmement périssables. Actuellement, au niveau mondial, jusqu'à 23% de ceux parmi les plus périssables sont perdus pendant leur parcours de la chaîne agro-alimentaire parce qu'ils se détériorent : pourrissement, dessèchement, blessures dues à la mécanisation pendant le ramassage, le conditionnement et le transport, ou à cause des moyens de transport. On a estimé que **ces pertes dépassaient 40 à 50% sous les tropiques et dans les régions subtropicales** (manuel FAO, 2004 citant une étude de 1995). Des pertes se produisent également au cours de leur durée de conservation et de leur préparation à la maison ou dans les services de restauration. De plus, dans beaucoup de pays ACP, seule une quantité limitée de produits dérivés de fruits et de légumes est destinée aux marchés locaux ou à l'exportation par suite du manque d'équipement et d'infrastructures.

Les pertes en post-récolte, estime la FAO, sont néanmoins aujourd'hui encore difficiles à évaluer faute de données statistiques fiables, mais **elles sont considérées comme un des défis majeurs à relever** par l'agriculture et l'agro-industrie africaines.

À titre d'exemple, la FAO estime qu'au Nigéria, les pertes de racines et tubercules atteignent 50 à 60 %, et, pour les fruits et légumes, plus de 50 % à la suite des mauvaises conditions de stockage. Selon le CORAF (2016)¹, les pertes de productions demeurent élevées (15 à 40%) et restent imputables par endroit à l'absence de procédés locaux de transformation alimentaire et de conservation adaptée. La tomate ou la mangue sont de bons exemples de produits sévèrement touchés par les pertes en post-récolte. On ne s'étonnera donc pas de trouver pour ces produits de nombreux exemples de techniques de conservation et de transformation (produits séchés, confits ou non dans l'huile ; purées ; confitures ; jus ; etc.).

Des pertes aussi élevées et récurrentes sont insupportables quand on connaît la pénurie d'aliments à l'échelle du continent africain, quand on connaît la pénibilité des travaux agricoles, quand on connaît la pauvreté des ménages. Jamais un paysan n'acceptera facilement que sa récolte soit perdue. Pour limiter ces pertes élevées, il est nécessaire d'adopter diverses mesures qui permettront de les réduire au minimum pendant la récolte, le maniement, le stockage, le conditionnement et la transformation des fruits et légumes frais en produits adaptés à une meilleure conservation. Pour réduire ces pertes, et retourner les défis d'une surproduction momentanée en avantages pour les populations locales, **développer des techniques et des entreprises capables de transformer** les produits périssables que sont les fruits et légumes est indispensable.

1 CORAF, « Note d'information sur les politiques et stratégies de transformation alimentaire des produits agricoles en Afrique de l'Ouest et du Centre ». Le CORAF, ou Conseil ouest et centre africain pour la recherche et le développement agricoles (CORAF), en anglais *West and Central African Council for Agricultural Research and Development* (WECARD), est une association internationale à but non lucratif regroupant les systèmes nationaux de recherche agricole de 22 pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre.

1.1.2. La transformation : un savoir-faire ancien trop peu valorisé

La transformation des aliments est aussi ancienne que l'espèce humaine. Les spécialistes de l'alimentation et de la sociologie nous indiquent qu'elle aurait accompagné pendant des milliers d'années la chasse, la cueillette, le ramassage ou la pêche. La transformation alimentaire n'aurait donc pas commencé, comme on le pensait auparavant, avec la sédentarisation des agriculteurs et des éleveurs, il y a environ 11 500 ans.

Chaque région du monde, suivant les conditions agro-climatiques, économiques et sociales, a développé peu à peu un savoir-faire traditionnel pour transformer sa production, créant de nouveaux aliments et engendrant du même coup des habitudes alimentaires propres à cette région ou à ce groupe social. À l'aube de l'humanité donc, **les principes de base de la transformation alimentaire étaient déjà connus et les techniques employées similaires** à celles pratiquées aujourd'hui, notamment la cuisson, le séchage, le fumage, le salage et la conservation par le froid, par le sucre ou par la fermentation. À croire que notre époque moderne n'a rien inventé, si ce n'est des appareillages plus performants... et des préoccupations liées à l'hygiène des aliments.

Grâce à la transformation (comme le séchage ou le salage, p. ex.), les producteurs **améliorent tout d'abord la conservation** de leurs produits, parfois sur de longues périodes (plusieurs mois), en les rendant moins susceptibles d'être la proie d'insectes ou de rongeurs, comme c'est le cas pour les réserves de grains entreposés dans les greniers.

Grâce à la transformation, ils **améliorent aussi la variété de leur régime alimentaire** en apportant des vitamines et des sels minéraux absents dans les grains stockés. Ils disposent de réserves alimentaires suffisantes, en quantité et en qualité, pour traverser les périodes de soudure. Pour certains aliments, **la transformation est même une étape indispensable pour qu'ils soient consommables** (ex. : pour éliminer leur toxicité, comme dans le cas du manioc, pour lequel le rouissage élimine l'acide cyanhydrique) **ou plus digestibles**.



Du rouissage artisanal du manioc...



à la crêpe à base de farine de manioc
pour les régimes sans gluten

Mais la transformation a encore d'autres atouts. Elle permet d'éviter le gaspillage de produits périssables (tels les fruits et légumes) lors des périodes de surproduction saisonnière et de les valoriser. La transformation des aliments permet de réduire la pauvreté dans les milieux ruraux, en créant des emplois et en générant des revenus complémentaires. En effet, les fruits ou les légumes sont des matières premières souvent disponibles en abondance dans la région en pleine saison. Par conséquent, leur acquisition ne nécessite pas plus d'investissement conséquent que les technologies de transformation rudimentaires qui sont employées en milieu rural. Avec un tout petit capital de départ (ex. : 1 000 €), un groupement de femmes ou un producteur peut se lancer dans la transformation en utilisant des ustensiles de cuisine trouvés sur le marché local et grandir peu à peu. La transformation des mangues en chips de mangue est une valeur ajoutée par rapport à la mangue périssable.

1.1.3. De la production artisanale à l'agro-industrie²

Au cours des 20 dernières années, le commerce des produits horticoles en provenance des États ACP à destination de l'Europe a connu une expansion régulière. Les pays ACP, et l'Afrique en tout premier lieu, sont considérés aujourd'hui comme des mines d'or pour le secteur de l'agro-alimentaire. En effet, l'Afrique est l'un des continents qui offre le plus d'espace disponible (1 242,6 milliers d'ha de terres agricoles). Il est encourageant de noter que les performances agricoles se sont récemment améliorées en Afrique. Mais la majorité du surplus de production résulte de l'augmentation des surfaces cultivées, plutôt que d'une meilleure productivité ou de l'utilisation accrue d'intrants modernes.

Même si les taux de croissance de la productivité agricole sont globalement décevants en Afrique, treize pays de cette région ont néanmoins doublé leur production en deux décennies depuis les années 80, et certains partaient de très bas. Les pays où les petites exploitations agricoles tiennent une place prépondérante, tels que le Burkina Faso, le Ghana, le Mali et le Niger, comptent parmi les plus performants. Ceux dans lesquels la part de la petite agriculture est moins élevée affichent des résultats beaucoup plus modestes (Banque mondiale)³. Selon un sondage de la Banque mondiale, plus de 50% des terres fertiles sont en Afrique subsaharienne. On parle de l'Afrique comme du futur «grenier du monde».

Cependant, dû au manque de savoir-faire, et à la mauvaise gestion des récoltes, l'Afrique n'a que très peu de résultat quant aux récoltes. **Les pays africains produisent énormément, mais seulement très peu d'aliments seront envoyés dans les usines agro-alimentaires locales.**

2 Voy. aussi P. Jacquet, R.K. Pachauri et L. Tubiana, *Regards sur la Terre – Agriculture et développement économique en Afrique : les termes du débat*, Paris, Armand Colin, 2012.

3 Banque mondiale, «Agriculture et industrie agro-alimentaire en Afrique : favoriser un développement inclusif».

Jusqu'à présent, le manque d'infrastructures de transformation alimentaire obligeait l'Afrique à exporter ses matières premières afin qu'elles soient transformées, puis à les réimporter pour les vendre sur le marché africain. Ceci représentait une forte perte économique pour les pays concernés et une perte de temps également.

Désormais, les plus grandes multinationales ou PME installés en Afrique ont pour but de produire et de transformer localement les aliments afin de répondre plus rapidement aux demandes qui sont de plus en plus croissantes. En effet, les professionnels du secteur agro-alimentaire signalent que les activités de transformation locale de produits primaires agricoles en produits alimentaires offrent **un potentiel important** en termes d'emplois ruraux et urbains, de créations de valeurs économiques et sociales. La **demande des consommateurs africains en produits alimentaires transformés augmente**, en raison d'une modernisation des modes de vie et d'une augmentation du pouvoir d'achat de certaines catégories de population.

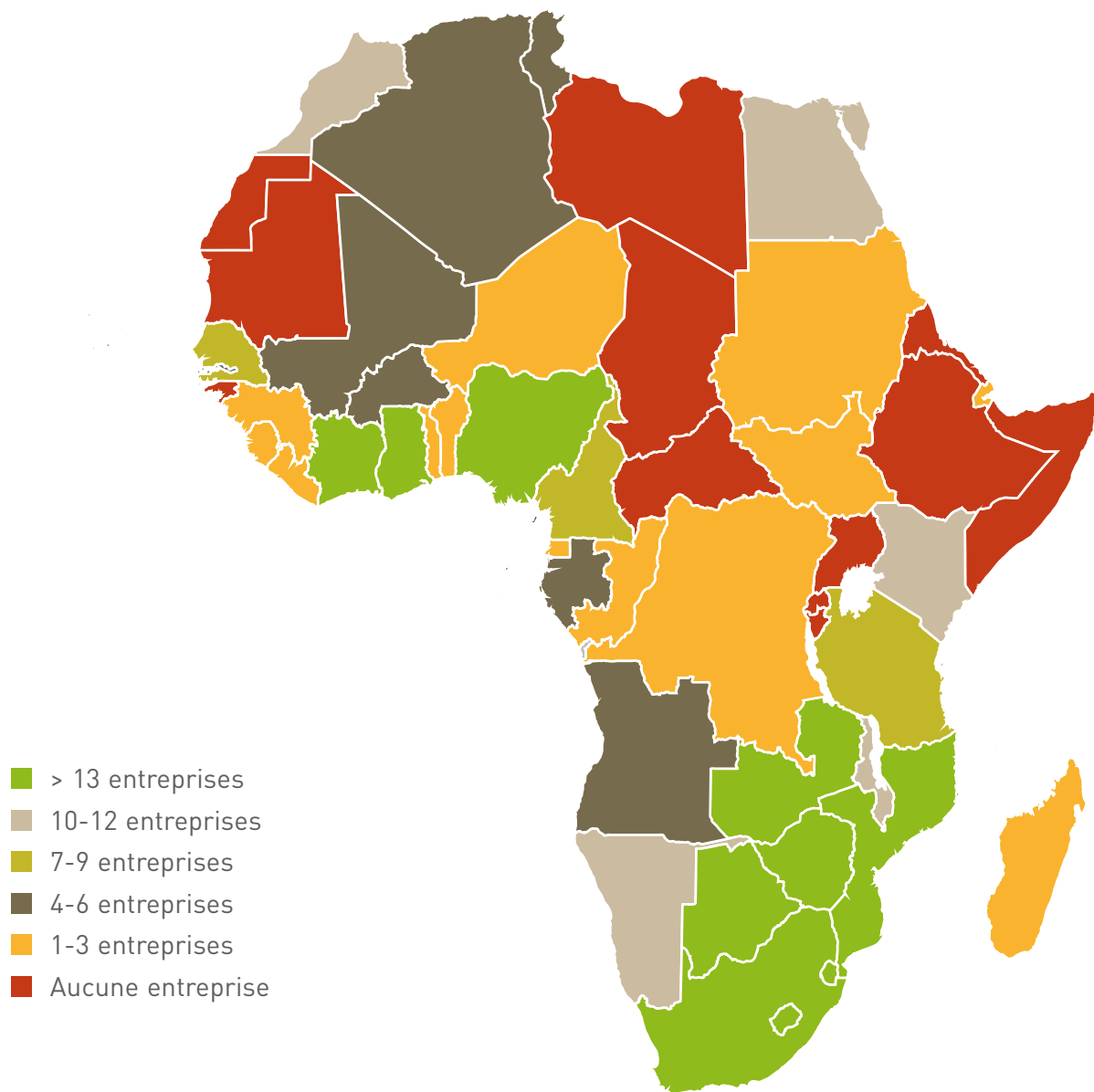
Face à ce potentiel de croissance et à la demande des consommations, des multinationales (comme Nestlé, Danone, Unilever, etc.) accélèrent leurs investissements en Afrique. C'est pourquoi le secteur de l'agro-alimentaire se développe au fil des années. Il faut toutefois se garder de tout triomphalisme, car, par exemple, en Côte d'Ivoire, malgré le soutien actif et volontariste des autorités politiques, la part de l'agro-industrie dans le PIB n'est que de 3% et l'économie locale reste donc fortement tributaire du secteur agricole primaire.

Pour l'instant, seule l'Afrique du Sud dispose de compétences agro-alimentaires et commerciales. Les freins au développement de ce secteur d'activité ailleurs s'expliquent par **le manque de capacités et de compétences humaines**. Les **industries africaines ne disposent pas de suffisamment d'expérience en termes de gestion et de développement des entreprises** évoluant dans le secteur de l'agroalimentaire.

Il s'avère cependant **indispensable de contrôler tous les maillons de la chaîne de valeur** pour garantir le succès de l'agro-industrie des pays ACP. Ainsi en est-il pour le premier maillon de la chaîne, qui est celui de la production. Trop souvent, pour les arbres fruitiers ou les légumes plantés autour des cases, le matériel végétal n'est pas du matériel sélectionné, performant au point de vue rendement et produit de qualité. L'entretien des arbres n'est pas régulier, les tailles d'entretien et de régénération ne sont pas faites, il n'y a pas de fumure organique ou chimique régulière, pas de suivi phytosanitaire régulier. La plantation ne fait pas l'objet d'un suivi agronomique. Or, un fruit de mauvaise qualité ne peut que donner un produit transformé médiocre.

Si le secteur de la transformation veut passer à l'échelle industrielle, la production horticole devra suivre également en qualité et en quantités disponibles.

1.1.4. Des situations très variables d'un pays à l'autre



OCDE (2007) : répartition des 500 premières entreprises agro-alimentaires en Afrique

Au final, les situations observées aujourd'hui **varient fortement d'un pays à un autre** en fonction notamment :

- de la structuration du secteur,
- des types de production,
- de la demande du marché local, liée essentiellement aux modes de consommation et aux habitudes alimentaires,
- de l'éloignement des marchés,
- des conditions locales de transport ou de stockage,
- de l'existence de centres d'innovation et de soutien au secteur agro-alimentaire,
- de la volonté des autorités locales.

Globalement, on trouve des équipements de transformation souvent rudimentaires, vétustes ou obsolètes dans la plupart des pays, capables d'atteindre un niveau de qualité qui ne satisfait généralement plus des consommateurs de plus en plus urbains et habitués à d'autres standards. Par conséquent, pour les produits récoltés, **la vente de produits frais sur un marché de proximité, comme les procédés traditionnels et artisanaux de transformation, restent dominants**, avec bien entendu parfois quelques améliorations technologiques, mais qui, le plus souvent, ne sont pas encore généralisées à travers les pays.

1.2. QUELS SONT LES DÉFIS ET QUEL EST LE CONTEXTE GÉNÉRAL DU SECTEUR AGRO-ALIMENTAIRE DANS LES PAYS ACP ?

1.2.1. Les défis majeurs à relever par l'industrie de transformation

Les défis les plus importants à relever seraient⁴ :

- a. **Les infrastructures** – Pour que l'expansion du secteur de l'agro-alimentaire puisse être effective sur l'ensemble du continent africain, il est essentiel de mettre en place les infrastructures adéquates. Celles-ci comprennent notamment les infrastructures utiles à la production (ex. : irrigation, réserves d'eau, aménagements pour l'accès aux terres...) et au transport (routes en bon état), les infrastructures de triage et de stockage, l'installation des marchés dans de bonnes conditions d'hygiène, les infrastructures utiles à la communication et à la diffusion des informations, l'accès à l'eau potable et la fourniture régulière d'électricité, etc. Ainsi, l'absence d'un réseau routier rural de qualité ou l'absence d'information sur les cours des diverses denrées restreint fortement l'accès aux marchés par les agriculteurs et impactent leurs revenus. Les pertes après les récoltes sont donc considérables. Le financement du secteur agro-alimentaire doit également être amélioré. L'investissement direct étranger dans l'agriculture africaine représente 7%, ce qui est peu en comparaison avec l'Asie (78%).
- b. **L'accès à l'énergie**⁵ – Sans énergie, impossible de développer un secteur agro-industriel qui a besoin de chaleur pour le séchage ou la cuisson, de vapeur d'eau, d'électricité pour les machines et les chambres frigorifiques, de fuel pour le transport, etc. Sans énergie à un coût acceptable, impossible de mettre sur le marché des produits concurrentiels. Enfin, sans miser sur l'énergie renouvelable, impossible de concurrencer les produits importés au niveau de l'empreinte carbone (ex. : ainsi, les produits fabriqués dans les pays bien dotés en centrales nucléaires ont un bilan carbone beaucoup plus favorable que ceux de pays dotés de centrales au fuel). Alors que l'Afrique est riche en sources d'énergie (19% de la production mondiale pour les combustibles fossiles et un potentiel énorme, mais encore trop peu exploité, dans les énergies renouvelables), les populations africaines ne consomment que

4 Voy. AfrikaTech, « État des lieux du secteur agro-alimentaire en Afrique en 2017 », www.afrikatech.com/fr/.

5 R. Cantoni et M. Musso, « L'énergie en Afrique : les faits et les chiffres. Introduction », *Afrique contemporaine*, 2017/1-2, n° 261-262, pp. 9 à 23.

3,2% de l'énergie primaire mondiale, ce qui est la consommation par habitant la plus faible par continent. En 2014, la moitié de la population (1,2 milliard d'habitants) n'avait pas encore accès à l'électricité, le recours à la biomasse fournissant l'énergie de base pour la cuisson. Des travaux d'infrastructure considérables sont donc absolument nécessaires. Des investissements dans ce secteur pourraient contribuer de manière décisive à améliorer les activités agro-industrielles. L'insuffisance des infrastructures énergétiques est systématiquement pointée du doigt comme l'une des principales causes du manque d'investissements dans les secteurs industriels, mais la mise en œuvre de projets d'infrastructures énergétiques a également accentué le fléau de la corruption (Brookings Institute, 2016)⁶.

- c. **La problématique foncière** – De nombreux agriculteurs ne sont pas en mesure d'augmenter leur production. En effet, l'accès à la terre est très limité. Il est essentiel que les modes de distribution des terres tels qu'ils existent actuellement en Afrique soient repensés. Les gouvernements ainsi que les investisseurs se doivent donc de mettre en œuvre des règles pour sauvegarder l'environnement dans le but de réduire les risques relatifs aux investissements agro-alimentaires. Il s'agit tout particulièrement des investissements liés à l'achat de terres à grande échelle.
- d. **Les TIC** – Le rôle des technologies de l'information et de la communication est essentiel au développement de l'agro-alimentaire. Leur intervention doit se produire à chaque étape clé du processus : avant la culture (sélection des terres, accès aux crédits), pendant la culture et la récolte (gestion de l'eau, préparer la terre, etc.), après la récolte (transport, emballage, commercialisation, etc.). L'importance des TIC dans le secteur agro-alimentaire a bien été assimilée par le Kenya et le Zimbabwe. Grâce aux TIC, les agriculteurs sont parvenus à augmenter leur rendement et leurs revenus. Une utilisation judicieuse des TIC permet de générer des économies, d'augmenter les revenus et la rentabilité des entreprises agro-alimentaires de toute taille.
- e. **Les investissements** – Les entreprises et investisseurs africains doivent saisir l'opportunité offerte par le secteur agro-alimentaire pour libérer tout son potentiel. Pour ce faire, l'agriculture doit être considérée comme une activité commerciale et s'inspirer des meilleures pratiques. Il est nécessaire de mettre en relation les capacités industrielles liées à la fabrication et la transformation avec la production agricole. De plus, les pertes se produisant tout au long de la filière alimentaire (exploitation agricole, stockage, transport, vente au détail, etc.) doivent disparaître. Les investisseurs, grâce aux financements apportés, permettront de libérer le potentiel agro-alimentaire de l'Afrique. Cependant, la coopération entre les secteurs financier et agricole est embryonnaire. Les défis d'investissement sont en rapport direct avec **l'environnement des affaires**. En effet, les entreprises agro-alimentaires doivent faire face à des besoins croissants d'investissements. Mais si les investissements sont **d'ordre matériel** (acquisition de nouveaux équipements polyvalents

6

À noter que, parmi les industries agro-alimentaires, le secteur des fruits et légumes est néanmoins un des moins consommateurs d'énergie (environ 5% de l'énergie consommée des IAA).

et plus performants], ils sont aussi d'ordre **immatériels**. Ces entreprises font également souvent face à un capital humain peu qualifié et aux coûts élevés de la promotion et la publicité. L'accès au financement est, en outre, un défi de taille, et le caractère informel de ce secteur n'améliore pas la situation.

- f. **Les défis commerciaux** – Ce sont les plus immenses à cause de la concurrence, parfois déloyale, des produits importés. Il faudra, pour les industries agro-alimentaires des pays ACP, conquérir des marchés émergents et surtout préserver le marché intérieur. Pour cela, il faut des prérequis qui ne sont pas forcément inscrits dans le tableau de bord des PME/PMI. Elles doivent mieux prendre en compte les nouvelles exigences du consommateur en matière de sécurité sanitaire et de qualité nutritionnelle, et tenter d'augmenter le degré de transformation des produits afin de proposer aux consommateurs des produits à haute valeur ajoutée.
- g. **Le défi des politiques publiques et des stratégies d'investissement** – Ce sera de lier le développement des «agro-industries» avec celui des fournisseurs d'équipements et celui des services agro-alimentaires (conseil, formation, distribution, marketing, etc.) où il y a aussi un potentiel de croissance et d'emploi, sans oublier l'impératif de la sécurité alimentaire. En effet, il faut s'assurer que les familles les plus modestes aient la possibilité de s'alimenter correctement à des prix décents.
- h. **Le défi de l'innovation et de la recherche** – Les industries agro-alimentaires sont des industries qui font beaucoup appel à l'innovation et à la recherche pour renforcer leur compétitivité. Cependant, elles doivent importer souvent l'essentiel de leur équipement. Au moindre petit défaut, les pièces doivent quitter l'Europe, créant ainsi des pertes financières énormes pour les petites industries. Les centres-pilotes (ex. : CTA au Sénégal) assurent le transfert de technologies avec plusieurs acquis considérables.

1.2.2. Analyse SWOT

Partant d'une analyse SWOT de 2016 réalisée par la CORAF⁷, nous avons tenté d'actualiser les perspectives et d'identifier ainsi **les forces du secteur agro-alimentaire et les contraintes qui pèsent sur son développement, ainsi que les opportunités et les menaces qui se présentent.**

1.2.2.1. Quels sont les atouts ?

Parmi les forces des politiques et stratégies de la transformation alimentaire des produits agricoles, on peut citer :

- la gestion des déficits alimentaires saisonniers,
- la promotion des petites industries à forte intensité de main-d'œuvre et l'appui aux opérateurs désireux d'investir dans l'agro-industrie,

⁷ CORAF, «Note d'information sur les politiques et stratégies de transformation alimentaire des produits agricoles en Afrique de l'Ouest et du Centre. SWOT : Forces / Faiblesses / Opportunités / Menaces», 2016.

- la simplification des formalités de création d'entreprises,
- l'amélioration du climat des affaires,
- le dialogue entre l'État et le secteur privé autour d'un plan de développement à moyen terme par filière,
- la mise en place de plans de développement des industries de transformation des produits du terroir ainsi que ceux du sous-secteur des industries animales.

1.2.2.2. *Quelles sont les contraintes qui pèsent sur le secteur ?*

Malheureusement les faiblesses sont nombreuses et diversifiées, ce qui ne rend pas aisée la recherche de solutions efficaces et rapidement mises en œuvre. Citons :

- une législation fiscale et une administration contraignante,
- un problème de sécurisation foncière,
- une faible professionnalisation des acteurs (agriculture familiale),
- une faible compétitivité des unités de transformation,
- une faible diversification des produits,
- une atomisation des exploitations,
- une faible réponse de la production agricole face à la demande des marchés,
- la libéralisation croissante des économies nationales et le désengagement des États,
- un fort taux de pertes post-récolte de certains produits hautement périssables, comme les bananes, les tomates...,
- une faible opportunité de financement,
- un éloignement des marchés,
- des difficultés d'accès et une maîtrise des technologies,
- une difficulté d'accès et/ou coût de l'énergie,
- des difficultés d'approvisionnement en matières premières, équipements et en emballages adéquats,
- une méconnaissance des marchés et des opportunités créées par les accords bilatéraux et multilatéraux,
- un manque de politique de qualité et une insuffisance des structures de contrôle et de certification des normes,
- une instabilité du prix et une irrégularité dans l'approvisionnement en matières premières,
- un accès difficile au financement,
- la faiblesse et la vétusté des petits équipements de transformation,
- les faibles performances des techniques artisanales,
- le manque de technologies adaptées aux réalités du terrain,
- les barrières contre les circuits de produits entre pays voisins.

1.2.2.3. Quelles sont les opportunités à saisir et les stratégies ?

- L'accroissement de la demande alimentaire à la suite de la croissance démographique, surtout en produits moins chers que les produits importés (encore que ce soit relatif pour certains produits).
- L'accroissement de la productivité agricole par utilisation de nouvelles technologies agricoles et agro-pastorales.
- La volonté des États ACP de développer le secteur agro-technologique pour assurer aux populations une nourriture saine et de bonne qualité, notamment faire la promotion des produits locaux.
- L'existence d'une demande potentielle et croissante en produits locaux transformés (souhait de valoriser ses produits sur son marché).
- L'intégration des marchés sous-régionaux (faciliter les échanges entre régions).
- L'expérience et savoir-faire séculaires des populations locales : valoriser les produits artisanaux de haute qualité (compétitifs par rapport aux produits importés).
- Le développement de filières de qualification des cadres et ouvriers.
- La création de milliers d'emplois en milieu rural par la mise en place et le suivi d'unités de transformation et de conservation des produits locaux.
- L'aspect écologique de la transformation : on ne gaspille rien de la production, souvent très généreuse sur un temps court, on peut valoriser les co-produits (énergie, compost, huiles, aliments pour le bétail...).

1.2.2.4. Quelles sont les menaces pour le secteur ?

- Le désengagement de l'État des entreprises publiques.
- Les problèmes de l'énergie, de la qualité et de l'accès à l'eau (disponibilité et coût).
- L'inexistence de crédit adapté au secteur.
- Les infrastructures de transport et de stockage inadéquates.
- La réduction ou l'insuffisance de l'offre de fret.
- Les exigences accrues en matière phytosanitaire (accès au marché de l'UE).
- La faiblesse des « plans annuels de contrôle » (carence dans l'analyse des risques SPS ; échantillonnages insuffisants à assurer la maîtrise des risques SPS du fait du coût des contrôles officiels, voire de l'impossibilité de les réaliser).
- L'absence d'infrastructures de base pour assurer un contrôle officiel efficace et complet (laboratoire de diagnostic ; laboratoires d'analyse des divers contaminants).
- L'absence de personnel qualifié en nombre suffisant pour assurer la surveillance et la certification des produits.
- La difficulté d'accès aux informations pour les professionnels du secteur (ex. : absence de veille réglementaire systématique ; faiblesse des équipements).
- La concurrence des autres origines (*dumping*).

1.3. CONSERVATION, TRANSFORMATION, CONDITIONNEMENT

1.3.1. Les six gammes de produits

Il existe de nombreuses formes de transformation et de conservation des aliments, depuis les denrées «brutes» non transformées jusqu'aux produits les plus sophistiqués au niveau de l'emballage. Tous ces types de présentation présentent des avantages et des inconvénients, par exemple, le maintien ou non de la chaîne de froid, ou la perte de qualité nutritionnelle. Les procédés de préparation, comme le conditionnement, seront développés en détails dans les chapitres suivants de ce manuel.

Selon les professionnels, on compte aujourd'hui **six gammes de produits** alimentaires.

1.3.1.1. Première gamme : les produits frais

Ce sont les produits agricoles frais, en l'état (tels que récoltés), éventuellement lavés, tranchés, parés, etc., conservés à température ambiante ou réfrigérés, et considérés comme périssables. La conservation va, selon les produits et leur degré de maturité à la récolte, de quelques jours à quelques semaines, à température ambiante ou au réfrigérateur. DLC⁸ plutôt courte.

1.3.1.2. Deuxième gamme : les produits pasteurisés ou appertisés (bocaux, Tetra Brik, conserves)

Ce sont des produits traités par la chaleur, par pasteurisation ou par stérilisation, conservés en emballages étanches (métalliques, verres ou autre). Destruction de certaines vitamines, dénaturation des protéines, ramollissement des fibres, parfois inversion du saccharose. La conservation à température ambiante est prolongée de 2 à 5 ans (DDM⁹) dans de bonnes conditions (notamment les boîtes de conserve).

1.3.1.3. Troisième gamme : les produits congelés et surgelés

Ce sont des produits conditionnés par le froid, par la congélation ou la surgélation. Le froid permet une conservation plus limitée dans le temps que celui de la deuxième gamme. La conservation est permise plusieurs mois à une température qui doit rester constamment :

- sous les -12 °C pour les produits congelés (méthode plus lente)
- sous les -18 °C pour les produits surgelés (méthode plus rapide)

8 DLC : la date limite de consommation concerne les produits alimentaires périssables susceptibles, après une courte période, d'exposer la santé du consommateur à un danger immédiat (sécurité des produits). Sur les conditionnements, elle est repérable à la mention «À consommer jusqu'au...», suivie de la date limite de consommation. Cette date limite de consommation peut être fixée soit par le producteur, soit par la réglementation en vigueur pour certains produits spécifiques.

9 DDM : la date de durabilité minimale a remplacé en 2015 la DLUO (date limite d'utilisation optimale ; salubrité des produits et non un problème de sécurité pour le consommateur). Sur les emballages, on retrouve la date limite d'utilisation optimale sous l'expression suivante : «À consommer de préférence avant le ...», suivie du jour, du mois et de l'année pour les produits d'une durabilité inférieure à trois mois, ou par la mention «À consommer de préférence avant fin» suivie, soit du mois et de l'année, pour les produits d'une durabilité comprise entre 3 et 18 mois, soit de l'année seule au-delà.

Modification de la texture. Perte en micronutriments si décongélation lente. Obtention d'une DDM (de plusieurs mois). Le maintien de la chaîne du froid est primordial. La décongélation doit se faire au réfrigérateur ou le produit être mis en cuisson directe.

1.3.1.4. Quatrième gamme : les produits végétaux crus prêts à l'emploi (épluchés, coupés, parés) conditionnés sous atmosphère modifiée

Les produits (salades et légumes «frais», carottes râpées, légume prédécoupés, pommes de terre découpées en frites) sont conditionnés sous air ambiant ou atmosphère modifiée, ou encore sous vide, en sachet ou en barquette. Soit le conditionnement se fait sous atmosphère contrôlée, ce qui consiste à augmenter la proportion de dioxyde de carbone et d'abaisser celle de dioxygène afin de ralentir le développement d'une partie des micro-organismes. Soit le conditionnement sous vide qui inhibe le développement de tous les micro-organismes. Les micro-organismes sont mis en dormance, mais les autres altérations sont aussi ralenties. Si la chaîne du froid est bien respectée, les produits de la quatrième gamme peuvent être conservés 5 à 10 jours maximum, au réfrigérateur entre 0 et +4 °C. Le maintien de la chaîne du froid est primordial. Ils pourront être utilisés pour préparer rapidement des salades, par exemple. Ces produits doivent porter une date limite de consommation (DLC).

1.3.1.5. Cinquième gamme : les produits agricoles cuits sous vide, pasteurisés ou stérilisés, prêts à l'emploi, conservés grâce à une réfrigération.

Ce sont des légumes et fruits triés, prédécoupés, prêts à l'emploi, cuits ou précuits sous vide. Une fois cuits ou précuits, les produits de la cinquième gamme sont conservés selon le même procédé que les produits de la quatrième gamme. La durée maximale de conservation dépendra du mode de conditionnement (de quelques jours à un mois). Ce type de produit a été développé dans les années 80, car elle répondait à l'évolution des habitudes alimentaires liées à celle du mode de vie : «on cuisine» de moins en moins quotidiennement, on «assemble» en réchauffant. Il faut accorder son attention au couple produit-emballage, le plus souvent du plastique, pour un conditionnement en rations individuelles ou multiples (restauration collective). Cette gamme se situe entre les produits appertisés et les produits frais, avec deux sous-catégories :

- *La 5^e gamme de légumes pasteurisés* : tout produit alimentaire d'origine végétale ayant subi un traitement thermique à température comprise entre 65 et 85 °C à cœur, lui assurant une conservation de 21 ou de 42 jours à ± 2°C. Le maintien de la chaîne du froid est primordial. Ces produits doivent porter une date limite de consommation (DLC).
- *La 5^e gamme de légumes stérilisés* : tout produit alimentaire d'origine végétale ayant subi un traitement thermique conforme aux barèmes de stérilisation et à une température supérieure à 100 °C (but : détruire ou inhiber tous les micro-organismes et leur toxines), conditionné dans un récipient étanche aux gaz et aux agressions microbiennes. Ces produits peuvent être considérés comme des conserves. Conservation de 6 mois à température ambiante.

1.3.1.6. *Sixième gamme : les produits déshydratés et ionisés, de longue conservation à température ambiante.*

Déshydratés, les produits de la sixième gamme peuvent être conservés plusieurs mois à température ambiante et à l'abri de la lumière. Les aliments de la sixième gamme peuvent être déshydratés selon plusieurs procédés :

- Le séchage par l'air en plaçant l'aliment devant un courant d'air chaud et sec.
- La lyophilisation : le produit est d'abord congelé puis séché.

La sixième gamme comprend désormais aussi les produits ionisés.

1.3.2. **Conservation, transformation, conditionnement : trois aspects intimement liés**

Ce manuel du COLEACP abordera ces **trois aspects qui sont intimement liés, ou parfois même confondus** dans les ouvrages qui leur sont consacrés.

Ils concernent un ensemble d'opérations et de techniques mises en œuvre dès le moment de la récolte jusqu'à la distribution et la mise en vente du produit au consommateur final. Ce dernier peut être un voisin (ex. : vente directe du producteur au consommateur) ou au contraire localisé dans un pays lointain où les standards et les habitudes alimentaires sont très différents, avec des attentes et des exigences de qualité parfois beaucoup plus élevées.

Par ailleurs, ils concernent indifféremment des productions dites « artisanales » et des productions dites « industrielles », sans connotation péjorative pour les produits artisanaux qui, au contraire, sont souvent considérés comme étant de plus haute qualité (saveurs, arômes, production locale à base de variétés moins standardisées conférant un meilleur goût et une qualité nutritionnelle supérieure). D'autres consommateurs jugeront que les productions artisanales et locales ne peuvent pas atteindre les standards de qualité et de sécurité de produits industriels (surtout quand ils sont importés depuis l'Europe, le Maroc ou les USA). Nous tenterons dans ce manuel de présenter pour chaque type de produit (jus, purées, confitures, produits congelés...) un schéma de production à l'échelle artisanale et un schéma de production pour l'échelle industrielle. Nous constaterons que **le processus général de production repose souvent sur le même principe**, même si les procédés, les procédures et les équipements mis en œuvre diffèrent pour s'adapter aux volumes et au niveau de risque accru.

Voyons ce que recouvre chacun de ces trois aspects que nous allons développer dans ce manuel.

1.3.2.1. *La conservation*

La conservation des aliments comprend un ensemble de procédés de « traitement » (y inclus le stockage) dont le but est de conserver aussi longtemps que possible les propriétés gustatives et nutritives, ainsi que les caractéristiques de texture et de couleur des denrées alimentaires ou leur comestibilité, et d'éviter d'éventuelles intoxications alimentaires.

La conservation implique habituellement de retarder l'oxydation des graisses qui provoque le rancissement ou auto-oxydation et l'autolyse par les propres enzymes des cellules de l'aliment, d'empêcher le développement des bactéries, champignons et autres micro-organismes, et de lutter contre les ravageurs animaux, notamment les insectes et les rongeurs. La conservation des denrées alimentaires s'intéresse donc à tous les facteurs biotiques (micro-organismes, animaux, germination végétale, etc.) et abiotiques (lumière, oxygène, chaleur, irradiation, UV, etc.) qui peuvent détériorer la qualité de la denrée stockée.

Historiquement, diverses techniques (séchage, fumaison, salaison, stockage dans des fruitiers, des greniers ou dans des jarres enterrées...) ont été développées par tous les peuples de la planète, avec pour objectif de pouvoir stocker des aliments en période d'abondance et de pléthore, afin d'éviter d'avoir à faire face à la disette ou la famine durant des périodes moins fastes, ce que l'on appelle souvent «la période de soudure» (hiver ou saison sèche). Néanmoins, parmi les produits conservés, ce sont les produits secs (céréales, noix, noisettes...) qui dominent largement. En effet, **certaines denrées alimentaires ne nécessitent donc pas de «technique» de conservation** et se conservent d'elles-mêmes pourvu qu'on les tienne à l'abri des attaques de ravageurs, alors que **d'autres se détériorent très rapidement**.

Avec le développement des moyens de transport, les échanges entre régions productrices et consommatrices ont réduit dans certains cas la nécessité de conservation des denrées. Toutefois, en cas de crise, tous les États souhaitent disposer de stocks pour faire face à une pénurie soudaine. La pandémie de la COVID-19 est venue cruellement rappeler cette vérité en 2020 : les régions productrices sur lesquelles on compte peuvent aussi être affectées par des catastrophes de toutes natures. Malheureusement, si l'on en croit la FAO et la CORAF, La quasi-absence d'infrastructures de conservation entraîne des pertes en post-récolte assez importantes : **de l'ordre de 30 à 45% pour les denrées périssables, surtout fruits et légumes, produits les plus sensibles et les difficiles à conserver en bon état**, mais aussi certaines cultures vivrières, notamment **la banane et l'igname**, aliments de base pour de nombreuses populations en Afrique centrale et de l'Ouest.

1.3.2.2. La transformation

Le facteur déterminant dans la conservation étant **la teneur en eau du produit**, de longue date, les hommes ont eu l'idée de conserver les denrées alimentaires par le séchage au soleil. Au moment de la récolte, les fruits ou les légumes abondent sur les marchés durant quelques semaines dans l'année, puis font défaut, car ces denrées sont très périssables. D'un côté, d'importantes quantités sont mises sur le marché en même temps et par conséquent ne peuvent être entièrement vendues, ce qui entraîne de fortes pertes, une chute des prix et un manque à gagner. D'un autre côté, en contre-saison, ces mêmes produits devenus rares seront vendus très chers..., mais leur production pose d'énormes difficultés à cause des températures trop élevées ou du manque d'eau. **Il y a donc un intérêt vital (se nourrir) et économique (accroître ses revenus) de transformer les produits périssables, comme les fruits et les légumes, pour les conserver et de les valoriser au mieux.**

Les aliments de base en Afrique centrale et de l'Ouest restent globalement les céréales et les tubercules. Cependant, certains de ces aliments doivent subir des transformations pour leur permettre d'être non seulement acceptés par les consommateurs, mais aussi pour éliminer certains constituants toxiques, et améliorer leur qualité organoleptique et nutritionnelle. La transformation permet aussi de réduire les pertes post-récoltes, accroître la durée de conservation, diversifier les formes d'utilisation et ajouter de la valeur au produit. La transformation répond aussi à une demande croissante observée dans certains pays à la suite d'une urbanisation rapide. Selon la CORAF, cette demande s'est développée très rapidement dans et à la périphérie de certains centres urbains (Dakar, Bamako, Ouagadougou...) et a porté d'abord sur les céréales locales (mil, sorgho, maïs, fonio, niébé). Pour d'autres pays de l'Afrique subhumide ou humide, la priorité de la transformation traditionnelle a été mise sur les tubercules (manioc, igname) et sur la banane plantain. Dans de nombreux pays ACP, des «centres pilotes» pour innover et soutenir les filières agro-alimentaires ont vu le jour (Cameroun, Congo, Côte d'Ivoire, Sénégal, Madagascar, Mali, Mauritanie, etc.), mais beaucoup reste encore à faire et les opportunités de valorisation par la transformation sont nombreuses et variées. Encore faut-il pouvoir financer les projets et les mener à terme.

Le séchage a été **le premier système de transformation et de conservation**. Il reste encore aujourd'hui une technique très répandue à travers le monde, car presque tous les fruits, à l'exception des agrumes, peuvent être séchés (dattes, abricots, raisins, papaye, mangue...). Quant aux produits maraîchers, presque tous se prêtent bien au séchage. La tomate, l'oignon, le chou, le poivron, le haricot vert, la pomme de terre, les piments, l'aubergine, la courge constituent les produits les plus fréquemment séchés. Ainsi, **le séchage offre des perspectives de revenus intéressantes pour les familles rurales**. Il permet de stocker et de valoriser les excédents de production pour les commercialiser en période de pénurie. C'est pourquoi cela reste dans beaucoup de régions le mode de transformation le plus utilisé.

À côté des traditionnels fruits ou légumes séchés, soutenues par les pouvoirs locaux, **se développent un peu partout de nouvelles entreprises** (souvent des TPME et PME, qui restent encore financièrement fragiles et souvent embryonnaires) **proposant de nouveaux produits locaux à base de fruits ou de légumes**, comme des concentrés de jus, des nectars de fruits, des purées de fruits, des gelées, des confitures, des ketchups de tomates, des conserves en métal ou en verre, ou même des produits congelés, etc. Le développement d'un tissu industriel dans l'agro-alimentaire s'est accompagné du **développement du transport** des aliments entre les régions du même pays, puis entre pays de la même région, soutenant le marché national et développant un marché régional très compétitif. Il s'est en outre accompagné du **développement de produits répondant à des standards de qualité de plus en plus élevés**, face à des produits étrangers fortement concurrentiels.

1.3.2.3. *Le conditionnement*

Le conditionnement des produits, frais ou transformés, comprend à la fois un ensemble d'opérations unitaires qui sont réalisées en post-production ou après transformation, les emballages qui sont utilisés et le marquage des produits. Le conditionnement

est **une étape essentielle de la transformation et de la conservation** des produits. Il permet d'éviter les dommages causés aux produits alimentaires par les chocs ou par l'écrasement sur les palettes, d'éviter les contaminations extérieures, d'empêcher, ou au moins d'atténuer, l'effet de mauvaises conditions de manutention ou de stockage, et contribue grandement à l'identification et donc à la traçabilité (*tracking*) des produits grâce au marquage et à l'étiquetage des emballages.

Nous le verrons, **le conditionnement, le choix de l'emballage et le marquage**, des fruits et légumes frais ou transformés, sont également des aspects étroitement liés. En effet, le choix d'un procédé de conditionnement implique le choix d'un emballage alimentaire adéquat et vice-versa, et ce, afin d'assurer la compatibilité contenant-contenu et la bonne conservation des fruits et légumes emballés jusqu'au marché de destination..., lequel exige un marquage avec des informations précises sur le produit.

1.4. CRÉER UNE ENTREPRISE DE TRANSFORMATION

L'objectif dans ce manuel n'est pas de développer dans le détail le processus de création d'une entreprise horticole ou agro-alimentaire, mais de rappeler quelques principes de base.

i D'autres manuels du COLEACP devront être consultés pour compléter votre information en la matière et vous aider à structurer votre projet.

Selon la FAO, quand on pense à améliorer la transformation de produits locaux, notamment par l'adoption de techniques améliorées de préparation et de conditionnement, il existe deux grandes options possibles :

- améliorer la qualité de la transformation, tout en restant à l'échelle d'une production familiale (autoconsommation): la logique d'intervention vise alors une simple amélioration des pratiques traditionnelles pour accroître la qualité sanitaire et nutritionnelle avec un coût d'investissement très réduit;
- développer son «business» et créer une petite entreprise (on parle de micro-entreprise, de PME, de coopérative, etc.): dans ce cas, il faut se poser une série de questions liées à la rentabilité et donc à la durabilité d'une entreprise.

Créer et développer une entreprise est **un processus complexe** qui demande des qualifications et des aptitudes particulières (dont la capacité de prendre des risques). C'est un «**projet**» qui ne s'improvise pas sous peine de perdre son capital de départ, mais qui demande de la préparation (étude de marché, *business plan*) ainsi que des connaissances des produits, des techniques et de la réglementation. Comme tout projet, créer une entreprise demande de procéder méthodiquement et par étapes successives.

Quand l'objectif est de créer une entreprise, **la contrainte principale sera de trouver un marché** pour écouler sa production à bon prix. Les enjeux seront de gérer l'approvisionnement régulier en matières premières (et éventuellement le personnel), de maîtriser les étapes de la transformation, les coûts de production, mais encore d'assurer la promotion et la vente des produits. Les choix techniques porteront sur le processus de transformation, les modalités d'organisation du travail ainsi que l'investissement dans l'infrastructure, tout comme dans des équipements adéquats et bien dimensionnés par rapport au volume de production prévu.

1.4.1. Les questions de base à se poser

Pour formuler son projet, il faudra se poser au moins les grandes questions suivantes.

1.4.1.1. *Quels produits puis-je transformer et sous quelle(s) forme(s) ?*

En théorie, les possibilités offertes par les techniques sont nombreuses. Mais en pratique, les transformateurs maîtrisent généralement (plus ou moins) bien une technologie, voire deux au maximum. En outre, chaque type de transformation nécessite des équipements, ustensiles, emballages, étiquetage particulier.

Le plus souvent donc, le choix est guidé par l'expérience que l'on a acquise à petite échelle (transformation familiale).

Mais la décision de transformer des produits sous une «forme» donnée répondra aussi, par exemple :

- à la disponibilité des équipements, des ingrédients, des emballages ;
- à la disponibilité de la main-d'œuvre (certaines transformations, comme le séchage des fruits, exigent plus de main-d'œuvre), tout spécialement de la main-d'œuvre qualifiée (ex. : soudeurs, électromécaniciens, frigoristes, ingénieurs) ;
- à la possibilité pour les transporteurs, les revendeurs et les acheteurs potentiels de maintenir la chaîne du froid ;
- aux exigences de la réglementation (ex. : mesures d'hygiène imposées ; normes relatives aux locaux) ;
- à la taille des infrastructures et la place disponible ;
- à la durée prévue d'entreposage des produits ;
- au volume prévu de produits ;
-

1.4.1.2. *Quel est le marché ?*

Produire est une chose, mais encore faut-il trouver des débouchés. Pour commencer, il sera donc nécessaire de trouver un marché assez important et rémunérateur pour couvrir les charges et dégager des bénéfices. Ce problème se pose à tous, de la petite exploitation traditionnelle à l'entreprise artisanale.

Les questions à se poser sont notamment les suivantes :

- Quels sont les consommateurs prêts à acheter les produits, où sont-ils, par quel circuit de distribution les atteindre ?
- Quel prix sont-ils prêts à payer ? Toute l'année ?
- Quelles quantités achètent-ils ? Est-ce un achat régulier sur l'année ?
- Quels sont les concurrents (ex. : à côté des fruits et légumes traditionnellement séchés, se développent des produits fabriqués différemment ou bien nouveaux, plus attractifs) ?
- À quel prix vendent-ils ? Que valent leurs produits ?
- Quels sont les modes de consommation du produit ?
- Quelles sont les tailles usuelles de conditionnement, et quel type d'emballage utiliser ?
- Comment différencier mon produit de la concurrence (ex. : bio ou non bio) ?

1.4.1.3. *Quels seront mes choix techniques ?*

Les choix techniques portent d'abord sur le processus lui-même, qui dépend du type de produit obtenu après transformation.

Selon la taille du marché, il est possible d'anticiper le volume espéré des ventes et donc le volume de production (total, par mois, par semaine).

En fonction du volume et du type de produit, le choix d'un équipement se fera aussi sur base :

- de son coût d'achat (en fait, de son amortissement) et de son coût d'utilisation (énergie, entretien, personnel nécessaire) ;
- de sa durée d'amortissement (ex. : selon le manuel FAO, pour un séchoir coquillage qui coûte 13000 Fcfa, on peut produire 3 kg d'oignons secs par mois ; ce matériel est donc amorti après une année d'utilisation) ;
- de sa durée de vie et du coût de sa maintenance ;
- de la présence d'artisans et d'entreprises qualifiés à proximité ;
- des expériences de transformation réussies avec cet équipement dans la région.

Si l'on prend l'exemple des produits séchés, un mode de transformation particulièrement répandu, la mise en place d'un système de séchage est étroitement liée aux conditions climatiques de la région. Ainsi, en simplifiant, on peut distinguer trois situations types :

- dans les pays arides où les températures sont élevées et l'air sec, le séchage traditionnel reste le meilleur compromis qualité/coût de production ;
- dans les zones où l'ensoleillement est important, mais où l'humidité est élevée, les séchoirs solaires directs et indirects s'avèrent une alternative intéressante ;
- dans les conditions climatiques limites pour le séchage solaire (période de récolte pluvieuse), l'utilisation de systèmes hybrides semble être la meilleure solution.

Il convient de nuancer cette typologie en fonction des caractéristiques climatiques locales et des périodes de maturité des fruits et légumes. Par exemple, au Sénégal, la saison sèche de décembre à avril offre des conditions climatiques optimales pour le séchage solaire, mais les mangues arrivent à maturité en début de saison des pluies vers le mois de mai. Le séchage solaire devient alors difficile et aléatoire durant cette période.

1.4.1.4. Combien dois-je investir ?

Les questions à se poser sont notamment les suivantes.

- Comment financer mon installation ?
- À qui emprunter de l'argent ? Comment le rembourser ?
- Quel est le coût de production du produit ?
- À partir de quel volume de production l'investissement devient-il rentable ?
- Quelle marge prendre ?

Autant de questions auxquelles il faut répondre, au moins en partie, avant de se lancer dans l'activité. Lorsqu'il s'agit d'autoconsommation, l'investissement doit être minimal. Par contre, dans une logique commerciale, il faut raisonner en fonction du marché et tenter de prévoir ses bénéfices. Mais le profit n'est pas toujours chiffrable. Les raisonnements purement économiques ne prennent pas en compte l'augmentation de la qualité du produit, la diminution du temps de travail, la polyvalence et le confort d'utilisation.

1.4.1.5. Quels sont les risques que je peux anticiper ?

Monter un projet d'entreprise, c'est accepter de prendre des risques. Encore faut-il essayer de les prévoir pour mettre en place des mesures de prévention adaptées.

Parmi les types de risques prévisibles, citons :

- des risques liés au financement et à la gestion financière de l'entreprise ;
- des risques liés aux erreurs dans les choix techniques posés ;
- des risques liés au non-respect des réglementations (produits saisis, détruits ; amendes administratives) ;
- des risques liés à l'environnement socio-économique (ex. : crise sanitaire, crise économique fermant les marchés ; dévaluation des monnaies ; grèves ; terrorisme) ;
- des risques liés aux conditions environnementales (ex. : manque d'eau ; pénurie de matières premières faute de récoltes suffisantes, ou coût prohibitif des fruits ou des légumes à cause du changement climatique, ou de la présence d'un nouvel organisme nuisible envahissant).

Le risque principal pour les petites entreprises agro-alimentaires de transformation est généralement lié au sous-financement, au sous-investissement ou encore au fond de roulement insuffisant.

Dans le premier cas, le projet peut être mis en péril parce qu'il manque un équipement complémentaire jugé sur le moment moins prioritaire (ex. : réfractomètre)..., mais qui rend la production impropre à la vente.

Dans le second cas, le porteur de projet se lance en investissant tout ce qu'il possède comme réserves financières dans l'achat des équipements et des premiers lots de matières premières, et se retrouve sans liquidités pour continuer sa production, car il y a toujours un délai à prévoir entre la production et la commercialisation !

Un autre risque typique des PME tient au sur- ou sous-dimensionnement des équipements et des installations. Une mauvaise estimation en début de projet entraîne le risque de s'équiper avec un matériel beaucoup trop grand ou beaucoup trop petit par rapport au besoin. Ou de faire un mauvais choix technique. Il ne faut donc pas hésiter à se faire conseiller par de vrais spécialistes avant de fixer son choix... et disposer d'études de marché fiables !

1.4.2. Les clefs du succès

Selon le document du GRET (Groupe de recherche et d'échanges technologiques, une ONG française) et du CTA (Centre technique de coopération agricole et rurale, Pays-Bas) cité ci-après, cinq éléments sont particulièrement importants à considérer.

1. Apprendre à **connaître la composition** des matières premières et du produit final afin de garantir la salubrité de ce dernier.
2. Faire **attention aux micro-organismes** qui peuvent être présents au cours de la transformation pour éviter la détérioration des aliments et prévenir les risques d'intoxication alimentaire.
3. Comprendre **les principes scientifiques qui sous-tendent le procédé** de transformation et les facteurs qui peuvent entraîner l'altération des aliments. On pourra ainsi stopper la contamination, la détérioration et les pertes financières.
4. Identifier les **risques de contamination** du produit par les employés ou les méthodes de production.
5. Veiller à **l'application de procédures correctes** dans la manipulation des aliments, afin de prévenir les intoxications alimentaires.

En tout premier lieu, il est important pour les futurs entrepreneurs de bien **connaître la composition** (physique et chimique) **des aliments** qu'ils produisent, car celle-ci influence à la fois le procédé de fabrication, les phénomènes d'altération et de dégradation, et donc le niveau de risque pour la santé des consommateurs.

Les aliments peuvent en effet **contenir des substances chimiques ou naturelles nocives**, qu'il s'agisse de **composants de base** ou de **produits chimiques provenant de l'environnement ou incorporés** au cours de la préparation, la transformation, le stockage et la distribution. Ces produits chimiques peuvent être des pesticides utilisés dans l'agriculture ou des corps étrangers (contaminants) introduits accidentellement au cours de la transformation. Par ailleurs, de nombreux aliments contiennent des substances naturelles néfastes pour la santé (ex. : facteurs anti-nutritionnels, mycotoxines, phytotoxines) qui doivent être évités ou éliminés au cours de la transformation afin qu'ils puissent être consommés sans risque.

L'un des principaux objectifs de la transformation alimentaire est de **conserver les aliments**. C'est pourquoi la transformation doit **limiter ou éliminer les facteurs d'altération ou de toxicité**. Pour résumer, ces facteurs sont :

- les micro-organismes (certaines bactéries et virus peuvent entraîner des intoxications alimentaires, en contaminant notamment les aliments peu acides; le niveau d'acidité d'un aliment détermine le type de micro-organismes qui peut s'y développer);
- les enzymes contenus dans les aliments ou libérés par les micro-organismes;
- les facteurs environnementaux: la température, l'humidité, l'air, la lumière et l'acidité des aliments influent sur la vitesse de cette altération;
- les composantes de l'aliment lui-même (teneur en eau, acides ou enzymes naturels).

De plus, il convient, au cours du procédé de transformation, **d'éviter tout dommage physique** qui pourrait résulter d'une mauvaise manipulation, ainsi que toute contamination par l'environnement, les équipements utilisés ou les personnes qui manipulent les aliments.

Les **procédés de transformation** et de conservation des aliments sont **très variés, souvent combinés** et principalement basés sur :

- la suppression de l'eau disponible (ex. : séchage) ou sa liaison (au sel, au sucre) afin de la rendre inutilisable par les micro-organismes ou les enzymes;
- la cuisson (pasteurisation, stérilisation): la chaleur est sans doute le traitement le plus utilisé dans la transformation alimentaire, car non seulement elle conserve les aliments en désactivant les enzymes et les micro-organismes, mais elle sert également à réduire le taux d'humidité, à modifier la texture, à améliorer la digestibilité, etc.;
- le refroidissement (réfrigération, congélation ou surgélation);
- le contrôle de l'acidité;
- l'ajout de substances naturelles (sel, sucre, jus de citron...) ou chimiques (conservateurs, comme le benzoate de sodium ou de potassium, le métabisulfite de sodium, le nitrate ou le nitrite de sodium et le sorbate de sodium ou de potassium) pour empêcher la prolifération des micro-organismes ou l'action des enzymes;
- l'emballage étanche à l'air et à l'eau, pour isoler l'aliment de son environnement, retenir son contenu sans fuite et garantir la salubrité de l'aliment jusqu'à sa consommation;
- le contrôle de la présence d'oxygène dans l'air environnant l'aliment (emballage sous atmosphère modifiée, soit en remplaçant l'air dans l'emballage par du dioxyde de carbone, soit en l'extrayant au moyen d'une machine à conditionner sous vide).

Nous intégrerons donc tous ces aspects dans notre manuel, notamment dans chacun des chapitres qui présentent les procédés de transformation les plus courants.

1.4.3. Pour aller plus loin

Pour aller plus loin, il est conseillé de consulter le document produit sous la direction de P.J. Fellows et B. Axtell, *Créer et gérer une petite entreprise agroalimentaire*, coll. « Réussir dans l'agro-alimentaire », CTA et éd. du Gret, 2005, 280 p.

Selon le site du GRET, pour ceux qui veulent créer leur entreprise, le secteur de la transformation alimentaire offre des opportunités intéressantes, susceptibles de générer des revenus à partir de ressources disponibles localement. Toutefois, le chemin qui mène au succès est semé d'écueils. Les entrepreneurs doivent posséder non seulement le savoir-faire technique nécessaire, mais également des compétences en gestion, en marketing et en relations publiques, ainsi qu'un excellent sens de la relation avec la clientèle. Ce manuel leur explique comment développer ou parfaire ces compétences. Il entend les aider à éviter les erreurs les plus courantes et à améliorer certains aspects particuliers de leur entreprise. Les thèmes abordés comprennent les contrats avec les fournisseurs et les détaillants, les exigences légales, la planification et la gestion financières, la tenue des comptes et l'archivage des données, ainsi que la gestion d'entreprise. Chacun des dix chapitres s'ouvre sur les clés du succès, et est ponctué par un résumé du chapitre et une liste de contrôle pour l'entrepreneur. Ce manuel est le fruit de la collaboration de praticiens qui appuient les petites entreprises du secteur de la transformation alimentaire dans les pays en développement.



Chapitre 2

Importance de la physiologie, de la microbiologie et de l'hygiène pour la conservation et la transformation des produits

2.1. Importance de la détérioration des aliments	26
2.2. Analyse des différents facteurs influençant la préservation et la conservation des produits	27
2.3. Importance des micro-organismes pour la conservation et la transformation des produits	39
2.4. Influence de l'hygiène et des Bonnes Pratiques sur la conservation et la qualité des produits transformés	52
2.5. Annexes	55

2.1. IMPORTANCE DE LA DÉTÉRIORATION DES ALIMENTS

Selon la FAO¹⁰, «l'importance des fruits et des légumes en matière de nutrition, de santé et d'économie, n'est plus à démontrer. Ce sont eux qui transportent le mieux les vitamines, les minéraux essentiels, les fibres alimentaires, les anti-oxydants phénoliques, les glucosinolates et autres substances bioactives. Outre ces éléments, ils fournissent également des hydrates de carbone, des protéines et des calories en assez grande quantité. Par les effets qu'ils ont sur la nutrition et la santé, ils permettent à l'homme de se sentir mieux tout en réduisant le risque d'attraper certaines maladies. Les fruits et les légumes jouent donc un rôle important dans notre alimentation quotidienne, et il est conseillé d'en prendre 5 portions par jour». Cependant, **si ces aliments sont détériorés après la récolte, ils perdent une grande partie de leur valeur nutritionnelle** et donc de leur intérêt.

On entend par détérioration des aliments ou pourrissement **toute modification qui leur fait perdre la qualité désirée et les rend impropres à la consommation.**

Or, ajoute la FAO, «**les fruits et les légumes sont des denrées extrêmement périssables.** Actuellement, jusqu'à 23% de ceux parmi les plus périssables **sont perdus pendant leur parcours de la chaîne agro-alimentaire parce qu'ils se détériorent**: pourrissement, dessèchement, blessures dues à la mécanisation pendant le ramassage, le conditionnement et le transport. **On a estimé que ces pertes dépassaient 40 à 50% sous les tropiques et dans les régions subtropicales** (FAO, 2012). Des pertes se produisent également au cours de leur conservation et de leur préparation à la maison ou dans les services de restauration. De plus, dans beaucoup de pays en développement, seule une quantité limitée de produits dérivés de fruits et de légumes est destinée aux marchés locaux ou à l'exportation par suite du manque d'équipement et d'infrastructures».

Pour limiter ces pertes élevées, **il est nécessaire de bien comprendre tout d'abord les raisons et les conditions qui engendrent cette altération** des produits après la récolte, afin de pouvoir ensuite adopter diverses mesures ou de mettre en œuvre des techniques, même peu sophistiquées, qui permettront de les réduire au minimum pendant la récolte, le maniement, le stockage, le conditionnement et la transformation des fruits et légumes frais en produits adaptés à une meilleure conservation.

Les fruits, les légumes verts et les légumes tubéreux sont tous des parties de végétaux vivants **qui contiennent de 65 à 95% d'eau** et dont les processus vitaux se poursuivent après la récolte. Avant la récolte, leur qualité reste relativement stable s'ils n'attrapent pas de maladie ou ne sont pas mangés par des insectes ou d'autres animaux. Mais on ne peut pas retarder la récolte indéfiniment: quand le moment est venu, il faut agir. Après la récolte, leur durée de vie dépend du taux d'utilisation des réserves qu'ils ont accumulées et du taux d'évaporation. Lorsque les réserves d'éléments nutritifs et d'eau sont épuisées, le produit se décompose et meurt. Tout facteur susceptible d'accélérer ce processus peut rendre le produit impropre à la consommation.

¹⁰ Cette partie du texte, ainsi que d'autres passages, sont extraits principalement du manuel FAO, *Technologies combinées de conservation des fruits et légumes*, 2004.

Les principaux phénomènes et les causes de pertes sont envisagés plus loin. Ces causes sont diverses : **elles influent toutes les unes sur les autres** et les effets de chacune sont sous la dépendance de conditions extérieures telles que **la température et l'humidité relative (H.R.)**.

2.2. ANALYSE DES DIFFÉRENTS FACTEURS INFLUENÇANT LA PRÉSERVATION ET LA CONSERVATION DES PRODUITS¹¹

2.2.1. Objectifs des opérations de préservation et de conservation des produits

Après la récolte, **il faut conserver, ou même sublimer, par une technique de transformation appropriée, les propriétés des produits** (qualité nutritionnelle, état sanitaire, apparence, fraîcheur, absence de taches, poids unitaire, brillance, couleur de la peau...) jusqu'au moment de leur consommation.

Des **impératifs réglementaires et économiques** justifient de préserver l'état des produits pendant les opérations qui suivent la récolte : conditionnement, expédition, distribution. Il s'agit d'empêcher le développement d'organismes qui pourraient porter atteinte à la santé des consommateurs ou qui pourraient altérer la qualité commerciale des produits. C'est une contrainte qui s'impose à tous les produits, et qui est déterminante aussi bien pour la concurrence sur les marchés que pour satisfaire aux exigences sanitaires.

Cette possibilité est évidemment très variable selon les fruits et légumes. Ce potentiel, ou « aptitude à la conservation », résulte de l'association de deux caractéristiques de chacun des produits :

- **l'aptitude naturelle à la conservation**, qui correspond au prolongement après récolte de la vie de l'organe végétal ;
- **l'efficacité des technologies appropriées** qu'il est possible de leur appliquer pour ralentir ou éviter la détérioration des produits.

2.2.2. Sources de détérioration des produits

On entend par détérioration des aliments, ou pourrissement, toute modification qui leur fait perdre la qualité désirée et les rend impropres à la consommation.

Dès que les fruits et les légumes sont séparés de leur source naturelle de substances nutritives, leur qualité se met à diminuer. Cela est dû à un processus naturel qui démarre dès que le cycle biologique est interrompu par la récolte. Le produit horticole n'est ensuite consommable que pendant une durée limitée, variant de quelques jours à quelques semaines. Il commence ensuite à se détériorer, à pourrir.

11 Voir aussi, pour plus de détails, le manuel du COLEACP, *Principes d'hygiène et de management de la sécurité sanitaire et phytosanitaire*, dont est extraite une partie de ces textes.

Malgré des conditions « idéales » (ou reconnues comme telles) de conservation des fruits et légumes, **on ne peut donc éviter une périssabilité et une durée de vie limitée** des produits horticoles frais.

Le tableau suivant reprend le risque relatif de perte pour quelques produits (source : FAO, d'après A.A. Kader, 1993 ; voir en annexe le tableau détaillé présentant les durées de conservation de nombreux produits dans des conditions idéales)

Risque relatif de perte	Potentiel de conservation	Produits
Très haut	Moins de 2 semaines	Abricot, cerise, champignon, épinard, figue, laitue, oignon vert, tomates mûres
Haut	De 2 à 4 semaines	Aubergine, banane, haricot vert, mangue, melon, nectarine, pêche, poivron
Moyen	De 4 à 8 semaines	Carotte, grenade, orange, pamplemousse, raisin
Bas	De 8 à 16 semaines	Ail, citron, oignon sec, potiron
Très bas	Plus de 16 semaines	Fruits-graines, fruits et légumes secs

Il y a **plusieurs types de détérioration** :

1. la détérioration physique ;
2. la détérioration chimique et enzymatique ;
3. le vieillissement physiologique ;
4. la détérioration due à des insectes, rongeurs et agents pathogènes ;
5. les dégâts mécaniques ;
6. la détérioration due à des agents microbiens d'altération.

2.2.2.1. La détérioration physique, chimique et enzymatique



La **détérioration physique** est provoquée en tout premier lieu par la **déshydratation**. Le vieillissement physiologique se produit dès que le cycle biologique est interrompu par la récolte. En effet, les fonctions physiologiques de l'organe sur pied ne disparaissent pas à la récolte, mais elles se modifient considérablement.

La **détérioration chimique et enzymatique** se produit surtout lorsque les légumes et les fruits se sont abîmés en tombant ou en se cassant, ou encore **sous l'action du froid**. Cela libère des enzymes qui déclenchent des réactions chimiques. Les tomates, par exemple, se ramollissent et d'autres types de fruits brunissent.



Les cellules de la banane n'ont pas de défense contre le froid. Quand les fruits séjournent à des températures trop basses, les cellules se rompent et libèrent des enzymes qui vont provoquer un brunissement et un ramollissement très rapide du fruit (D. Glass, *Moment of science*, 2008).



Le fruit du litchi laissé à la température ambiante évolue très rapidement et naturellement.

En deux ou trois jours, la coque brunit, puis se dessèche et devient craquante. La perte de coloration provient de l'oxydation des pigments anthocyaniques.

Le fruit est alors plus sensible à l'éclatement et à la contamination secondaire par des champignons.

Pour l'instant, le soufre est le seul produit disponible qui permette de conserver la couleur de la coque du litchi pendant une durée de stockage de 30 jours et plus (ce qui permet son exportation), pour un coût acceptable. Le soufre empêche le péricarpe de brunir en agissant sur les pigments de la coque et empêchant les réactions enzymatiques. Le soufrage des fruits présente toutefois de nombreux inconvénients : résidus, exposition des travailleurs, ...

Les fruits risquent également de devenir rances¹². Les insectes déclenchent le même processus : ils abîment les fruits et les légumes, ce qui libère des enzymes. Ces processus sont inévitables, mais on peut les retarder en stockant les produits agricoles **dans un lieu sec et à l'abri des courants d'air, à une température la plus basse possible**, et en les protégeant des ravageurs avant, pendant et après la récolte.

2.2.2.2. *Le vieillissement physiologique*

Trois phénomènes entrent en jeu pendant le stockage si un procédé de transformation ne les arrête ou ne les ralentit pas : **la transpiration, la respiration et le métabolisme** des tissus végétaux des produits récoltés. Les paramètres de conservation des produits frais (température, atmosphère, traitements et protections diverses) ont pour but d'agir sur ces fonctions pour obtenir une stabilisation optimale.

1. La transpiration

La surface de toutes les parties végétales est **recouverte d'une couche cireuse ou d'une écorce de liège** qui limite la déperdition d'eau. La perte d'eau naturelle se produit à travers des pores minuscules qui sont particulièrement nombreux sur les feuilles. Ces pores peuvent s'ouvrir ou se fermer selon l'évolution des conditions atmosphériques, ce qui permet à la plante de contrôler le débit de déperdition d'eau et de maintenir la turgescence des parties végétales.

Les produits frais continuent à perdre de l'eau après la récolte, mais, à la différence de la plante vivante, ils ne peuvent plus remplacer l'eau en puisant dans le sol et doivent donc utiliser la totalité de ce qui leur reste d'eau après la récolte. Cette perte d'eau des produits frais après la récolte est un sérieux problème puisqu'elle **entraîne une rétraction et une diminution de poids**.

Lorsque le produit récolté a perdu de 5 à 10 % de son poids frais, il commence à se faner et devient bientôt inutilisable. Pour prolonger la durée de vie utile du produit, il faut faire en sorte que la déperdition d'eau soit aussi faible que possible.

12 Le « rancissement » est dû à l'altération des corps gras entraînant une modification désagréable de leur odeur et de leur saveur (goût désagréable lors de la consommation). Il concerne donc plutôt les fruits secs (ex. : noix de cajou ou anacarde) riches en matières grasses.



Comparaison entre des haricots verts restés au frais (à gauche) et des haricots exposés à la chaleur pendant la récolte (à droite). On notera la nette différence d'aspect et de couleur entre les deux cartons. Le produit de droite n'est plus commercialisable (Photo B. Samb).

Ces **pertes en eau sont cumulatives** pendant toute la période de conservation et sont responsables d'importantes diminution de la qualité : flétrissement, ramollissement, dégradation de l'aspect, ... Il est donc très important d'en tenir compte.

Pourcentage de perte d'eau entraînant une modification d'aspect préjudiciable (source : Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, France)

Légumes-feuilles, asperges	3 à 4 %
Fruits, légumes-fruits	5 à 6 %
Légumes-racines	7 %

La **perte d'eau par évaporation** dépend de deux facteurs.

- D'une part, des caractéristiques morphologiques de l'organe, en particulier de la structure de l'épiderme et de la surface de contact avec l'air. La déperdition d'eau est plus ou moins rapide selon les produits. Les légumes verts en feuilles, les épinards notamment, perdent leur eau rapidement, car ils ont une peau mince et cireuse dotée de nombreux pores. D'autres, les pommes de terre, par exemple, ont un taux d'évaporation beaucoup plus faible à cause de leur peau épaisse et rugueuse, aux pores peu nombreux. La donnée primordiale, en matière de déperdition d'eau, est le rapport entre la surface de la partie végétale et son volume. **Plus la surface est grande par rapport au volume, plus l'évaporation sera rapide.**

- D'autre part, de l'**écart de température** entre l'air et le produit ainsi que de l'**hygrométrie** et du **brassage de l'air** ambiant.

Effet de l'humidité relative de l'air sur la déperdition d'eau : il existe à l'intérieur de toutes les plantes des espaces d'air qui permettent à l'eau et aux gaz de circuler dans les deux sens dans toutes leurs parties. L'air de ces espaces contient de la vapeur d'eau qui combine l'eau du courant de transpiration et celle que produit la respiration. La vapeur d'eau contenue dans la plante crée une pression qui la fait passer à travers les pores situés à la surface de la plante. Le taux de déperdition d'eau des parties végétales dépend de la différence de pression entre la vapeur d'eau contenue à l'intérieur de la plante et la vapeur d'eau de l'air ambiant. **Conclusion : pour que les produits frais perdent le moins d'eau possible, il faut les conserver en atmosphère humide.**

Effet du mouvement de l'air sur la déperdition d'eau : plus le déplacement de l'air ambiant sur les produits frais est rapide, plus l'évaporation l'est aussi. Il est indispensable que l'air circule à travers les produits pour éliminer la chaleur dégagée par la respiration, mais **le mouvement de l'air doit être aussi lent que possible.** **Conclusion : des emballages bien conçus et un empilement approprié des caisses et des cartons permettront de mieux maîtriser la circulation d'air.**

2. La respiration

Elle correspond à un cycle de réactions biochimiques complexes, qui se traduisent principalement par une perte de substrats (sucres, acides) engagés dans une combustion qui alimente les tissus en énergie. Elle absorbe de l'oxygène, émet du gaz carbonique et dégage de la chaleur qui doit être évacuée par réfrigération :

sucres + oxygène = nouveaux composés + gaz carbonique + chaleur

En réduisant la respiration, on prolonge la conservation.

L'exploitation de ces phénomènes biochimiques en chambre de conservation est à l'origine des **atmosphères contrôlées**. Cette technique originale a été mise au point pour prolonger la durée de vie d'un certain nombre de fruits et légumes.

En effet, la **respiration est réduite par la diminution de la concentration en oxygène dans l'air ambiant**, ainsi que par l'augmentation de celle en gaz carbonique. Entre 0 et 30 °C, le taux de respiration augmente de façon exponentielle. Mais même à 0 °C, les légumes continuent de respirer.

Niveau de respiration de divers produits

Très bas	Dates, fruits secs, noix de cajou
Bas	Agrumes, ail, raisins, kiwis, oignons, pommes de terre, patates douces
Modéré	Bananes, choux, carottes, salades, mangues, tomates
Élevé	Avocats, choux-fleurs, haricots, fraises
Très élevé	Choux de Bruxelles, oignons verts, certains haricots
Extrêmement élevé	Asperges, choux brocolis, champignons, pois, épinards, maïs doux

3. L'évolution du produit sous l'action du métabolisme

Le métabolisme des tissus végétaux est un ensemble de réactions chimiques qui caractérisent un organe vivant, qui sont à la base des modifications observées au cours de la vie des végétaux et qui se poursuivent après la récolte.

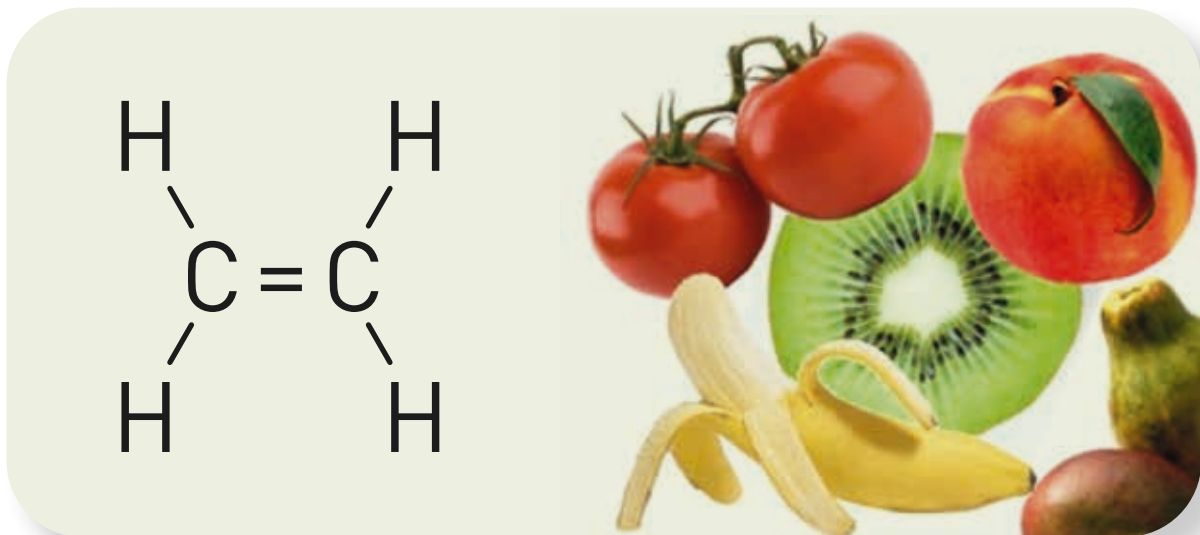
La « **maturation** » des fruits et légumes résulte d'un ensemble complexe de réactions, de changements biochimiques et physiologiques, qui accélèrent leur évolution. Elle conduit à l'état de maturité complète et confère au produit ses caractéristiques organoleptiques.

La maturation améliore la qualité (texture et goût notamment), mais elle réduit la durée de conservation! Les propriétés mécaniques des fruits changent énormément, non seulement pendant la maturation, le mûrissement et le stockage, mais aussi durant la transformation à cause des altérations de leurs composants structuraux (à savoir, paroi cellulaire, lamelle médiane, plasmodesmes et membranes).

La maturation peut être modulée par les facteurs de l'environnement. La température, **l'oxygène, le dioxyde de carbone (CO₂) et l'éthylène** sont des facteurs qui influencent le processus de maturation des fruits.

- **Effet de l'oxygène (O₂)** : la respiration exige une bonne aération. L'air contient environ 20 % de l'oxygène indispensable à la respiration normale de la plante, durant laquelle l'amidon et les sucres sont transformés en gaz carbonique et en vapeur d'eau. Lorsque l'air se raréfie et que la quantité d'oxygène libre dans le milieu ambiant descend en dessous de 2 % ou moins, **il y a fermentation et non plus respiration**. La fermentation décompose les sucres en alcool et en gaz carbonique, et l'alcool ainsi produit confère une odeur désagréable au produit et accélère son vieillissement.
- **Effet du dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO₂)** : une mauvaise ventilation du produit, à cause de la raréfaction de l'air, entraîne l'accumulation de gaz carbonique autour du produit. Lorsque la concentration de ce gaz atteint 1 à 5 % dans l'atmosphère (pour rappel la teneur normale de l'air est d'environ 400 ppm, soit 0,04 % en CO₂), le produit s'abîme rapidement : dégagement de mauvaises odeurs, dissociation des tissus végétaux, arrêt du mûrissement et autres dégradations physiologiques. On voit donc qu'une bonne ventilation du produit est essentielle.

- **Effet de l'éthylène** ($\text{CH}_2\text{-CH}_2$): la maturation est accélérée par la teneur en éthylène dans l'air. **Ce gaz est émis par les fruits et légumes eux-mêmes.** L'éthylène affecte quasiment tous les aspects de la croissance et du développement de la plante. Il agit dans le développement végétatif (ex. : élongation des tiges) ou encore sur la sénescence des plantes, il retarde ou empêche la floraison. Ainsi chez l'ananas, il stimule la floraison, donc le traitement par des produits libérant de l'éthylène entraîne une floraison uniforme.



L'éthylène ($\text{CH}_2\text{-CH}_2$) affecte quasiment tous les aspects de la croissance et du développement de la plante

Les produits qui génèrent beaucoup d'éthylène (comme les bananes mûres, les pommes, les melons cantaloups) **peuvent stimuler des changements physiologiques** dans les produits qui sont sensibles à l'éthylène (comme les laitues, les concombres, les carottes, les pommes de terre, les patates douces) et provoquer des changements indésirables de couleur, de goût et de texture.

Il convient donc d'être prudent au moment de l'entreposage et de vérifier la « compatibilité » entre les produits que l'on souhaite entreposer dans un même hangar, par exemple.



Maturation et altération chez la tomate, trois semaines après le début du mûrissement : à gauche, inhibition de l'éthylène, à droite sans inhibition

Une relation proportionnelle directe entre le taux d'inhibition de la production d'éthylène et le temps de retard de la maturation des fruits a été établie. Pour éviter une maturation trop rapide et un flétrissement des fruits pendant le stockage et/ou le transport, **il faut éviter l'accumulation de ce gaz autour des produits, dans les chambres d'entreposage ou les conteneurs !**

2.2.2.3. La détérioration due à des maladies, insectes ou rongeurs

Tous les organismes vivants sont exposés aux attaques de parasites.

Les produits frais peuvent être infectés avant ou après la récolte par **des maladies** répandues dans l'air, le sol et l'eau. Certains agents pathogènes de la plante (maladies) peuvent provoquer une altération après récolte. La peau du fruit ou du légume fournit normalement une protection naturelle contre les micro-organismes. Certains agents pathogènes **traversent la peau intacte du produit**, mais **dès que la peau est endommagée par une chute ou un choc**, le risque de détérioration s'accroît considérablement. Les chocs se produisent le plus souvent lorsqu'on cueille sans précaution et que l'on empile en tas les fruits ou les légumes. L'apparition de pourriture est associée à la production d'enzymes dégradant les parois cellulaires. À mesure que les fruits mûrissent, ils deviennent plus sensibles aux chocs et aux infections, provoquant l'altération, d'une part, parce que leur production de composants antifongiques diminue, et d'autre part, à cause de la dégradation des parois cellulaires. Dans les deux cas, leur incidence dépend étroitement des différents stades des opérations qui suivent la récolte. Les dommages ainsi provoqués sont sans doute la principale cause de perte de produits frais et influent considérablement sur la possibilité de commercialiser le produit et sur son prix.

Les **insectes et les rongeurs («les nuisibles»)** provoquent beaucoup de dégâts, non seulement en rongant les produits, mais aussi en leur transmettant des micro-organismes qui se trouvent dans leurs poils ou leurs excréments. Les parties abîmées des plantes sont particulièrement sensibles aux infections par des bactéries ou des moisissures.

2.2.2.4. *La détérioration due aux chocs et aux blessures (dégâts mécaniques)*

La forte teneur en eau et la texture molle des fruits, des légumes verts et des légumes tubéreux les rendent sensibles aux lésions d'origine mécanique, qui peuvent se produire à tous les stades, depuis la production jusqu'à la mise en vente par le commerce de détail, pour les raisons suivantes :

- cueillette ou récolte peu soigneuses ;
- récipients et caisses inadaptés, pour la récolte au champ ou pour la commercialisation : échardes, arêtes vives, caisses mal clouées ou mal agrafées ;
- remplissage excessif ou insuffisant des récipients utilisés pendant la récolte ou pour la commercialisation ;
- manutention sans précaution du produit ou des emballages remplis, qu'on laisse tomber, qu'on lance ou piétine au cours du calibrage, du transport ou de la commercialisation.

Les lésions peuvent prendre plusieurs formes :

- les fruits, les racines et les tubercules peuvent se fendre en tombant ;
- des meurtrissures internes, invisibles de l'extérieur, peuvent être causées par le choc ;
- des éraflures superficielles peuvent endommager la peau des fruits ou les couches extérieures de cellules ;
- les légumes en feuilles et autres produits mous peuvent être écrasés.

Les lésions qui transpercent ou éraflent la peau des produits pourront :

- ménager des points d'entrée aux moisissures et aux bactéries de décomposition ;
- accroître la déperdition d'eau à partir de la région lésée ;
- augmenter l'activité respiratoire et, par suite, le dégagement de chaleur ;

Les meurtrissures, qui laissent la peau intacte et peuvent ne pas apparaître extérieurement pourront :

- augmenter l'activité respiratoire et le dégagement de chaleur ;
- causer une décoloration interne des tissus endommagés ;
- provoquer des arrière-goûts du fait de réactions physiologiques anormales dans les parties lésées.

2.2.2.5. La détérioration due aux micro-organismes

Les conditions culturales sont déterminantes pour **la flore microbienne qui sera présente** à la récolte sur le produit. Les surfaces exposées sont **contaminées par le sol, l'eau, l'air, les eaux usées, les animaux, les insectes, puis par contact avec le matériel de récolte.**

La colonisation fongique avant la cueillette est habituellement la cause principale de la pourriture après récolte, par exemple, le *Penicillium*, qui contamine les fruits dans le verger et se développe dans les entrepôts pendant leur stockage.

Certains champignons peuvent pénétrer la cuticule intacte des feuilles, des tiges et des fruits. D'autres organismes nocifs pénètrent dans le fruit par le biais de blessures d'origine mécanique qui se produisent durant la récolte, le maniement et le conditionnement, ou par le biais d'ouvertures naturelles de la cuticule, et attaquent les tissus internes. L'altération post-cueillette peut prendre les formes suivantes : pourriture due aux moisissures brunes, bleues, roses ou grises ; croissance superficielle de moisissures ; noircissement des tissus (anthracnose) ; pourriture aigre ; pourriture du bout de la tige, pourriture due aux levures et autres.

Les conditions de récolte et de transport doivent éviter de provoquer une détérioration accélérée des produits. L'altération par les micro-organismes est généralement favorisée par :

- des conditions de température élevée et de (trop) grande humidité après la récolte : la «balance» entre l'humidité nécessaire pour éviter la perte d'eau excessive et l'humidité en excès qui favorise les pourritures est donc très difficile à trouver et à maintenir ;
- de mauvaises conditions de récolte (fruits endommagés dès la récolte ; fruits ramassés au sol ou fruits déposés sur le sol) ;
- de mauvaises conditions de manutention et de transport (chocs, blessures qui ouvrent des portes ; transport en vrac) ;
- de mauvaises conditions d'hygiène à la récolte et au transport (cageots sales ; bennes de transport non nettoyées ; etc.).

Les fruits et légumes doivent, d'une part, être à tout moment manutentionnés de **manière hygiénique, mais aussi très délicate afin de ne pas occasionner de blessures qui peuvent favoriser l'altération physiologique ou la pénétration d'agents pathogènes ou de moisissures.**

2.2.2.6. La détérioration due au froid

Tous les produits frais peuvent se détériorer s'ils sont exposés à des températures extrêmes (voir Annexes). La tolérance à la température, notamment au froid excessif, varie beaucoup selon les denrées. Leur tolérance aux températures basses est extrêmement importante dans le cas de l'entreposage réfrigéré. À des températures comprises entre 0 ° et - 2 °C, les produits subissent une congélation et la durée de conservation ultérieure sera brève. Les produits congelés se décomposent facilement.

2.3. IMPORTANCE DES MICRO-ORGANISMES POUR LA CONSERVATION ET LA TRANSFORMATION DES PRODUITS

2.3.1. Types de micro-organismes à considérer

Beaucoup de micro-organismes sont présents dans et sur les produits alimentaires (matières premières et produits finis). Certains sont très utiles et même nécessaires au processus de conservation (ex. : lacto-fermentation)¹³, mais nombreux sont ceux qui sont préjudiciables à la bonne conservation des produits alimentaires. Les uns présentent en eux-mêmes ou par leurs sécrétions un danger pour l'homme (on parle de pathogènes qui nuisent à la **sécurité** des produits), les autres modifient les propriétés, la texture, l'aspect, l'odeur, le goût des produits (on parle de la **salubrité**).

Les micro-organismes responsables de l'altération des produits **sont de trois types** : les **bactéries** (y compris leurs spores et leurs toxines), les **moisissures** (y compris leurs toxines) et les **levures**. Les bactéries et les levures ne sont pas visibles à l'œil nu, ce qui est souvent le cas des moisissures, parce qu'elles forment de fins filaments ou un solide agglomérat que l'on peut distinguer.

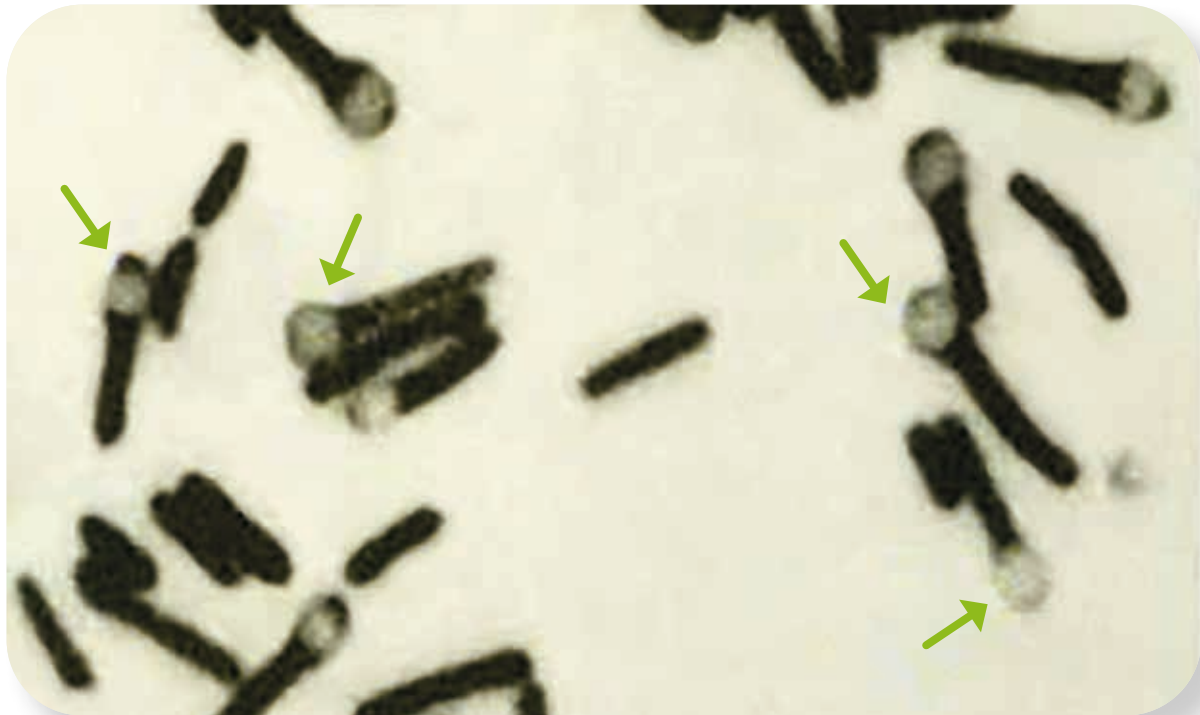
Cependant, il est important de bien faire la distinction entre deux groupes.

2.3.1.1. Les micro-organismes pathogènes (aspect « sécurité »)

Les bactéries se trouvent **naturellement** sur et dans les produits alimentaires. En nombre limité, leur impact sur la santé est généralement négligeable pour le consommateur. Il y a toutefois des différences à ce niveau entre agents pathogènes, selon la vitesse à laquelle ils vont se développer dans l'organisme du consommateur et selon qu'il y ait ou non production d'un métabolite secondaire toxique (toxine libérée par la bactérie).

Les **bactéries pathogènes** sont responsables du plus grand risque alimentaire de nature biologique.

13 Les déchets sécrétés par certains micro-organismes ont un effet positif sur les aliments. Les bactéries lactiques, par exemple, servent à fabriquer du fromage et du yaourt à partir du lait, et de la choucroute à partir du chou blanc. On utilise des moisissures pour fabriquer du tempeh à partir du soja, et les levures permettent de fabriquer de la bière et du pain. Ces substances modifient le goût et la structure des produits alimentaires et augmentent généralement leur durée de conservation. Les produits se conservent plus longtemps parce que les micro-organismes en question font diminuer le taux de pH des aliments ou parce que leur grand nombre empêche le développement d'autres micro-organismes. Cette utilisation des micro-organismes pour la préparation des aliments est appelée fermentation.



Certaines bactéries pathogènes (des genres *Bacillus* et *Clostridium*) sont **sporulantes**. Les «spores» présentent des caractéristiques de résistance (ex. : au chauffage) et peuvent survivre pendant de longues périodes en conditions défavorables (froid, déshydratation). La **thermo-résistance** de la spore est ainsi en bonne partie due à sa déshydratation (forme végétative = 80% d'eau, et spore = entre 10 et 20% d'eau). Lorsque les conditions redeviennent favorables (ex. : lors de la décongélation des produits), la spore, qui est la forme de résistance de la bactérie, peut redonner une forme végétative : c'est la germination.

Les bactéries se développent sur presque tous les types d'aliments frais qui ne sont pas trop acides : la viande, le poisson, le lait et les légumes¹⁴. La majorité des accidents alimentaires (TIAC ou toxi-infections alimentaires collectives) leur sont imputables. De mauvaises conditions de manutention et de stockage contribuent à leur prolifération dans les aliments. S'ils ne sont pas bien manipulés et stockés, les aliments cuits constituent souvent un milieu de culture fertile pour la croissance de ces germes indésirables.

Même si ce sont la plupart du temps des produits alimentaires d'origine animale, comme les œufs ou la viande (consommés crus ou mal cuits) qui sont concernés dans les TIAC, la **grave crise sanitaire** qui a durement frappé l'Allemagne en mai 2011, dite «des graines germées», a démontré que **les produits végétaux peuvent également être à risque**.

14 Parfois les effets négatifs des bactéries apparaissent très clairement (ex. : viande visqueuse, formation de gaz, odeur nettement putride). Mais la détérioration des aliments n'est pas toujours aussi évidente, et la présence de certaines bactéries ne provoque pas forcément une modification de leur saveur ou de leur apparence. Dans tous les cas, il faut absolument éviter de consommer des aliments avariés, car on risque une contamination ou une intoxication (déchets toxiques sécrétés par les bactéries).



La bactérie *Escherichia coli* entérohémorragique type «O104: H4», responsable de diarrhées sanglantes, de trente décès et d'une épidémie sans précédent avec des conséquences économiques majeures, était nichée dans des lots de «graines germées» produites dans une exploitation bio de Basse-Saxe.

Les responsables sanitaires ont aussi lancé des alertes sur les concombres, les tomates et les salades tenus comme des suspects présumés. Cependant les investigations ultérieures ont démontré la présence possible, dans ces graines germées, d'autres bactéries responsables de salmonelloses, de listérioses ou de shigelloses.

Les experts ont estimé que la plupart des graines fournies aux producteurs de graines germées étaient produites au départ pour les cultures fourragères et n'avaient donc pas fait l'objet de bonnes pratiques permettant de prévenir la contamination microbienne des graines destinées à la germination, notamment à cause de l'utilisation d'engrais naturels (contenant des fèces animales) ou d'eau d'irrigation contaminée. Les spécialistes considèrent que si le nombre de TIAC (toxi-infection alimentaire collective) impliquant des denrées végétales est moindre, en cas de crise les conséquences sont toujours très sévères, car souvent les produits végétaux sont consommés crus.

Il existe de nombreux pathogènes ou «dangers biologiques» à considérer lors de la transformation et conservation des produits alimentaires. Les risques biologiques sont liés à la contamination des aliments par des organismes (ex. : vers) ou des micro-organismes pathogènes, essentiellement des virus, des bactéries, des champignons, des protozoaires, des prions... Ces organismes sont souvent associés aux humains et aux produits crus entrant dans la chaîne de fabrication alimentaire.

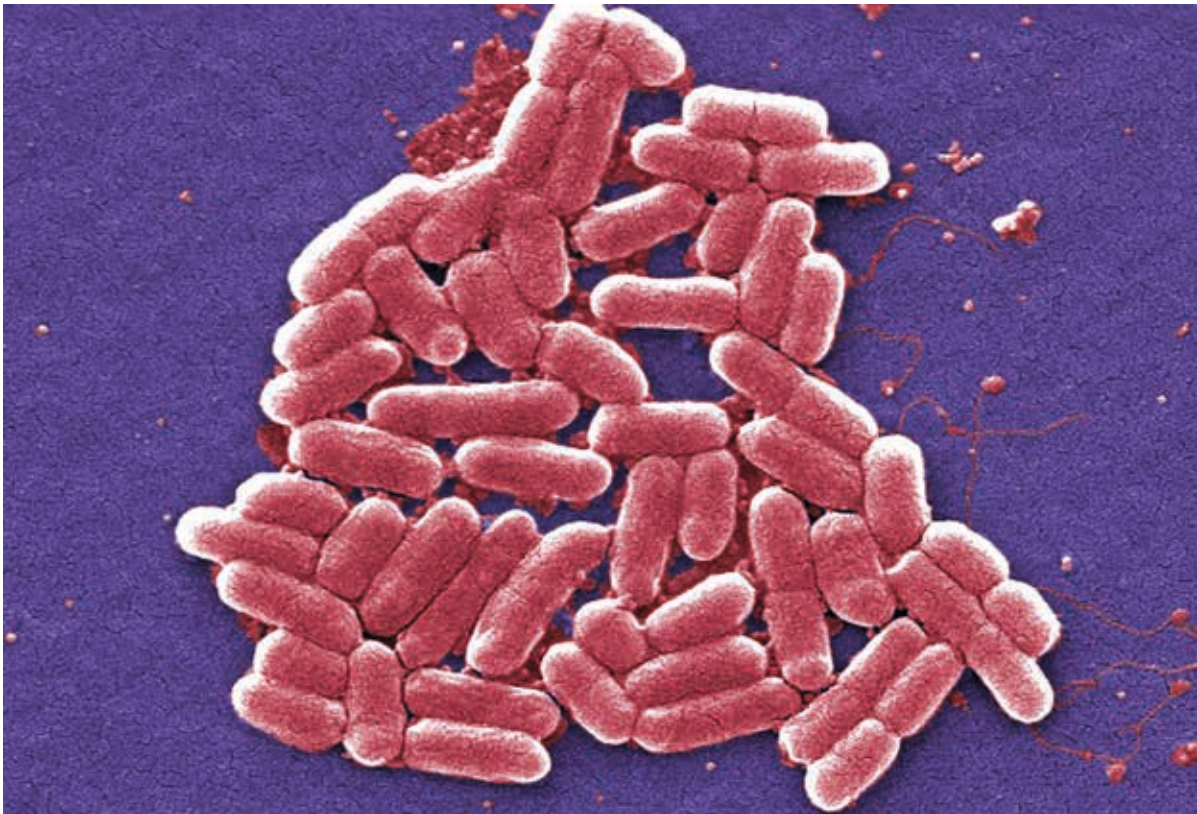
Heureusement, tous ne sont pas pertinents à considérer dans le cadre des produits alimentaires d'origine végétale. Mais plusieurs font partie de la flore naturelle de l'environnement où les aliments sont produits et cultivés.

Exemples de dangers biologiques (Source : Manuel de formation FAO, 2010)

Bactéries sporulantes	Virus
<i>Clostridium botulinum</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Bacillus cereus</i>	Virus de l'hépatite A et E Rotavirus Groupe des virus Norwalk
Bactéries asporulantes	Protozoaires et parasites
<i>Brucella abortis</i> <i>Brucella suis</i> <i>Campylobacter</i> spp. <i>Escherichia coli</i> entéropathogène (<i>E. coli</i> O157:H7, EHEC, EIEC, ETEC, EPEC) <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Salmonella</i> spp. (<i>S.typhimurium</i> , <i>S. enteridis</i>) <i>Shigella</i> (<i>S. dysenteriae</i>) <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Streptococcus pyogenes</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Vibrio parahaemolyticus</i> <i>Vibrio vulnificus</i> <i>Yersinia enterocolitica</i>	<i>Cryptosporidium parvum</i> <i>Diphyllobotrium latum</i> <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Taenia solium</i> <i>Taenia saginata</i> <i>Trichinella spiralis</i>

D'une façon générale, la flore bactérienne présente dans les fruits et légumes peut être décomposée en trois groupes.

- La flore saprophyte ou d'altération : entérobactéries (*Erwinia*...), *Pseudomonas*, *Bacillus* et bactéries lactiques. Cette flore se développe au détriment de la qualité des fruits et légumes.
- La flore phytopathogène (pectinolytique) : certaines espèces d'*Erwinia*, de *Pseudomonas* et de *Clostridium* ou d'autres espèces entraînent des taches foliaires (maladies des plantes). Cette flore est responsable de la dégradation ou de l'altération de la qualité gustative, visuelle... des fruits et légumes.
- La flore d'origine animale (coliforme, entérocoque) et tellurique (terre, eau, boues de station d'épuration). Les entérobactéries, contaminants très répandus, sont recherchés dans les aliments et dans l'eau comme indicateurs de contamination et/ou comme pathogènes. Ce sont donc d'abord des indicateurs utiles d'hygiène et de contamination des produits, par exemple, par les mains souillées. Ainsi, les «coliformes», qui sont des entérobactéries, sont recherchés dans les aliments, car ils sont de bons marqueurs de l'hygiène appliquée en entreprise lors des manipulations des matières alimentaires. **Mais c'est dans une partie de cette flore que l'on retrouve aussi des germes qui, eux, sont pathogènes et responsables des intoxications alimentaires** s'ils se sont développés au-delà des seuils de contamination acceptables (les limites critiques). En effet, ces bactéries produisent des toxines thermostables (stables à la chaleur) et/ou thermolabiles (qui sont détruites par la chaleur).



Escherichia coli

Ainsi, *Escherichia coli* est un coliforme typique d'une contamination fécale des aliments, et *Escherichia coli* O157:H7 est un sérotype particulier responsable de plusieurs pathologies, dont la colite hémorragique.

2.3.1.2. La flore d'altération (aspect «salubrité»)

À proprement parler, ces micro-organismes ne représentent en général pas de «danger» pour l'homme, mais ils agissent de manière négative sur la conservation des produits alimentaires, ce qui a un impact sur la qualité commerciale du produit. Ces microbes peuvent altérer le goût, l'odeur, la texture et l'aspect général du produit. Les moisissures et levures présentes sur les fruits et légumes constituent principalement la flore d'altération.

- **Les moisissures** sont souvent très visibles. La moisissure est une forme de champignons microscopiques (il en existe des milliers de variétés différentes) et elle a une consistance filamenteuse. Souvent de couleur verte, elle se présente aussi sous forme de points noirs ou bruns. Ces micro-organismes peuvent croître et se multiplier rapidement. Elles se développent le mieux en cas d'humidité et prolifèrent davantage dans les pièces peu ventilées, à basse température et dans un milieu acide. Les moisissures altèrent nettement le goût des produits et certaines (ex. : *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*) produisent des substances toxiques (mycotoxines), particulièrement dans les produits humides, comme les graines ou les légumes. Ces moisissures qui présentent un caractère toxigène engendrent un risque pour la sécurité des produits.

- **Les levures** font partie des micro-organismes que l'on retrouve normalement sur des fruits et légumes frais. Elles préfèrent les basses températures et les produits acides. Elles peuvent provoquer également la détérioration des aliments, **mais elles ne sont pas une source d'intoxication alimentaire**. Les levures sont une cause fréquente d'altération des aliments, et plus particulièrement des aliments acides tels que les fruits et les jus de fruits, et des aliments à faible activité de l'eau (A_w). À noter que certaines levures sont aujourd'hui utilisées pour protéger des fruits en conservation (ex.: des pommes), remplaçant les fongicides utilisés usuellement pour prévenir le développement du *Penicillium*.

On peut donner comme exemples les limites acceptables suivantes à appliquer aux denrées alimentaires mises sur le marché prêtes à consommer :

Moisissures	$10^4/g$
Levures	$10^4/g$



Certaines moisissures produisent des substances toxiques (mycotoxines), particulièrement dans les graines humides, comme les arachides, le maïs et le soja, ou sur les légumes.

2.3.2. Conditions favorisant l'altération par les micro-organismes

Le développement des micro-organismes est soumis à certaines conditions. Ils ne peuvent pas survivre s'ils ne disposent pas des éléments suivants.

1. **De l'eau en quantité suffisante.** L'eau est indispensable pour maintenir de nombreux processus physiques. Lorsqu'elle est rare ou inexistante, les micro-organismes ne peuvent pas se développer; c'est le cas dans les légumes séchés. C'est pourquoi le séchage est une des méthodes permettant d'empêcher la détérioration des aliments.
2. **Une température appropriée (froid ou chaleur).** La température environnant les micro-organismes doit se situer en moyenne entre 5 et 65 °C pour qu'ils puissent se développer (pour rappel, le nombre de bactéries dans un aliment peut doubler toutes les 15 à 20 min dans des conditions de température et d'humidité proches de celles de l'air ambiant).
3. **De l'oxygène:** la plupart des micro-organismes ont besoin d'oxygène. S'ils en manquent, ils ont du mal à survivre et à plus forte raison à se multiplier. Mais il y en a toujours quelques-uns qui réussissent à survivre, et, dès que la quantité d'oxygène augmente, ils recommencent à se développer et à se reproduire. Certains types de micro-organismes prolifèrent même dans un milieu pauvre en oxygène (micro-organismes dits «anaérobies» qui se développent même sans oxygène, comme les bactéries du genre *Clostridium*).
4. **Un taux d'acidité approprié** indiqué par le pH (plus un produit est acide, plus son pH est bas). Les fruits abîmés, qui sont un peu plus acides, favorisent le développement de levures et de moisissures. Les carottes ont un pH de 5 et les oranges autour de 4. Au contraire des moisissures, les bactéries préfèrent les milieux qui ne présentent pas trop d'acidité. En ajoutant de l'acidité aux produits, on ralentit le processus de détérioration microbienne.
5. **Des substances nutritives** (ex. : sucres, protéines, graisses, minéraux et vitamines): les micro-organismes en ont besoin, mais en manquent rarement, car elles se trouvent dans tous les aliments.

Comme on le voit, il y a une **relation entre les caractéristiques du produit et la possible contamination par les micro-organismes**. Pour conserver les aliments, il est parfois nécessaire de transformer radicalement les conditions de vie des micro-organismes. On peut notamment utiliser les techniques appropriées suivantes.

- Enlever l'eau (séchage), car lorsque l'eau est rare ou inexistante, les micro-organismes ne peuvent pas se développer (cas des fruits et légumes séchés). La viande et le poisson ne doivent pas nécessairement être secs à 100% pour qu'on puisse les conserver, **l'ajout de sel** rendant l'eau restante impropre aux micro-organismes. **On obtient le même effet en ajoutant du sucre aux fruits.** Le séchage ralentit également la détérioration enzymatique.
- Modifier les conditions de température (refroidir ou chauffer).
- Augmenter l'acidité.
- Faire chauffer les produits (pour tuer les bactéries) avant de les stocker dans des récipients étanches à l'air, pour empêcher l'oxygène d'entrer (conserves).
- Modifier l'atmosphère (raréfier l'oxygène, p. ex., dans un emballage).

2.3.3. Influence de l'eau sur le développement des micro-organismes

2.3.3.1. Importance de l'eau dans les fruits et légumes

Les légumes, et plus encore les fruits, sont généralement riches en eau (jusqu'à 85 ou même 90 % d'eau). Cette « humidité » favorise le développement des moisissures. En effet, à partir d'une certaine humidité relative de l'air ambiant obtenue par évaporation de l'eau présente dans les produits stockés, les spores de moisissures pourront germer. Puis, pour son maintien, il faudra que le mycélium puisse trouver de l'« eau disponible » pour poursuivre sa croissance.

Dans un produit, l'eau est **plus ou moins disponible**, et l'on emploie les expressions telles que l'eau libre et l'eau liée pour exprimer cela.

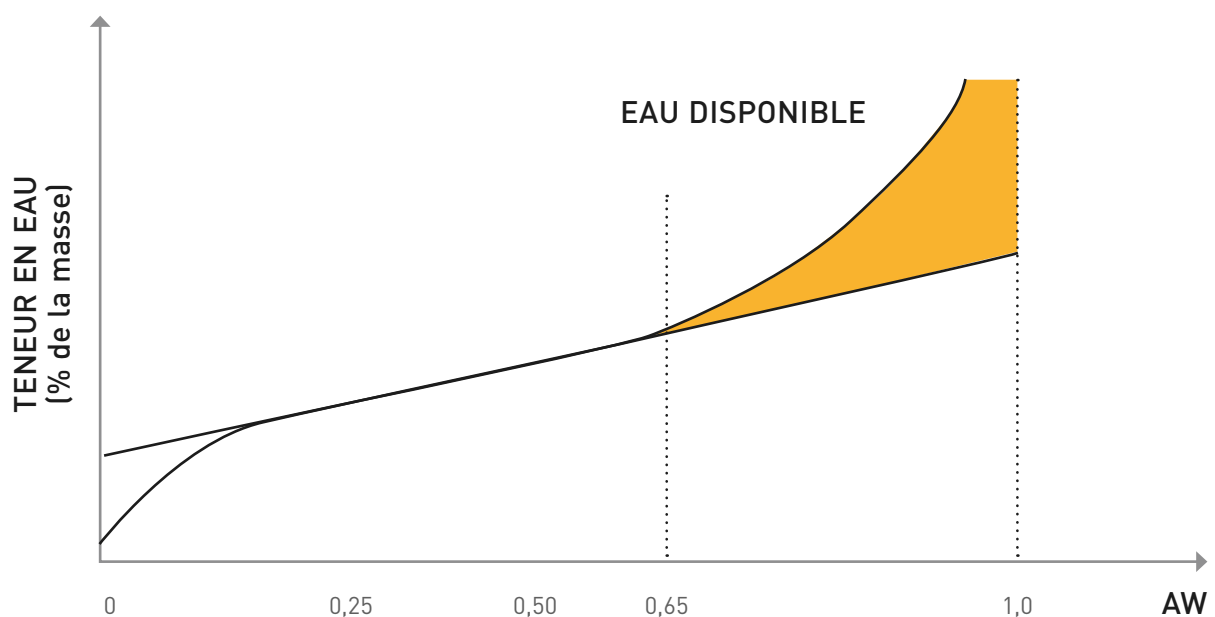
Par ailleurs, ces différents types d'eau conditionnent aussi le séchage.

- **Eau libre** : l'eau libre se trouve dans le produit, mais elle n'est pas liée aux composants du fruit/du légume (les sucres, les protéines et les vitamines). Cette eau se comporte comme l'eau pure et, par conséquent, **elle s'évapore facilement**. La présence de cette eau rend le produit très périssable parce qu'elle est **accessible aux micro-organismes** et qu'elle favorise les réactions biochimiques et physico-chimiques qui sont à l'origine du vieillissement physiologique.
- **Eau liée** : contrairement à l'eau libre, l'eau liée est relativement fixée aux composants du produit, par adsorption. Elle est donc plus **difficilement évaporable**. Elle est aussi **moins accessible aux micro-organismes** et aux dégradations biochimiques et physico-chimiques.

2.3.3.2. L'activité de l'eau (A_w)

La **disponibilité de l'eau** varie donc en fonction de la teneur en eau (en %) des fruits et des légumes et de leur composition biochimique. Elle est quantifiée par une grandeur dite « activité de l'eau », notée A_w (*Activity Water*).

Exemple de courbe de sorption pour un produit donné



La mesure de l'«eau disponible» se fait grâce à l'établissement de la courbe de sorption pour le produit concerné: celle-ci décrit la relation entre l'activité de l'eau (A_w) et la teneur en eau du produit. L'isotherme de sorption indique, à l'équilibre pour une température déterminée, la quantité d'eau contenue dans l'aliment en fonction de son A_w ou de l'humidité relative de l'air en équilibre avec l'aliment. On obtient ces courbes en plaçant un échantillon d'aliment dans une série de contenants fermés hermétiquement (dessiccateur) dans lesquels on maintient une gamme d'humidité relative constante, puis en déterminant à l'équilibre la teneur en eau dans chacun des échantillons d'aliments. **Les isothermes de sorption permettent de prévoir et de comprendre le comportement d'un aliment lors de l'entreposage.** La première information fournie par l'isotherme de sorption est **l'hygroscopicité d'un aliment.** Cette hygroscopicité mesure l'influence qu'aura une variation de l'humidité relative ambiante sur la teneur en eau du produit lorsque celui-ci n'est pas protégé par un emballage étanche.

Dans les **produits alimentaires très hydratés, tels que les fruits et la plupart des légumes frais**, une partie très importante de l'eau est sous forme d'eau libre (en surface du produit ou dans des poches), et une autre partie de l'eau est faiblement absorbée, retenue par capillarité dans les tissus du fruit.

Par contre, **dans les produits transformés** (ex. : salaisons, confitures), la présence de sel(s) ou de sucre(s) réduit la valeur de A_w .

L'activité de l'eau se définit par rapport à un état de référence qui est celui de **l'eau pure, pour laquelle l'activité de l'eau est égale à 1.** Elle correspond au rapport entre la pression de vapeur d'eau de l'aliment et la pression de vapeur de l'eau pure à la même température. La valeur de **A_w varie de 0** (produit sec au point que toute l'eau est liée à l'aliment et donc sans qualité réactive) **à 1** (toute l'eau est libre).

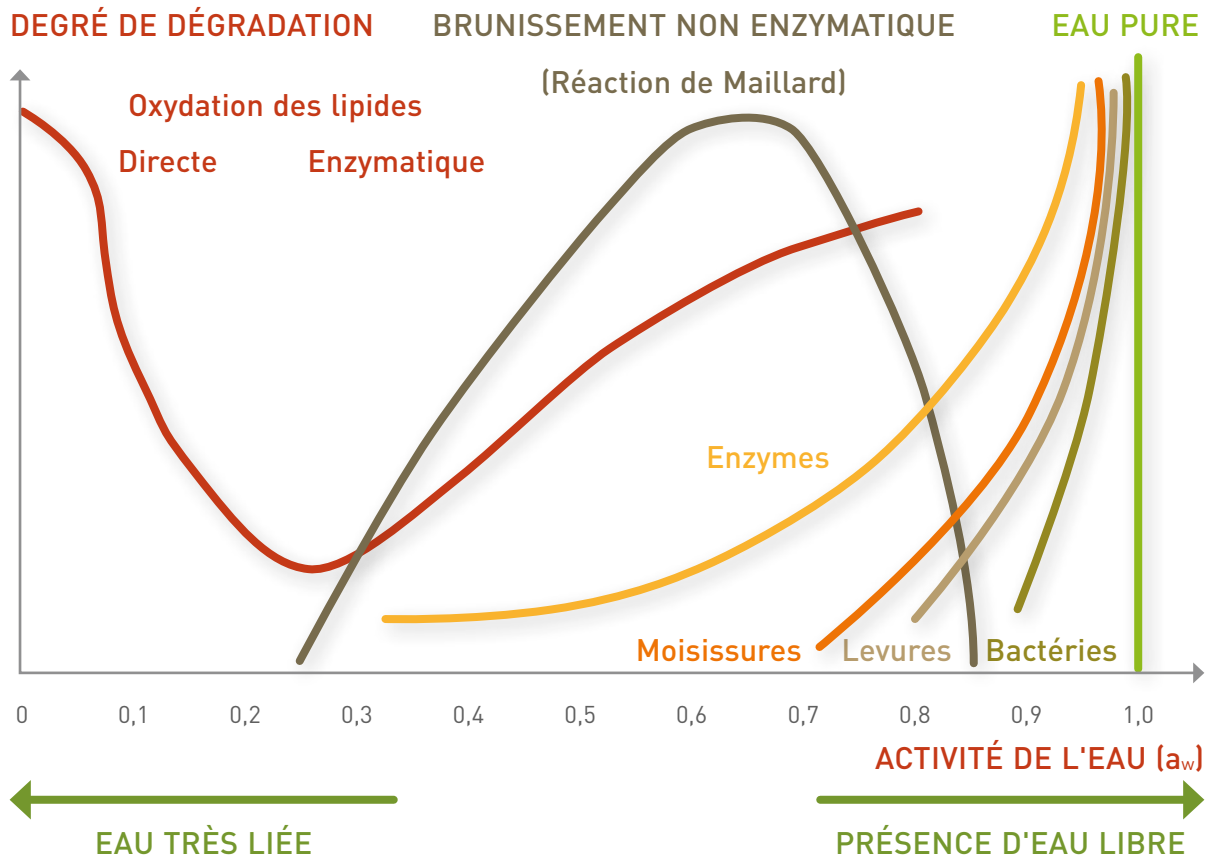
$A_w < 0,25$	Eau fortement liée, dite aussi «de constitution». Cette eau n'est pratiquement pas disponible comme solvant ou réactif. Elle correspond à une couche de molécules d'eau qui entoure la matière sèche.
$0,25 < A_w < 0,65$	Eau faiblement liée, mais peu disponible.
$A_w > 0,65$	Correspond à l'eau «libre» ou «eau liquide». Elle n'est retenue que faiblement à la surface du substrat sec et est disponible tant comme solvant que réactif. C'est uniquement sous cette forme que l'eau est utilisée par les microorganismes et peut permettre les réactions enzymatiques.

On remarque que les champignons qui infestent les denrées et peuvent produire des mycotoxines ont des comportements variés selon la disponibilité en eau: certaines espèces ont une préférence pour les milieux très humides (ex. : *Aspergillus restrictus*), d'autres ont une affinité pour l'eau, mais sans excès (ex. : *Aspergillus flavus*, *A. nidulans*...) et enfin certaines ont une préférence pour les milieux légèrement humides, voire secs (ex. : *Fusarium* spp., *Mucorales*...).

Pour une valeur de l' $a_w < 0,60-0,65$ les moisissures ne se développent plus !



Chaque type de denrée a sa propre courbe de sorption, ce qui explique que les teneurs en eau correspondant à l' a_w à ne pas dépasser (0,65) pour assurer une bonne conservation sont différentes : par exemple, la teneur en eau pour une bonne conservation est de l'ordre de 14 g d'eau pour 100 g de mangue séchée.



Risques de détérioration des aliments en fonction de l' a_w

La mesure de l'activité de l'eau permet de prévoir quels micro-organismes sont sources potentielles de contamination. **Un produit peut être considéré comme stable d'un point de vue microbiologique si son a_w est inférieure à 0,6.**

2.3.4. Influence de la température sur le développement des micro-organismes

2.3.4.1. Effet du froid sur les micro-organismes

Le développement des micro-organismes est également nettement ralenti à une température comprise entre 0 et 5 °C (dans une chambre froide, p. ex.), ce qui permet de stocker les aliments pendant quelques jours. Les *Listeria*, bactéries responsables de la listériose (maladie grave), se multiplient à des températures comprises entre 3 et 8 °C, d'où les problèmes pour la conservation prolongée des produits alimentaires.

Un produit contaminé ne s'améliore pas sous prétexte qu'il est réfrigéré.

À une température inférieure à 0 °C, le développement microbien s'arrête complètement, mais les micro-organismes restent en vie.

Ils retrouveront leur activité dès que la température dépassera 0 °C.



La multiplication des germes est simplement ralentie ou stoppée par le froid. En conséquence, une chambre froide doit donc :

- être lavée et désinfectée régulièrement, car il faut savoir qu'un produit porteur de bactéries peut contaminer la totalité de l'installation ;
- ne pas être trop remplie pour permettre la circulation de l'air froid ;
- permettre de séparer les produits pour éviter toute contamination croisée ;
- être contrôlée régulièrement pour s'assurer que la température à l'intérieur correspond bien aux recommandations de conservation des produits ;
- permettre que chaque produit soit conservé en fonction de sa température de conservation idéale.

De manière générale, il faut toujours veiller à conserver les fruits et légumes au frais (en respectant les températures indiquées sur l'étiquette ou sur l'emballage¹⁵).

2.3.4.2. Influence des températures élevées sur le développement des micro-organismes

L'une des méthodes les plus courantes et les plus efficaces de conservation des fruits et des légumes consiste à les préparer et à les mettre dans des récipients étanches à l'air, que l'on chauffe. Sous l'effet de la chaleur, les micro-organismes sont peu à peu éliminés, mais **pas tous en même temps** !

Une température élevée tue les micro-organismes et neutralise les enzymes. À une température supérieure à 65 °C, la plupart des micro-organismes ont beaucoup de mal à survivre. Ainsi, les salmonelles, principale cause d'intoxications alimentaires, ne sont détruites qu'à une température de 65 °C, appliquée pendant 15 minutes ou 80 °C pendant 10 minutes. Les spores encore présentes ne pourront pas se développer en bactéries et les aliments seront protégés de toute contamination microbienne venue de l'extérieur. Mais il faut noter que certains micro-organismes sont malheureusement plus résistants à la chaleur : le *Clostridium* et le *Staphylococcus* peuvent encore se multiplier et abîmer les aliments en produisant des substances toxiques. Le *Clostridium* provoque parfois le botulisme et entraîne des morts tragiques. Cette bactérie a plus de mal à se développer dans des produits acides tels que les fruits (pH < 4,5).

15 Pour rappel, il ne faut jamais recongeler un aliment, ni consommer un aliment qui a été recongelé, même s'il s'agit de légumes (la température de congélation est atteinte à -18 °C).

La sécurité absolue est donc difficile à atteindre, mais une augmentation du temps de chauffe et de la température permet de s'en approcher. Parmi les techniques d'élimination des organismes infectieux par la chaleur, on distingue la **pasteurisation** et la **stérilisation**.

- Les micro-organismes **meurent à la température d'ébullition**, mais à condition qu'elle dure suffisamment longtemps, autour de 10 minutes. Si la température reste inférieure à 100 °C, il faudra la maintenir plus longtemps pour réduire de manière significative le nombre de micro-organismes présents (ex. : procédé de « **pasteurisation** »).
- Certaines bactéries (genres *Bacillus* et *Clostridium*) sont porteuses d'une sorte de « graine », **appelée spore, qui survit à une température de 100 °C, même après la mort des bactéries**. Dès que la température baisse, de nouvelles bactéries se développent à partir des spores. **Pour les tuer, il faut exposer les spores à une température d'au moins 121 °C : c'est la « stérilisation »**.

2.3.5. Influence des concentrations en oxygène et gaz carbonique sur le développement des micro-organismes

Les moisissures sont des organismes aérobies : elles nécessitent obligatoirement de l'oxygène pour leur développement. Toutefois, un certain nombre d'entre elles tolèrent plus ou moins des concentrations en oxygène faibles et/ou des concentrations en gaz carbonique importantes. Ainsi, l'association de ces deux facteurs qui tendent à limiter la composition gazeuse en O₂ et à accroître la concentration en CO₂ peuvent avoir un effet limitant et sélectif au niveau du développement des mycotoxines.

De plus, quelques rares espèces tolèrent l'absence totale d'oxygène, comme *Byssochlamys nivea*, dont les ascospores sont relativement résistantes au choc thermique de la pasteurisation (ce qui entraîne des risques réels pour la conservation des jus de fruits) ou comme les bactéries du genre *Clostridium* (risque de « botulisme » en cas de contamination par *C. botulinum*).

2.3.6. Influence du substrat sur le développement des micro-organismes

En règle générale, le type de produit entreposé n'influence pas significativement la capacité des micro-organismes à coloniser le substrat (car ils trouvent en quantité les éléments nécessaires).



Mais, dans le cas des fruits et légumes, il y peut y avoir une **spécificité de l'hôte pour les espèces parasites**: *Penicillium expansum* sur la pomme (et les autres pomacées), *Penicillium digitatum* sur le citron, *Phytophthora infestans* sur la pomme de terre, *Trachysphaera fructigena* sur la banane (photo)...

Les fruits possèdent des mécanismes de défense naturelle: une peau épaisse et des substances antimicrobiennes naturelles (huiles essentielles, anthocyanines, acide benzoïque, benzaldéhyde, etc.) et/ou des acides organiques (tels que les acides malique, tartrique et citrique) qui contribuent à l'acidité des fruits et des légumes en maintenant le pH < 4,6. Toutefois certains fruits, comme la banane, le melon, la figue et la papaye ont un pH élevé. Le bas pH, et la nature de l'acide organique en lui-même, déterminent le développement de certains micro-organismes qui tolèrent l'acidité (principalement des moisissures).

2.4. INFLUENCE DE L'HYGIÈNE ET DES BONNES PRATIQUES SUR LA CONSERVATION ET LA QUALITÉ DES PRODUITS TRANSFORMÉS

2.4.1. Conséquences d'un manque d'hygiène

Selon le *Codex Alimentarius*¹⁶, le public est en droit d'attendre que les aliments qu'il consomme soient sans danger et propres à la consommation. Les intoxications alimentaires et les maladies transmises par les aliments sont dans la meilleure des hypothèses déplaisantes ; au pire, elles peuvent être fatales.

Mais elles ont aussi d'autres conséquences. Les foyers d'intoxication alimentaire peuvent **perturber les échanges, et entraîner un manque à gagner, du chômage et des litiges.**

La détérioration des aliments est une source de gâchis, elle est coûteuse et peut se répercuter négativement sur le commerce et la confiance des consommateurs.

Un contrôle efficace de l'hygiène est donc essentiel pour éviter les **conséquences négatives, sur la santé publique et sur l'économie**, des intoxications alimentaires et des maladies transmises par les aliments, ainsi que de **la détérioration des aliments.**

2.4.2. Hygiène et Bonnes Pratiques : les piliers de la sécurité sanitaire

Dans notre environnement (sol, eau, air), nous sommes entourés de micro-organismes divers qui passent inaperçus, et nous sommes nous-mêmes, souvent sans le savoir, porteurs de nombreux microbes (notre état de santé influe donc aussi sur la sécurité des produits).

Au cours de l'itinéraire technique de production, du semis à la récolte, nombreuses sont les opérations culturales qui engendrent des risques pour le produit qui sera transformé. Par exemple, les produits utilisés pour la protection des cultures ou dans le cadre des mesures phytosanitaires avant exportation laissent des résidus qui peuvent être toxiques s'ils dépassent certaines concentrations (> LMR ou limites maximales applicables aux résidus). Des substances chimiques peuvent migrer au départ des conteneurs plastiques, des encres ou des emballages, sans parler des additifs alimentaires employés pour prolonger la conservation ou pour d'autres raisons technologiques.

Pour éviter que les levures, les moisissures, les bactéries, les virus, et autres contaminants chimiques se retrouvent en quantité excessive dans les produits alimentaires et ne **nuisent ainsi à la fois à la salubrité et à la sécurité** des produits, il faut absolument veiller à respecter le plus scrupuleusement possible les principes suivants.

16 Code d'usages international recommandé – Principes généraux d'hygiène alimentaire, CAC/RCP 1-1969, Rév. 4-2003.

1. Les **règles élémentaires d'hygiène**, pour prévenir la contamination. Le *Codex Alimentarius*, comme la réglementation européenne, définissent l'hygiène des aliments comme étant des «mesures et conditions nécessaires pour maîtriser les dangers et garantir le caractère propre à la consommation humaine d'une denrée alimentaire compte tenu de son utilisation prévue».

Cela sous-entend que le producteur doit maîtriser **tous les types de dangers, quelle que soit leur source...**, aussi bien les dangers liés aux micro-organismes que les dangers chimiques (mycotoxines, résidus de pesticides, métaux lourds, allergènes) ou physiques (morceaux de verre, pierres, débris)!

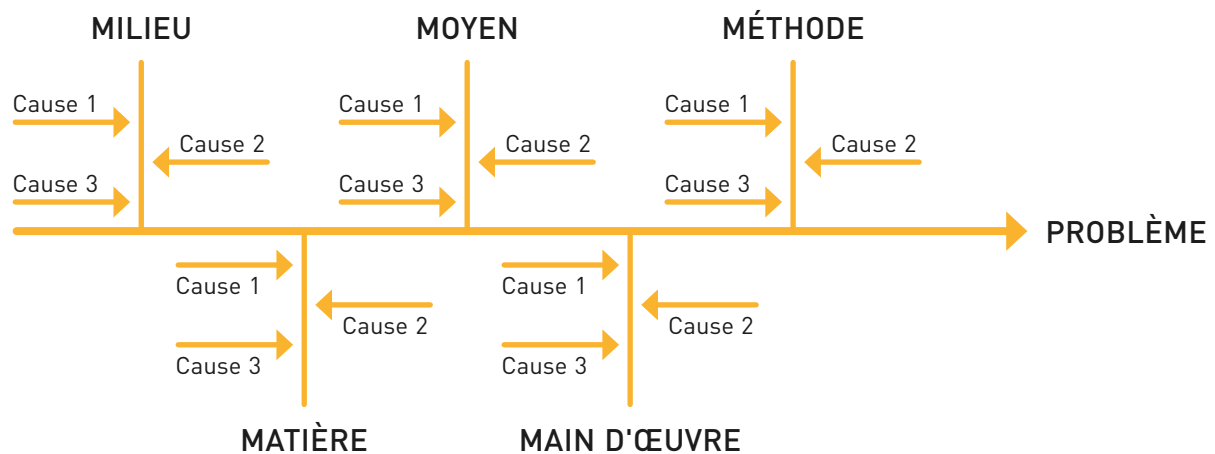
Tous ces dangers, que l'on peut considérer comme des menaces, peuvent survenir à tout moment, c'est-à-dire aussi bien chez les fournisseurs que dans l'entreprise, et ce, sans prévenir, tout en entraînant des conséquences plus ou moins graves :

- pour le fabricant, des altérations rapides de ses produits (moisissures, pourritures), des interdictions de vendre ou d'exporter, des impacts négatifs en termes commerciaux (image de marque détériorée, perte de confiance de ses clients, coûts élevés pour résoudre la crise);
 - pour le consommateur, des effets néfastes sur sa santé (dans les cas extrêmes, sa mort).
2. Les **Bonnes Pratiques** lorsqu'on récolte et que l'on prépare des fruits et des légumes pour éviter des chocs, des blessures, etc., qui favoriseraient le développement des micro-organismes engendrant une détérioration, ou pour éviter le contact avec des substances problématiques qui engendreraient des résidus chimiques indésirables.

On peut dire que les «Bonnes Pratiques», c'est la mise en place de gestes dans le but de maîtriser les dangers et ainsi garantir aux consommateurs la salubrité des denrées alimentaires mises sur le marché.

Les sources de contamination microbienne sont nombreuses et variées. Les plus importantes sont **d'origine naturelle** (via les particules de sol, l'eau, l'air et les parasites tels que les insectes ou les rongeurs, parfois même les oiseaux qui entrent dans les hangars) ou **d'origine humaine** (les denrées alimentaires sont également contaminées par les personnes qui entrent en contact avec elles lors des opérations de récolte, de tri, de découpe, d'emballage, etc.).

Il n'est pas évident dans une entreprise de déterminer toutes les sources de contamination sans procéder à **une analyse systématique** des pratiques. On conseille habituellement d'utiliser la méthode dite «des 5 M» basée sur le diagramme d'Ishikawa. Le diagramme d'Ishikawa (dont l'application ne se limite pas au domaine de l'hygiène) est aussi appelé diagramme de causes et effets ou encore diagramme en arêtes de poisson. C'est un outil de résolution de problème qui se présente ainsi :



Cette analyse systématique doit aider à comprendre :

- les causes et les conséquences du développement des micro-organismes d'altération ou pathogènes sur/dans les aliments ;
- les causes et les conséquences de certains produits chimiques présents dans les denrées alimentaires ;
- les conséquences de la présence de certains objets se trouvant dans les produits ;
- les conséquences de la présence de certains allergènes dans les produits.

2.4.3. Quels moyens mettre en place ?

Il existe plusieurs moyens, qui sont à associer, pour atteindre une hygiène et une sécurité satisfaisantes des aliments transformés.

- L'utilisation d'un itinéraire technique de production éprouvé.
- L'utilisation d'un guide de Bonnes Pratiques d'Hygiène (GBPH). Les Principes généraux d'hygiène alimentaire du *Codex Alimentarius* (CAC/RCP 1-1969, Rév. 4-2003) jettent des bases solides qui permettent de garantir l'hygiène des aliments et ils doivent être, au besoin, utilisés en conjonction avec chaque code spécifique d'usages en matière d'hygiène, ainsi qu'avec les directives régissant les critères microbiologiques. Ils s'appliquent à la chaîne alimentaire depuis la production primaire jusqu'à la consommation finale, en indiquant les contrôles d'hygiène qui doivent être exercés à chaque stade.
- La formation en hygiène, en sécurité alimentaire et en lutte phytosanitaire du personnel.
- La mise en place d'un système de management de la qualité sanitaire et de la traçabilité basés sur une démarche HACCP.
- La mise en place de mesures phytosanitaires intégrées.
- La mise en place de contrôles de la salubrité des aliments et de l'absence d'organismes nuisibles (vérifications, autocontrôles et contrôles officiels).

Tous ces points seront développés au chapitre 3.

2.5. ANNEXES

A.1. Dommages dus à la réfrigération

Certains produits frais peuvent être endommagés à des températures basses qui ne sont pas des températures de congélation. Il s'agit surtout de produits d'origine tropicale et subtropicale, mais quelques cultures tempérées sont également concernées.

Effet des dommages par réfrigération	Symptômes
Changement de couleur	Interne ou externe ou l'un et l'autre, généralement marron ou noir
Piqûre de la peau	Enfoncements, surtout en milieu sec
Anomalies du mûrissement (fruits)	Le mûrissement est inégal ou ne se fait pas ; odeurs désagréables
Augmentation de la décomposition	Activité des micro-organismes

A.2. Sensibilité au froid

La sensibilité varie selon les denrées, mais pour chacune d'elles il existe une température au-dessous de laquelle le produit est endommagé. Pour une même denrée, cette température peut varier selon les variétés. Les fruits sont généralement moins sensibles au froid lorsqu'ils sont mûrs.

Sensibilité des fruits et des légumes aux altérations par réfrigération à des températures basses mais supérieures à 0° C

Denrée	Températures de sécurité moyennes (°C)	Symptômes
Ananas	7-10	Aspect vert terne, saveur médiocre
Aubergines	7	Échaudure superficielle, pourrissement par <i>Alternaria</i>
Avocats	5-13	Chair virant au gris
Bananes (vertes/mûres)	12-14	Couleur de la peau terne, gris-brun
Citrons	13-15	Piqûres, membrane tachée, rougeur
Concombres	7	Piqûres, taches imprégnées d'eau, décomposition
Courges	10	Décomposition
Gombos	7	Perte de couleur, régions imbibées d'eau, piqûres
Haricots verts	7	Piqûres, rousseurs
Limes	7-10	Piqûres
Mangues	10-13	Échaudure grise de la peau, mûrissement irrégulier

Melons	7-10	Piqûres, pas de mûrissement, décomposition
Oranges	7	Piqûres, taches brunes, aspect aqueux
Pamplemousses	10	Échaudure brune, piqûres, aspect aqueux
Papayes	7	Piqûres, pas de mûrissement, odeurs désagréables, décomposition
Pastèques	5	Piqûres, saveur amère
Patates douces	13	Décoloration interne, piqûres, décomposition
Poivrons	7	Piqûres, pourrissement par <i>Alternaria</i>
Pommes de terre	4	Décoloration interne, saveur douceâtre
Tomates		
• à maturité et vertes	13	Ramollissement aqueux, décomposition
• mûres	7-10	Couleur terne, mûrissement anormal, pourrissement par <i>Altemaria</i>

Source : D'après J.M. Lutz et R.E. Hardenburg,
« The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks »,
Agricultural Handbook, n° 66, 1966, Washington, USDA.



Chapitre 3

Opérations de pré et post-récolte: Normes d'hygiène et Bonnes Pratiques

3.1. Introduction	58
3.2. Les opérations de récolte	59
3.3. La préparation des produits en post-récolte	69
3.4. Les règles générales d'hygiène	81
3.5. Application des recommandations d'hygiène de base ou mise en place de PRP dans les entreprises	88
3.6. Application des principes HACCP	99
3.7. Mise en place d'un Système de Management de la Qualité Sanitaire et Phytosanitaire (SMQS) en entreprise	102

3.1. INTRODUCTION

Lors de la production et du traitement des denrées alimentaires, une contamination est toujours susceptible de se produire, par exemple, par des bactéries, des virus ou d'autres organismes ou substances. Les sources de contamination dans l'industrie agro-alimentaire sont nombreuses et variées. Le producteur lui-même, malgré son désir de « bien faire » peut être une source de contamination si son hygiène n'est pas impeccable, si ses infrastructures ne se prêtent pas à la transformation des produits ou s'il ne maîtrise pas parfaitement ses procédés. Or, la consommation d'un aliment mal lavé, mal préparé ou mal conservé peut entraîner un risque grave pour la santé du consommateur.

L'artisanat alimentaire joue un rôle fondamental dans la valorisation des produits agricoles locaux pour l'alimentation des villes. Il faut se garder d'une simplification abusive qui consisterait à opposer le « secteur industriel » au « secteur artisanal » : il existe en effet des complémentarités entre ces deux secteurs qui, tous deux, concourent à approvisionner les marchés. Pour certains produits, dans certains pays, la production artisanale continue d'ailleurs à dominer le marché. Sur les marchés nationaux, on constate donc une certaine répartition des activités et des produits entre les deux secteurs : au secteur industriel les produits standardisés peu valorisés culturellement, pour lesquels il n'existe pas de savoir-faire autochtone ; au secteur artisanal les produits traditionnels, fortement valorisés culturellement, pour lesquels les exigences de qualité sont multiples et spécifiques. Pour qualifier un produit d'artisanal, il faut au moins s'appuyer sur un des éléments suivants : la nature ou la qualité des ingrédients principaux ou les caractéristiques du produit final (ex. : goût) ; des processus de production et de transformation essentiellement manuels, conférant un caractère authentique au produit ; et surtout, une production artisanale sous-entend **une production à petite échelle, voire très petite échelle.**

Mais en ce qui concerne **les risques sanitaires**, il y a une différence fondamentale entre ce qui est encore considéré comme « tolérable » à l'échelle dite « artisanale » (ou informelle), et les conséquences de mauvaises pratiques pour des productions réalisées à l'échelle industrielle et distribuées sur un large marché. Cette différence tient notamment au **nombre potentiel de consommateurs** susceptibles d'être intoxiqués en cas de malfaçon, mais aussi parce que, très souvent, les productions artisanales sont destinées à un marché de proximité, à de la vente directe, après une **période d'entreposage limitée**, ce qui réduit les risques liés au développement des micro-organismes et/ou à la production de (myco)toxines.

Quand le producteur passe du stade de production artisanale au stade industriel, la maîtrise de la qualité des matières premières et des processus se complique, et le niveau de risque augmente en fonction du volume de production. Il a alors bien besoin de documents de référence tels que les « Guides de Bonnes Pratiques » qui vont l'aider à se mettre en conformité avec les *Principes généraux d'hygiène alimentaire* du *Codex Alimentarius*, voire pour mettre en application une démarche HACCP afin d'assurer la sécurité et la traçabilité de sa production.

On verra que **la première étape dans un établissement** est de mettre en place des programmes de base sur l'hygiène (PRP), en se conformant au mieux à ces principes généraux, en instaurant des contrôles et les enregistrements nécessaires.

Selon le *Codex*, « l'importance de ces programmes n'est jamais suffisamment soulignée, car ils constituent la base de la mise en œuvre du plan HACCP. L'adhésion aux Principes généraux d'hygiène alimentaire et aux Bonnes Pratiques (BPA et BPF) simplifieront la mise en œuvre des plans HACCP et garantiront leur intégrité et la sécurité sanitaire des produits fabriqués ».

3.2. LES OPÉRATIONS DE RÉCOLTE

3.2.1. Influence des pratiques culturales avant la récolte

Il est impossible d'améliorer la qualité et l'état des produits frais après la récolte. La conformité aux exigences réglementaires tout comme la valeur marchande finale potentielle des produits dépend du moment et du lieu choisis par le producteur pour semer ou planter, et de la façon dont il aura ensuite conduit ses opérations culturales, c'est-à-dire son « itinéraire technique » de production. **Les compétences et l'expérience du producteur sont donc la base de tout.**

C'est en grande partie similaire pour les produits transformés. Même si la transformation (ex. : en purées, en jus ou nectars, en confitures...) permet de valoriser des produits qui, à l'état frais, n'auraient pas atteints les standards de commercialisation, il est néanmoins difficile de réaliser des produits de qualité avec des matières premières fraîches de mauvaise qualité. Et il est inconcevable, et même interdit, de transformer des produits frais qui ne répondraient aux exigences de la réglementation. Ainsi, **il n'est pas permis** de réaliser des jus de fruits ou des confitures avec des produits qui contiendraient des résidus dépassant les LMR¹⁷ ou les LM en métaux lourds. Il n'est pas non plus permis de diluer, de mélanger des lots conformes et non conformes pour diminuer artificiellement la teneur moyenne en contaminants, même si la tentation est forte. La traçabilité des lots devrait permettre de vérifier l'absence de mélanges de ce genre.

Le manuel de la FAO¹⁸ cite plusieurs exemples de pratiques ou d'opérations culturales qui ont une influence directe sur la qualité des produits frais qui serviront de matière première. En voici quelques-uns.

- Influence des apports d'eau (irrigation) :
 - un excès d'eau ou d'irrigation peut rendre cassants ou fragiles les légumes ;
 - le manque d'eau peut abaisser la teneur en jus et épaissir la peau des agrumes ;
 - la sécheresse, suivie de pluie ou d'irrigation, peut donner lieu à des crevasses dans les pommes de terre ou les tomates.

17 À *contrario*, il faut prendre garde à ce que le procédé de transformation n'augmente artificiellement (ex. : par élimination de l'eau, donc réduction de la masse initiale) la concentration des résidus de pesticides. Pour la majorité des procédés le *Processing Factor (PF)* est inférieur à 1, ce qui signifie que la transformation (lavage, épluchage, chauffage) réduit la valeur du résidu (ex. : si la teneur en résidu est de 0,5 mg/kg sur les produits frais et le PF = 0,25, après transformation la teneur en résidus est de 0,125 mg/kg). Mais quand, par exemple, on sèche des tomates ou qu'on produit du concentré de tomates, la teneur en résidus peut augmenter (PF > 1). Voir le manuel du COLEACP *Principes d'hygiène et de management de la sécurité sanitaire et phytosanitaire*.

18 Manuel de formation, *Prévention des pertes après récolte : fruits, légumes, racines et tubercules*, Rome, FAO, 1992.

- Influence des apports de fertilisants :
 - le manque d'azote peut entraîner un rabougrissement ou une décoloration jaune-rougeâtre des feuilles des légumes verts comme les choux ;
 - un déséquilibre calcium/humidité peut provoquer la pourriture des extrémités florales de la tomate ;
 - une carence en bore peut occasionner une perte de turgescence de la papaye.
- Influence de la protection des cultures (manque d'efficacité entraînant des dégâts ; problème de résidus ; régulateurs de croissance utilisés pour agir sur la fructification et obtenir un mûrissement uniforme...).

3.2.2. Détermination de la maturité des produits lors de la récolte

3.2.2.1. Maturité de récolte

Pour le producteur, il est capital de pouvoir apprécier la « maturité » de ses produits afin de déterminer s'ils sont prêts pour la récolte ou non en fonction notamment du marché (local ou international), du goût des consommateurs, et du type et de la durée du transport (bateau, avion, route). Le mot « maturité » peut prêter à confusion étant donné qu'au sens botanique, il désigne l'époque à laquelle la plante a achevé sa croissance (croissance végétative) et est parvenue au stade de la floraison et de la production des semences (maturité physiologique).

Selon la FAO, un **moment critique** pour les producteurs de fruits et légumes est celui où ils doivent décider le moment de la récolte. Normalement, un produit frais, quel qu'il soit, est prêt à être récolté lorsqu'il a atteint les conditions idéales pour la consommation. C'est ce qu'on appelle généralement la « **maturité de récolte** ». La maturité de récolte désigne alors l'époque à laquelle le produit est prêt à être récolté, compte tenu du délai d'acheminement jusqu'au marché et des conditions du transport. En raison de ce décalage, **les produits sont souvent cueillis avant une maturité complète**.

Pour déterminer la maturité de récolte, les producteurs mesurent le temps écoulé entre la floraison et la récolte, et intègrent les conditions climatiques (calcul du nombre de journées de chaleur pendant la croissance). Ils font aussi appel à une série de critères et de mesures (ex. : Brix) que nous allons passer en revue.

3.2.2.2. Processus de maturation

C'est au cours de la **maturation** que s'élabore la qualité organoleptique des fruits (accumulation de sucres et d'acides, production d'arômes, modifications de la texture...).

Cependant, la période pendant laquelle le produit garde une qualité optimum est éphémère. C'est la raison pour laquelle il est essentiel de connaître le « cycle de vie » de ses produits et de maîtriser le processus de maturation afin de connaître, et de pouvoir déterminer par un indicateur, le **moment idéal** pour la récolte de chaque fruit ou légume.

C'est particulièrement vrai pour les fruits, qui sont classés en **deux catégories** : **climactériques et non-climactériques**.

Qu'est-ce qu'un fruit ou un légume « climactérique » ou « non climactérique » ?

Les fruits et légumes sont dits **climactériques** quand leur maturation dépend de l'éthylène (agissant comme hormone végétale), associée à une augmentation de la respiration cellulaire. Ces produits émettent une grande quantité d'éthylène à un moment précis (« pic d'éthylène ») et ils **continuent à mûrir après la récolte**, entraînant avec le temps leur ramollissement, leur coloration, puis une dégradation physiologique due à la sénescence. **Ces produits seront récoltés verts ou mûrissants !**



Par opposition, chez les fruits ou légumes **non climactériques**, la maturation est indépendante de l'éthylène et non associée à une augmentation de la respiration. **La maturation après la récolte est nulle ou faible**, mais l'éthylène peut provoquer des dégradations physiologiques prématurées telles que des décolorations et des pourritures. **Ces produits seront récoltés mûrs : la qualité à l'étalage doit refléter la maturité à la récolte !**

L'éthylène est un gaz incolore qui agit comme une « hormone végétale » et que la plupart des fruits produisent en quantité variable. Cette molécule entraîne le mûrissement du fruit, même lorsque celui-ci est déjà cueilli. Les industriels recherchent donc à contrôler la production d'éthylène des fruits dans le but d'en améliorer la qualité et d'en prolonger la conservation. Il est aussi possible, pour faire mûrir un fruit climactérique plus vite, de le mettre en contact avec un autre fruit climactérique. Attention cependant, car les fruits climactériques ne feront pas mûrir un fruit non climactérique, mais les feront évoluer vers un stade de sénescence, donc **vers la perte du fruit**.

Liste non exhaustive des fruits climactériques et non climactériques

Fruits climactériques (avec un pic de respiration)	Fruits non climactériques (sans pic de respiration)
Anones, abricot, avocat, banane, figue, goyave, kiwi, mangue, melon, nectarine, pêche, poire, pomme, tomate, fruit de la passion, papaye, sapote	Ananas, cerise, citron, concombre, fraise, litchi, mandarine, myrtille, olive, orange, pamplemousse, pastèque, raisin, dattes, ramboutan

3.2.2.3. Les signes de la maturité des fruits

Plusieurs critères sont observés ou mesurés pour déterminer la maturité de récolte.

- **La couleur** : c'est une composante essentielle de ce que l'aliment offre à la vue et, par conséquent, elle va déterminer la première impression positive ou négative du consommateur (mais ce critère est variable selon la nationalité des consommateurs).

La couleur est aussi un critère de qualité qui permet de segmenter les produits alimentaires en plusieurs catégories auxquelles les consommateurs peuvent facilement se raccrocher pour effectuer leur choix. On distingue par ailleurs **deux catégories de pigments** : les caroténoïdes, qui s'accumulent lors de la maturation du fruit qui passe ainsi du vert au rouge, et les anthocyanes qui sont à l'origine du rouge des fraises ou des mangues, par exemple.

Cependant, il convient d'être très prudent, car il n'y a pas nécessairement de rapport entre l'apparence d'un fruit et son âge physiologique : la couleur peut changer selon l'ensoleillement reçu sur l'arbre, selon le calibre, etc.



Mangue bien ensoleillée

Mangue à l'ombre

Gros calibre

Petit calibre

Toutes ces mangues ont le même niveau de maturation !

(Source : Gleizer et Joas, CIRAD-CITFL, 2013)

- **La fermeté du fruit** : elle peut être déterminée par résonance (son rendu au tapotement). Elle résulte de la synthèse chimique ou de l'activation, pendant la phase de maturation, de protéines impliquées dans le relâchement de la paroi. Les pectines font parties de ces protéines et se présentent sous forme de chaînes : plus elles sont longues, plus le fruit est dur.

La fermeté est un critère de qualité contrôlé à réception des fruits.

La mesure de la fermeté des fruits un des critères permettant d'estimer le meilleur moment pour récolter. Il donne une indication quantifiée de la dureté ou de la tendreté d'un fruit. La solution la plus utilisée pour ce type de mesure consiste à mesurer, à l'aide d'un dynamomètre ou d'un pénétromètre, la **force nécessaire pour enfoncer dans la chair du fruit un embout calibré**, c'est-à-dire un petit cylindre métallique vissé sur l'appareil. Les mesures sont en général faites en Newton ou kg que l'on ramène ensuite à la surface du pénétrateur pour une question d'homogénéité. Pour faire les mesures, on enlève tout d'abord la peau du fruit puis on insère manuellement l'embout dans la chair du fruit et on relève la valeur sur l'appareil.

On peut distinguer **3 types de fermeté selon les étapes de la chaîne de distribution** : la récolte, le transport et la consommation. Si, par exemple, la fermeté d'une pomme est faible au moment de la récolte, il y a une forte probabilité qu'elle soit molle pour le consommateur final.

i



Exemple de pénétromètre qui va mesurer la fermeté des fruits.

Il existe deux modèles de pénétromètres manuels :
celui dont l'échelle va de 0 à 5 kgf pour les fruits mous
et celui dont l'échelle va de 0 à 13 kgf pour les fruits durs.

Il faut s'assurer que les échantillons à mesurer sont représentatifs du total de la récolte (par rapport au nombre minimum d'unités d'échantillonnage, taille, qualité, etc.). Il est important que le fruit sélectionné soit sain, et ne présente aucun type de problème spécifique dû à une maladie ou un dommage physique qui puisse altérer le processus normal de mûrissement. Il est préférable de faire plusieurs mesures sur le fruit, dans diverse directions. Le même type d'échantillonnage peut s'effectuer pour le contrôle d'un lot de fruit stocké ou transporté.

Le tableau suivant reprend quelques valeurs indicatrices de fermeté (en kgf) pour les 3 étapes : à la récolte, pendant le transport et au moment de la consommation

Fruits	Diamètre de l'embout métallique utilisé	Récolte	Transport	Consommation
Pomme	11,3 mm	8 kgf	5-6 kgf	4 kgf
Melon	8 mm	4-5 kgf	3-4 kgf	3 kgf
Kiwi	8 mm	7-8 kgf	3-5 kgf	2-3 kgf
Mangue	8 mm	8-9 kgf	3-5 kgf	2 kgf
Nectarine	8 mm	6 kgf	5-7 kgf	1-2 kgf
Orange	8 mm		2-3 kgf	
Avocat	6 mm	14-15 kgf	8-10 kgf	

Les embouts à utiliser sont normalisés et ont, par exemple, des diamètres de :

- 11,3 mm (1 cm²) pour les pommes (pression exercée : 4,32 kg/cm²)
- 8 mm (0,50 cm²) pour mangue, orange, poires (pression exercée : 8,64 kg/cm²)
- 6 mm (0,28 cm²) pour avocats et kiwis (pression exercée : 15,43 kg/cm²)

Remarque : kgf = kilogramme-force, ancienne mesure à traduire en Newton en multipliant la valeur considérée par l'accélération de la pesanteur (qui vaut à Paris 9,806 65 m/s², soit 9,806 65 N (N = kg × m × s⁻²). 1 kgf = 9,806 65 N ; 1 N = 0,101 972 kgf). Exemple : 8 kgf = 78,4 N.

- **L'odeur :** lors de la maturation des fruits, des composés volatils spécifiques se produisent. Ils sont à l'origine de l'odeur des fruits. C'est pourquoi de nombreux fruits dégagent une odeur caractéristique à leur maturité. Les arômes des fruits sont difficiles à mesurer, car ils dépendent d'un grand nombre de facteurs. Ils constituent malgré tout un bon indice de maturité du fruit.
- **La saveur d'un fruit :** elle est liée en général aux concentrations relatives de sucres et d'acides dans le fruit, principalement le fructose et l'acide citrique. La meilleure combinaison, c'est-à-dire, **le meilleur goût, ce sont des contenus élevés en sucres et en acides**¹⁹. Au cours de la maturation, cette teneur en sucre va augmenter à la suite de la dégradation de l'amidon du fruit. En effet, l'amidon, par un effet d'hydrolyse, va alors se transformer en glucose, fructose, saccharose dits « sucres simples ». L'amidon étant principalement présent dans l'extrémité de la tige, le fruit ne doit pas être cueilli trop tôt afin qu'il accumule assez d'amidon et donc assez de sucres (exception faite des fruits climactériques).

19 Certains produits (ex. : Brixtoner®) permettent le transport des sucres depuis les centres de production (feuilles) jusqu'aux fruits durant la phase de développement et maturation grâce au processus de photosynthèse.

La teneur en sucre d'un fruit peut facilement se mesurer à l'aide d'un **réfractomètre**. Il utilise le fait qu'un faisceau de lumière est dévié différemment suivant la nature du milieu dans lequel il se propage.

Ainsi, suivant la teneur en sucre du jus, la déviation de la lumière du jour par l'échantillon varie et **indique le « Brix »** de celui-ci. Lorsque la teneur en Brix est élevée, le point de congélation est également beaucoup plus faible et les légumes ou les fruits gèlent moins rapidement.



L'échelle de Brix sert à mesurer en degrés Brix ($^{\circ}\text{B}$ ou $^{\circ}\text{Bx}$) la fraction de saccharose dans un liquide, c'est-à-dire le pourcentage de matière sèche soluble. On mesure le $^{\circ}\text{Brix}$ de la pulpe des fruits une fois qu'ils ont été préparés (triés, lavés, centrifugés...). Pour cela, on **prélève un peu de jus de la préparation** que l'on place sur le réfractomètre. On obtient alors le degré Brix des fruits. **Plus le $^{\circ}\text{Brix}$ est élevé, plus l'échantillon est sucré** (% de sucres dans le jus testé dans le réfractomètre. $20^{\circ}\text{Brix} = 20\%$ de sucre. Il est en général inférieur à 20% pour les fruits ; **de 13% en moyenne pour la majorité des fruits tropicaux** ($19\text{-}20\%$ pour les ananas ; $12\text{-}22\%$ pour les mangues).



Certains appareils mesurent à la fois le Brix et l'acidité.
L'évolution après récolte du taux de sucres et de l'acidité dépend de l'espèce.

3.2.3. Gestion des risques liés aux opérations de récolte

Le récoltant doit prévoir de réaliser dans les délais appropriés les opérations suivantes.

- Récolter des produits de bonne qualité et en bon état.
- Conserver les produits récoltés en bon état jusqu'à ce qu'ils soient consommés ou vendus.
- Planifier ses travaux de la récolte dans des délais suffisants (prévoir suffisamment de main-d'œuvre ; prévoir le matériel et les moyens de transport).
- Former l'ensemble de la main-d'œuvre pour ce qui concerne les aspects généraux de la manutention des produits, et une formation spécialisée pour ceux à qui seront confiées des tâches plus délicates.
- Mettre en place une surveillance à tous les stades de la récolte et de la manutention aux champs.
- Organiser les opérations (cueillette, tri sur place, expédition vers la station de traitement ou l'usine).

- Vérifier l'état des caisses de récolte et des contenants (ex. : seaux). Éviter les récipients sales, contaminés par de la terre, des résidus végétaux ou des produits en décomposition ; les contacts avec de l'huile, de l'essence, ou des produits chimiques autres que ceux qui sont spécifiquement destinés aux traitements autorisés après la récolte.
- Prévoir le matériel pour le respect des règles d'hygiène personnelle (points d'eau pour le lavage des mains, toilettes propres accessibles...).
- Ramasser et éliminer les déchets et les écarts de tri.



Les mesures sanitaires applicables à toute personne travaillant dans le secteur alimentaire s'appliquent également à ceux du secteur primaire.

L'hygiène du personnel commence au champ. Se laver les mains avant et pendant la récolte diminue le risque de contamination des produits récoltés par les travailleurs.

3.2.3.1. Risques de dommages mécaniques (chocs, blessures de la peau) par une mauvaise manutention lors de la récolte

Comme les fruits et les légumes (fruits, légumes verts et légumes tubéreux) ont une forte teneur en eau, et donc une texture molle (d'autant plus molle que le moment de la récolte à maturité approche), ils sont très sensibles aux chocs lors des opérations de récolte. Des lésions de la peau peuvent se produire à tous les stades, depuis la production jusqu'à la mise en vente par le commerce de détail, à cause d'opérations de cueillette ou récolte peu soigneuses ou mécaniques et brutales (ex. : secouage des arbres), de cageots en mauvais état (échardes, clous...), de déversement brutal dans une benne, de piétinement accidentel, etc. (ex. : parfois, les ananas sont lancés à la volée dans une benne de récolte).

Les fissures, meurtrissures, blessures... sont autant de portes d'entrée pour les champignons et les bactéries qui se développeront d'autant plus rapidement que les produits contiennent à cet instant des concentrations plus élevées en sucres. Les conséquences sont diverses : fermentation, changement de couleur des tissus endommagés, arrière-goûts prononcés, etc.

Il faut donc bien organiser et planifier les opérations de récolte afin de ne pas travailler dans la précipitation. Il faut au contraire manipuler la plupart des produits avec attention et douceur pour éviter les chocs et les blessures. Il faut éviter d'arracher les fruits et plutôt couper les pédoncules avec un couteau tranchant.

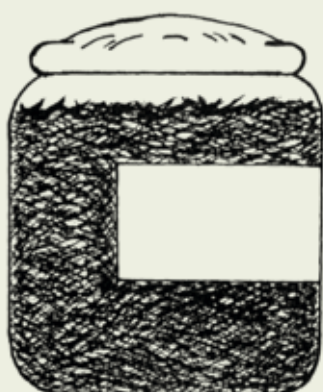
3.2.3.2. Influence de la maturité des produits sur les opérations de récolte

Quand les fruits sont à maturité, ils sont beaucoup plus fragiles et sensibles aux chocs, aux blessures et donc aussi aux maladies qui se développeront en post-récolte lors du stockage avant conditionnement ou transformation.

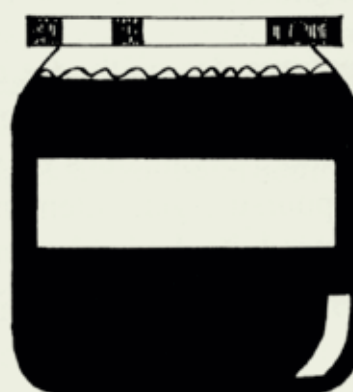
3.3. LA PRÉPARATION DES PRODUITS EN POST-RÉCOLTE

La préparation des fruits et des légumes, soit pour la transformation (ex. : en jus, purées, confitures, conserves, etc.), soit pour un conditionnement direct (emballage de produits frais à expédier), doit se faire **le plus rapidement possible après leur récolte**, et dans tous les cas dans les 48 heures maximum quand il s'agit de fruits et légumes frais. Plus le temps passe et plus ils ont des risques de se détériorer (détérioration enzymatique, attaque de champignons ou de ravageurs, développement de moisissures, etc.).

Exemples de produits avariés (repris de Série AGRODOK n° 3, CTA, 2003)



COUVERCLE BOMBÉ SOUS L'EFFET
DE LA FORMATION DE GAZ



FORMATION D'UN DÉPÔT
VISQUEUX SUR LE PRODUIT



DÉVELOPPEMENT
DE MOISSURES



FORMATION
DE BULLES DE GAZ

Cette phase qui précède soit un conditionnement de fruits et légumes qui seront vendus à l'état frais, soit leur transformation en jus, purée, confitures, gelées, ketchups, etc., reprend plusieurs opérations indispensables. Mais les schémas de production sont nombreux et variés, et les opérations ne se déroulent pas nécessairement dans l'ordre de leur présentation ci-dessous; de même, certaines opérations ne sont pas toujours effectuées systématiquement.

3.3.1. Le premier tri

Un premier tri, le plus souvent réalisé au champ, permettra d'éliminer les éléments invendables et les corps étrangers (débris végétaux, terre ou pierre) avant le transport et avant que le produit n'entre en station de conditionnement ou en usine, et ne passe aux opérations suivantes. Tous les déchets seront rapidement évacués ou placés dans des bacs dotés de fermetures pour mise au rebut. En effet, l'accumulation de déchets en décomposition ou infestés, que ce soit au champ, dans l'atelier d'entreposage ou à proximité, contaminera les autres produits (ex. : mangues piquées par la mouche des fruits).

3.3.2. Le nettoyage et le lavage

Il est permis²⁰, et même **recommandé, de trier et de nettoyer les fruits et les légumes avant le conditionnement en frais ou la transformation**, afin d'éliminer le sable, la terre adhérente et tout reste de saleté.

La terre et les pierres pourront être enlevées à la main ou par tamisage. Certains produits peuvent être lavés, brossés ou nettoyés avec un chiffon doux (ex. : mangues). Le fait de nettoyer les produits en les lissant à la main ou en les brossant à la machine permet d'éliminer les traces de terre ou la poussière présentes sur le produit, et notamment sur les fruits. Ce travail sera exécuté avec soin, car les produits frais dont la peau serait écorchée s'abîmeront rapidement.

Il faut commencer par bien nettoyer les fruits et les légumes afin d'éliminer tout reste de saleté ou dépôt externe de pesticide. Il faut également enlever la peau extérieure des oignons. Le nettoyage consiste généralement à laver les produits, de préférence à l'eau courante sous un **robinet d'eau potable**, ou, à défaut, dans un **seau d'eau propre que l'on change régulièrement**. À ce stade de la production, il n'est pas obligatoire, mais conseillé, d'utiliser de l'eau « potable » ; de l'eau « propre » suffit. Mais le producteur doit évidemment s'assurer de ne pas contaminer ses produits par des micro-organismes ou des produits chimiques.

Il n'existe pas d'agents antibactériens acceptables ou efficaces pour traiter l'eau destinée à laver des produits frais. On peut ajouter des hypochlorites ou du chlore à l'eau de lavage destinée au traitement commercial de certains produits, mais leur utilisation dans de l'eau recyclée ou stagnante ne saurait être recommandée pour les petites opérations de lavage, car ils seront rapidement inactivés par les matières organiques, débris végétaux par exemple, contenues dans l'eau. Le contrôle de la concentration de l'eau de lavage en chlore et son dosage sont difficiles à réaliser ; de toute façon, le chlore n'a qu'une efficacité limitée contre la décomposition.

20 Au sens réglementaire, ces opérations qui ne changent pas la destination du produit (= son usage) ne sont pas différentes de la « production primaire » et ne changent pas les exigences relatives à l'obligation de l'HACCP, par exemple.

Il est nécessaire de laver les produits sur lesquels des meurtrissures provoquées en cours de récolte ont laissé des **taches de latex** : c'est le cas notamment des mangues et des bananes. À noter qu'on ne lavera ces produits qu'en cas d'absolue nécessité. Dans ce cas, un antifongique devrait normalement être appliqué aussitôt après.

Lorsqu'on nettoie des légumes feuillus, il vaut mieux enlever d'abord les tiges. Il ne faut jamais laver certains types de fruits, tels que les cerises, les fraises ou les champignons, les salades, les haricots verts, les concombres..., car cela favoriserait la propagation des micro-organismes et raccourcirait leur durée de conservation.

Pour certains produits comme les salades pommées, au lieu d'un lavage, on procède à l'enlèvement des feuilles inférieures (parage); ce sont les feuilles au contact du sol, les plus sales, mais aussi les plus contaminées en résidus (ex. : de fongicide) car ce sont les plus anciennes, qui étaient par conséquent déjà formées lors des traitements; les éliminer permet d'enlever une bonne partie des résidus de produits phytosanitaires. Pour les ananas, on peut couper (une partie de) la couronne.

Les produits lavés qui doivent être traités aux fongicides seront d'abord égouttés, afin de réduire le risque que l'eau de lavage résiduaire dilue l'antifongique en dessous de sa concentration efficace. Si le lavage ne doit pas être suivi d'un traitement antifongique, le produit lavé sera étalé en une seule couche sur des tréteaux surélevés en treillis ou à claire-voie, à l'ombre, mais bien aérés, pour permettre un séchage rapide.

3.3.3. Le traitement fongicide

Ce traitement est effectué sur les produits qui ne sont pas transformés, mais qui doivent être conservés et transportés sur de longues distances, par exemple. Étant donné les dégâts que peuvent causer les levures, moisissures et bactéries, pendant le transport et l'entreposage, des traitements sont parfois effectués, par trempage ou par pulvérisation de biocides, dont les fongicides. À noter que seuls certains fongicides (dont l'imazalil ou le thiabendazole) peuvent être appliqués de cette manière en post-récolte, car la dose efficace au moment du traitement ne doit pas dépasser la valeur de la LMR pour cette substance active (en effet, il pourrait y avoir consommation immédiatement, dans les jours qui suivent, après traitement). Aujourd'hui, des biopesticides (ex. : levures) remplacent parfois les substances actives de synthèse, d'autant que, lorsque la substance active n'est plus autorisée en Europe, la valeur de la LMR est ramenée à 0,01 mg/kg rendant le traitement impossible à cause des résidus excessifs.

Les bananes et les agrumes (non bios) sont pratiquement toujours traités avec un fongicide. Mais les avocats, les mangues, les pommes ou encore les poivrons sont aussi fréquemment traités par un fongicide avant stockage ou commercialisation.



Bananes mises à sécher après trempage dans un bain fongicide

Le produit commercial (formulation) est dispersé dans l'eau avant pulvérisation sur les fruits en mouvement sur une bande transporteuse, ou dispersé dans une grande cuve (un bain) dans laquelle sont plongés les fruits. Il existe **deux modes d'application**.

- **La pulvérisation** : elle peut être exécutée au moyen de jets fixes (les fruits placés sur des plateaux perforés traversent la brume de pulvérisation ou sont entraînés par un transporteur à courroie ou à rouleaux). Dans les petites installations, un pulvérisateur à dos est parfois employé pour appliquer le fongicide sur le produit placé sur des plateaux après lavage et séchage. Quelle que soit la technique, les fruits sont pulvérisés à refus, c'est-à-dire jusqu'à ruissellement de la bouillie.
- **L'immersion dans un bain** : elle est exécutée à la main ; des paniers en treillis permettent de tremper plusieurs fruits à la fois. Après trempage, le produit sera égoutté et séché dans un lieu aéré, protégé du soleil.

3.3.4. Le bain de soude

Certains produits, comme les prunes ou les raisins, sont immergés pendant 5 à 15 secondes dans une casserole contenant de la soude chaude, presque bouillante (NaOH ; 10-20 g de soude par litre d'eau), ce qui rend la peau rêche et accélère le processus de séchage. Après ce traitement, il faut rincer abondamment le fruit avec de l'eau froide pour éliminer les restes de soude. Le jus de citron permet également de neutraliser tout résidu de soude.

On considère que la méthode de préparation décrite ci-dessus est polluante parce que l'alcali contenu dans l'eau se retrouve dans l'environnement. L'utilisation de la soude a d'autres inconvénients : elle risque de décolorer les légumes et d'avoir une action corrosive sur les casseroles en métal. L'utilisation d'une concentration trop élevée de soude est malsaine pour les gens qui s'en servent.

3.3.5. L'épluchage et le découpage

On épluche de nombreux types de fruits et légumes pour pouvoir les conserver. L'épluchage se fait facilement à l'aide d'un couteau inoxydable ; ce détail est très important, cela évitera la décoloration de la chair des produits. Le mieux est de plonger les agrumes, les tomates et les pêches, dont la peau adhère fermement à la chair, dans de l'eau chaude pendant une durée de 1,5 à 3 minutes. La peau ramollie se retire alors facilement.

Il est important de couper les produits, parce qu'il faut disposer de morceaux à peu près égaux pour les faire cuire, les sécher et les conditionner. On coupe généralement les fruits et les légumes en cubes, en fines tranches, en anneaux, ou on les râpe. **Les instruments doivent être bien aiguisés et propres pour éviter que des micro-organismes entrent en contact avec les aliments.** Dès qu'ils sont coupés, les produits perdent de leur qualité du fait de la libération d'enzymes et de substances nutritives pour les micro-organismes.

La perte de qualité provient également du fait qu'on abîme la chair des produits en les coupant. C'est la raison pour laquelle l'intervalle séparant l'épluchage et la coupe du processus de conservation doit être le plus court possible.



Opération d'épluchage et de conditionnement de mini-légumes au Kenya

Étant donné les nombreuses manipulations du produit, il est essentiel d'accorder une grande importance aux conditions d'hygiène corporelle et du matériel.



Les risques sanitaires présentés par ce type d'opération n'est plus comparable à ceux d'un simple lavage des produits. La mise en place d'une démarche HACCP pour identifier les mesures de maîtrise adéquates à prendre s'impose.



Les couteaux utilisés sont nettoyés et désinfectés en cours de travail par trempage dans une solution désinfectante. (Photos B. Schiffers)

3.3.6. Le blanchiment

3.3.6.1. Principe de la technique

Bien que le lavage puisse ôter beaucoup d'organismes à la surface, certaines opérations comme peler, couper et débiter en tranches peuvent endommager les cellules, en exposant aux milieux extérieurs les fluides nutritionnels des tissus intérieurs, et en fournissant de nouveaux accès aux microorganismes et aux autres contaminants.

Le blanchiment, ou « précuisson », c'est **l'exposition des fruits et légumes à des températures élevées (90-95 °C) pendant quelques minutes**. C'est donc une brève précuisson à l'eau ou à la vapeur à laquelle on soumet les aliments végétaux que l'on consomme habituellement à l'état cuit, et que l'on se propose de conserver par appertisation, déshydratation ou congélation. Le blanchiment se fait dans une eau ordinaire ou une eau douce contenant 0,2% de Na_2CO_3 qui n'altère pas la couleur naturelle. Pour les légumes les plus durs (comme les pois), on ajoute du NaCl (3%) pour les attendrir.

3.3.6.2. Intérêt du blanchiment

Le blanchiment a plusieurs objectifs.

- **Compléter le lavage du produit**, en réduisant les contaminations de nature chimique et la charge microbienne.
- **Attendrir les légumes** tout en stabilisant la couleur d'origine, réduire le volume apparent (feuilles, ce qui facilite les opérations et les manipulations ultérieures).
- **Éliminer air et gaz occlus** dans les tissus végétaux évitant les oxydations lors de la phase thermique suivante, ou l'accélération de la corrosion ultérieure des aciers des boîtes métalliques.
- **Mieux maîtriser la teneur en eau variable** selon le niveau de maturité. La majorité des légumes subissent au cours de la cuisson des pertes en eau plus ou moins importantes (épinards, petits pois...). Les légumineuses au contraire (haricots, flageolets...) reprennent plus ou moins d'eau à la cuisson. Le blanchiment assure une meilleure régularité de ces pertes ou gains de poids.
- C'est une opération de contrôle décisive de leur transformation en produits stables. Dans les méthodes traditionnelles de conservation, ce traitement par la chaleur a pour principale fonction de **détruire les enzymes** susceptibles d'abîmer les légumes et les fruits. En effet, si on ne les blanchit pas, on risque toujours des altérations enzymatiques même après stérilisation. Ces altérations sont :
 - perte de l'odeur et du goût naturels ;
 - accumulation de produits de dégradation donnant un arrière-goût et une odeur désagréable ;
 - altération de la couleur par attaque enzymatique de la chlorophylle : en effet, les polyphénoloxydases transforment, sous l'action de l' O_2 , les phénols naturels en pigments rouge brun ;
 - lignification et durcissement des pois.

Mais dans ces techniques de transformation minimums, le blanchiment a un autre rôle important: **réduire la charge microbienne initiale** en inactivant les micro-organismes sensibles à la chaleur. Les températures utilisées sont létales pour les levures ainsi que pour la plupart des moisissures et des micro-organismes aérobies. On a trouvé que le blanchiment **réduisait en fait la charge microbienne de 60 à 99%**. De plus, ce traitement par la chaleur a un effet de sensibilisation sur les survivants, rendus moins résistants aux stress imposés par la réduction de l'Aw et du pH ainsi que par la présence de sorbate et de sulfites ou d'autres agents antimicrobiens.

On blanchit les légumes avant de les sécher afin **d'éviter qu'ils changent de couleur ou d'odeur** et qu'ils perdent trop de vitamines. En principe, il est inutile de faire blanchir les fruits qui ne se décolorent pas. Certains légumes, comme les oignons et les poireaux, supportent mal le blanchiment.

3.3.6.3. *Inconvénients de cette technique*

Le blanchiment présente toutefois quelques inconvénients :

- ramollissement excessif de certains produits ;
- perte de nutriments (vitamines, sels minéraux, sucres) par diffusion dans l'eau ;
- pertes de constituants thermolabiles (vit C), donc le blanchiment doit se faire à haute t° et pour un temps court ;
- transformation de la chlorophylle, qui entraîne un jaunissement des légumes verts ;
- destruction ou formation de composés odorants, aromatiques.

3.3.6.4. *Comment réaliser le blanchiment ?*



Le blanchiment est une opération assez simple. Il suffit de disposer d'une grande casserole munie d'un couvercle et d'une passoire en métal ou qui soit du moins résistante à la chaleur. Il se pratique en immergeant les fruits et les légumes dans de l'eau très chaude (> 90° C).

L'inconvénient de cette méthode, c'est que de nombreuses vitamines sont détruites par l'eau bouillante. C'est pourquoi il vaut mieux blanchir les produits à la vapeur.

Comment blanchir ?

On met les fruits ou les légumes dans la passoire (un torchon en lin muni d'un cordon fera aussi l'affaire), on ajoute de l'eau au-dessus des aliments. On porte à ébullition, on cuit pendant 2 à 5 minutes maximum, on écume si besoin. Puis on arrête la cuisson, on rafraîchit en rajoutant de l'eau froide courante, en veillant à ce que l'eau de rinçage puisse s'écouler, et on égoutte. On peut aussi utiliser un récipient d'eau potable à condition qu'elle soit fraîche et propre. Pendant le blanchiment, il faut surveiller le temps et la température de l'eau.



On peut également les exposer à la vapeur, ce qui ramollit les produits et élimine les enzymes, mais garde plus de vitamines intactes. Les légumes feuillus perdent de leur volume et **une partie des micro-organismes meurt.**

Deux paramètres seront à surveiller.

- **La dureté de l'eau :** les ions calcium et magnésium contenus dans l'eau ont la propriété de réagir avec les composés pectiques constituant les parois cellulaires des végétaux. Ils produisent en pratique un renforcement des structures du légume et un raffermissement du produit. Ainsi, en pratique, les légumes blanchis à l'eau dure sont plus fermes et les légumineuses perdent moins leur amidon dans le liquide de couverture (donnant des jus moins troubles). Une eau très dure peut entraîner une fermeté excessive du produit. Dans la conduite du blanchiment, **le contrôle de la dureté de l'eau** est nécessaire pour maîtriser la fermeté du légume. L'ajout de sel de calcium permis par la réglementation peut être nécessaire pour maintenir une texture optimale.
- **La durée et température :** les moyennes sont de 4 minutes et 90 à 95 °C. Ces valeurs moyennes dépendent également de la variété et du degré de maturité. En général, le temps augmente si la maturité est très poussée. Le blanchiment doit être très sévèrement conduit, et l'ustensile soigneusement nettoyé et désinfecté fréquemment, sans quoi il peut devenir contaminant. La qualité de l'eau est déterminante.

3.3.6.5. Techniques industrielles

Le blanchiment par immersion dans l'eau chaude : les blancheurs à vis hélicoïdale sont les plus utilisés. Une vis hélicoïdale partiellement ou totalement immergée fait avancer le produit dans l'eau chaude. Il faut une eau peu calcaire et gardée propre par un renouvellement fréquent. Cette technique produit de gros volume d'eau résiduaire.

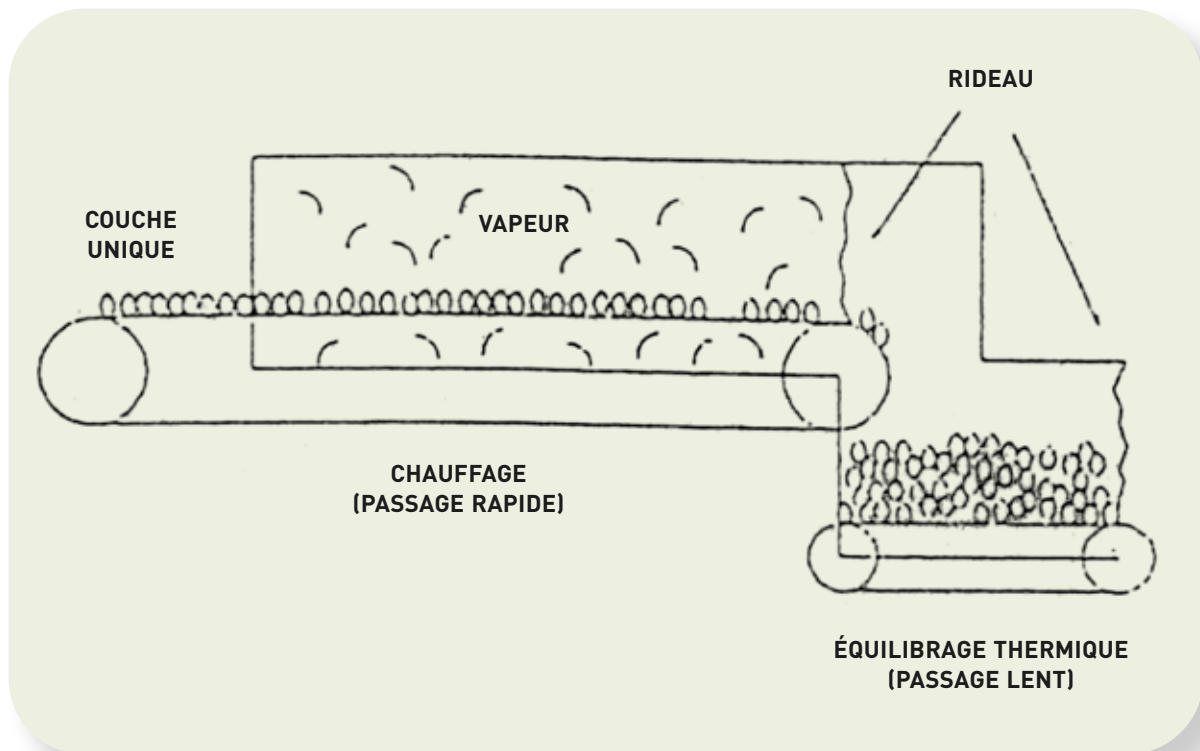
Le blancheur à vapeur le plus rudimentaire est un simple tunnel d'une quinzaine de mètres de longueur dans lequel le produit est véhiculé sur un tapis transporteur, traverse une atmosphère de vapeur. Le temps de séjour du produit dans le blancheur est réglé par la vitesse du tapis. Les constructeurs ont cherché à améliorer les blancheurs à vapeur en améliorant les rendements énergétiques et en augmentant les vitesses de transferts de chaleur.

Le blancheur à lit fluidisé : le produit est traversé par un mélange ascendant d'air et de vapeur chauffé à 95 °C et pulsé à 4 à 5 mètres par seconde. La vitesse est suffisante pour maintenir le lit de produit en suspension. Dans le cas des petits pois, le temps de séjour n'est que de 45 secondes : la rapidité du traitement, qui est particulièrement homogène, limite l'effet d'extraction, donc la charge des effluents. Malheureusement, la technique ne peut être appliquée qu'aux petits légumes ou à des cubes de légumes de petites dimensions.

Le procédé I.Q.B. (Individual Quick Blanching) : les légumes (petits pois, cubes de carottes, etc.) disposés en une couche unique, traversent un flux de vapeur vive à 100 °C (temps de séjour : 30 à 300 secondes), puis ils tombent dans une enceinte isotherme (chambre adiabatique, c'est-à-dire impénétrable à la chaleur, aucun échange de chaleur avec l'extérieur) où ils s'accumulent sur un tapis à déplacement lent (temps de séjour : 30 à 540 s). Au cours du séjour du produit dans la chambre adiabatique, s'établit un équilibre thermique par diffusion de la chaleur de la surface vers le cœur. Alors que, dans les procédés classiques, l'exposition à la vapeur dure jusqu'à ce que la température de blanchiment souhaitée soit atteinte à cœur, dans le procédé I.Q.B., l'exposition est beaucoup plus courte, ce qui entraîne les conséquences suivantes :

- économie d'énergie,
- diminution de 40% du volume des effluents et de 20% de la charge en matières organiques des effluents.

Le convoyage des légumes dans la zone de chauffage peut être linéaire, sur treillis métallique, ou disposé en spirale avec transport des légumes par vibrations.



Principe du blanchiment I.Q.B. (Cheftel)

Du fait de la disposition des légumes en couches uniques, les blancheurs I.Q.B. présentent l'inconvénient d'être encombrants au sol

L'efficacité du blanchiment peut être contrôlée d'après l'inactivation ou la persistance de deux enzymes : la catalase et la peroxydase. Les traitements de blanchiment appliqués en pratique assurent une inactivation complète de la catalase mais seulement partielle de la peroxydase.

3.3.7. Second triage d'après la qualité et par grosseur

Bien que le produit ait été trié sur le terrain ou à son arrivée au centre d'emballage, il peut subir un nouveau triage selon la qualité et la grosseur, immédiatement avant d'être emballé. Dans les petits établissements, le meilleur moyen de procéder au tri et au calibrage est de travailler à l'œil nu et à la main en s'aidant d'anneaux de calibrage ou de gabarits.

3.3.8. Application de cire

L'application de cire ou d'autres revêtements (ex.: cire d'abeille – E 901–, cire de carnauba – E 903 –, résine de shellac²¹ –E 904 – et cire microcristalline –E 905) pour améliorer l'aspect et limiter la déperdition d'eau du produit exige des équipements spéciaux et, à ce titre, n'intéresse guère les petits établissements d'emballage.



Résine de shellac

21 Laque issue de la sécrétion d'une cochenille asiatique, *Kerria lacca*.

3.4. LES RÈGLES GÉNÉRALES D'HYGIÈNE

3.4.1. Introduction

La documentation et la littérature relative à l'hygiène des aliments sont abondantes, car le domaine a fait l'objet de beaucoup d'attention de la part tout d'abord de comités internationaux (comme le **Comité conjoint OMS/FAO du *Codex Alimentarius***²²). Le *Codex* compte aujourd'hui plus de 20 comités qui sont actifs dans des domaines spécialisés (hygiène, pesticides, additifs, étiquetage...)²³.

Nous n'allons pas, dans ce chapitre, reproduire dans le détail l'ensemble des recommandations spécifiques en matière d'hygiène, d'organisation du travail, de réalisation des infrastructures, de nettoyage et désinfection des lieux de travail, d'hygiène du personnel, etc., car elles existent dans les «Codes d'usage» du *Codex Alimentarius* comme dans les Guides de Bonnes Pratiques (ex. : Guide BTSF – *Better Training for Safer Food*: Guide d'application – Guide de Bonnes Pratiques d'Hygiène et HACCP, CE-DG SANCO).

Il est préférable de citer les sources et d'indiquer les liens vers les documents à télécharger d'une part, et de se limiter d'autre part à rappeler certains principes essentiels.

3.4.1.1. Les recommandations générales issues du *Codex Alimentarius*

Les textes et les normes du *Codex* (ex. : les LMR proposées par le *Codex*) sont **de nature volontaire**. Ils doivent être transposés dans la législation nationale pour avoir force exécutoire. Nombreuses sont les autorités compétentes des États qui ont légiféré sur l'hygiène, et les domaines apparentés, **en intégrant le plus souvent dans leur législation locale les recommandations du *Codex Alimentarius***.

Les lignes directrices générales, codes d'usages et normes sont les textes de base du *Codex* et s'appliquent à tous les produits et catégories de produits. Ils traitent en général de questions portant sur les usages en matière d'hygiène, l'étiquetage, les inspections et certifications, la nutrition et les résidus de médicaments vétérinaires et de pesticides.



22 Tous les documents du *Codex Alimentarius* sont accessibles et téléchargeables en PDF sur le site www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/fr/.

23 Pour aller plus loin, consulter le récent document «La science des normes alimentaires», *Codex Alimentarius*, 2017.

- Les «**Lignes directrices**» du **Codex** donnent notamment des recommandations générales pour l'application des principes généraux d'hygiène des denrées alimentaires. Citons, par exemple :
 - les principes et directives concernant les systèmes nationaux de contrôle des aliments ;
 - les principes et directives pour la gestion des risques microbiologiques (GRM) ;
 - les principes applicables à la traçabilité/au traçage des produits en tant qu'outil d'un système d'inspection et de certification des denrées alimentaires ;
 - les principes et directives sur l'échange d'informations entre des pays importateurs et exportateurs pour soutenir le commerce alimentaire ;
 - les principes applicables à l'inspection et à la certification des importations et des exportations alimentaires ;

Toutes les Lignes directrices sont accessibles sur

www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/guidelines/fr/.

- Les «**Codes d'usage**» du **Codex** complètent les Lignes directrices en les appliquant à des produits spécifiques. Le *Codex* a ainsi publié des «Code d'usages en matière d'hygiène» généraux, mais aussi spécifiques à certains produits végétaux. Citons par exemple les suivants.
 - Les **Principes généraux d'hygiène alimentaire** (CXC 1-1969, avec les dernières modifications en 2003) : ils définissent, par exemple, les principes essentiels applicables d'un bout à l'autre de la chaîne alimentaire (depuis la production primaire jusqu'au consommateur final) pour assurer que les aliments soient sûrs et propres à la consommation humaine et constituent donc le fondement de toutes les règles relatives à l'hygiène. **C'est le document le plus important à consulter par les producteurs et transformateurs de denrées alimentaires !**
 - Le Code d'usages en matière d'hygiène pour les fruits et légumes frais (CXC 53-2003, 2017).
 - Le Code d'usages en matière d'hygiène pour les fruits séchés (CAC/RCP 3-1969).
 - Le Code d'usages pour l'emballage et le transport des fruits et légumes frais (CXC 44-1995).
 - Le Code d'usages concernant les mesures prises à la source pour réduire la contamination chimique des aliments (CXC 49-2001).

Tous les Codes d'usage sont accessibles sur

www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/codes-of-practice/fr/

- **Les normes du Codex** doivent être transposés dans les réglementations nationales. Le *Codex* a publié un **très grand nombre de normes** pour les produits végétaux frais ou secs non transformés, mais aussi, par exemple :
 - pour les confitures, gelées et marmelades (CXS 296-2009, 2017)
 - pour certains légumes en conserve (CXS 297-2009, 2015)
 - pour les jus et nectars de fruits (CXS 247-200, 2005)
 - pour les fruits et légumes marinés fermentés (CXS 260-2007, 2017)
 - pour les tomates en conserve (CXS 13-1981, 2017), etc.
 - Toutes les normes sont accessibles sur www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/fr/.

3.4.1.2. *Les recommandations générales du COLEACP pour la production primaire*

Les règles générales relatives à l'hygiène ont été présentées dans le détail dans le manuel du COLEACP, *Principes d'hygiène et de management de la qualité sanitaire et phytosanitaire*, notamment aux chapitres 1, 2 et 3.

Ces chapitres décrivent plus particulièrement les règles d'hygiène pour la production et le conditionnement des fruits et légumes frais, non transformés, avec une contextualisation prenant en compte les conditions de travail dans les pays ACP. Il est donc conseillé de s'y référer également pour tout ce qui a trait :

- aux mesures d'hygiène relatives aux conditions de production (notamment les sites de production et leur environnement) ;
- aux mesures relatives à l'hygiène du personnel (notamment pendant les opérations de récolte et de premier tri) ;
- aux mesures d'hygiène relatives aux installations et aux équipements ;
- aux mesures de maîtrise de la qualité des eaux ;
- aux mesures d'hygiène relatives au transport et à l'entreposage ;
- à la traçabilité²⁴ ;
- à la formation du personnel.

3.4.2. **Rappel des règles de base applicables à tous et sur toute la chaîne de production**

Les règles relatives à l'hygiène concernent aussi bien les producteurs, les transformateurs, les fournisseurs, les exportateurs, les grossistes, les transporteurs, les distributeurs... que **de manière générale tout opérateur qui intervient dans la chaîne alimentaire**. Au final, le consommateur est également responsable d'assurer que ses aliments restent consommables sans risque d'intoxication en les manipulant et en les conservant dans des conditions suffisantes d'hygiène.

24 À compléter aussi par le manuel du COLEACP, *La traçabilité*.

Faute de ressources ou de qualifications adéquates, **les petits producteurs** ignorent souvent ou **estiment très mal les risques** chimiques, biologiques ou physiques, qui peuvent provenir des différentes étapes du processus de production. Mais, même si certaines origines de contaminations microbiennes ou chimiques ne sont pas aisément prévisibles ni totalement contrôlables, comme le transport des germes par l'air ou la pollution atmosphérique, il est possible pour tous les «opérateurs» actifs dans la chaîne alimentaire de **limiter considérablement le risque au niveau de la production et du conditionnement** en appliquant une série de mesures de base relatives à l'hygiène.

- **Règle n° 1**

Les fruits et les légumes peuvent être contaminés en n'importe quel point du processus: durant la production, la manutention, le transport, le conditionnement ou le stockage des produits. Les mesures d'hygiène s'appliquent donc en tout point de la chaîne et concernent tous les opérateurs impliqués dans le processus, depuis la parcelle jusqu'au consommateur. Chacun d'entre eux est responsable de l'application des mesures d'hygiène recommandées là où il peut contrôler la situation.

- **Règle n° 2**

En matière de contamination chimique, physique ou microbiologique des fruits et des légumes, les mesures préventives sont toujours préférables aux mesures correctives. Pour des produits consommés frais, sans cuisson ni transformation post-récolte, la qualité du produit récolté est capitale pour la conformité du produit fini. La transformation des produits peut améliorer la qualité sanitaire en détruisant une partie ou la totalité de certains microorganismes mais elle ne pourra jamais supprimer totalement certains contaminants.

- **Règle n° 3**

Un système de management de la qualité sanitaire et phytosanitaire efficace doit inclure un programme de surveillance et de contrôle portant sur l'ensemble du processus de production (exploitation agricole, aires de conditionnement, aires de stockage, salles, centre de distribution et filière de transport). Cela nécessite de faire appel à un personnel qualifié, capable de respecter les bonnes pratiques recommandées et de mettre en place la surveillance requise et de procéder aux vérifications de façon systématique.

- **Règle n° 4**

L'hygiène des employés et les pratiques sanitaires sur les lieux de production sont des facteurs essentiels de maîtrise de la contamination des produits. En matière de risque biologique, les excréments humains ou animaux ainsi que les eaux souillées constituent la première source de contamination des produits par des agents pathogènes.

- Règle n° 5

Selon sa source et sa qualité, l'eau peut contaminer les produits avec lesquels elle entre en contact. Il faut réduire au maximum ce risque de contamination.

- Règle n° 6

La qualification du personnel est une condition préalable à la maîtrise des risques chimiques. En matière de risque chimique, le respect des bonnes pratiques agricoles et une utilisation raisonnée des intrants (engrais et produits phytosanitaires) sont les garants du respect des normes autorisées.

3.4.3. Les principes généraux d'hygiène selon le Codex

Les principes généraux d'hygiène ont été décrits par le *Codex Alimentarius* et sont aussi repris dans de nombreux «Guides de Bonnes Pratiques d'Hygiène». Ces principes généraux d'hygiène portent principalement sur **les points suivants**.

1. Les mesures d'hygiène relatives aux **conditions de production** (salubrité des lieux d'exploitation: des champs ou vergers, des salles de tri, des salles de transformation, de la salle d'emballage et de conditionnement).
2. Les mesures relatives à l'**hygiène du personnel** (état de santé, propreté corporelle, vêtements, accès aux installations...).
3. Les mesures d'hygiène relatives aux **installations**: propreté des équipements et appareils utilisés (matériel de stockage, appareils de tri, de calibrage, etc.).
4. Les aspects relatifs à la **manutention**, au transport et au stockage des produits.
5. Les aspects relatifs au **contrôle des opérations** (matières premières, qualité de l'eau...).
6. Les aspects relatifs aux **entretiens**, aux opérations de **nettoyage** et à la gestion des **déchets**.
7. Enfin, parmi ses «principes généraux», le **Codex recommande aux producteurs de recourir à la méthode HACCP** en tant que moyen d'améliorer la salubrité des aliments et y indique comment mettre les principes d'hygiène en application.

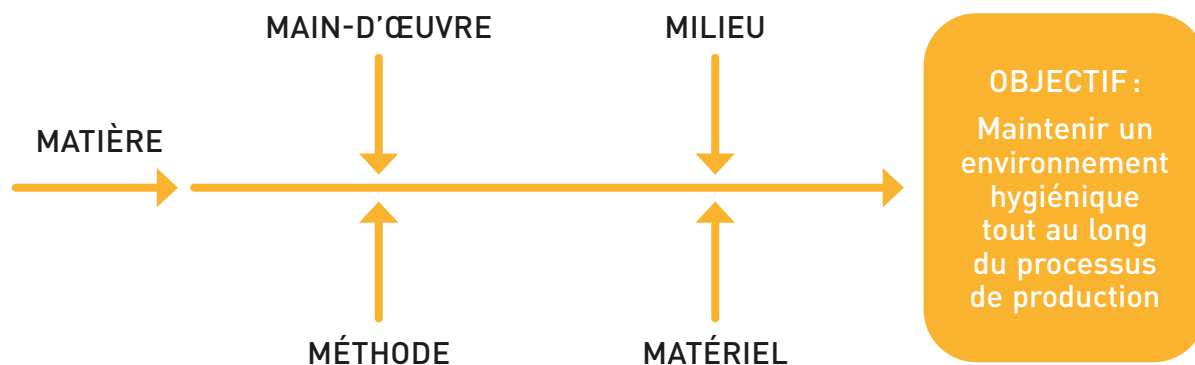
On y ajoutera des recommandations générales sur la **traçabilité des produits** et la **formation** du personnel. Il est recommandé de se rapporter aux documents et codes d'usage du *Codex* pour plus d'information. Les «Principes généraux» du *Codex* fournissent aussi des **directives pour l'élaboration de «critères d'hygiène» spécifiques**.

Cependant, chaque secteur de la chaîne alimentaire met en œuvre des produits dont les caractéristiques (périssabilité, sensibilité aux microbes, conditions de stockage...) et des procédés qui lui sont propres. Il est donc intéressant que chaque secteur professionnel rédige un «**Guide de Bonnes Pratiques**» adapté aux dangers de ce secteur, au niveau de risque estimé dans les conditions de production, et aux mesures de maîtrise à mettre en œuvre et qui conviennent aux professionnels de ce secteur.

3.4.4. L'approche globale selon la méthode dite « des 5 M »

Les problèmes d'hygiène et de qualité sanitaire étant complexes, ils nécessitent **une approche globale** du fait de la multiplicité des risques à gérer²⁵. Pour analyser les problèmes relatifs à l'hygiène, les industriels utilisent souvent la **méthode dite des « 5 M »** ou diagramme d'Ishikawa. Cette méthode est utilisée pour répondre à la question suivante :

Quels sont les éléments du procédé qui déterminent le risque de contamination ?



La méthode des 5 M (matière (produits), main-d'œuvre, méthode de travail, matériel utilisé, milieu) consiste à passer en revue systématiquement les **facteurs** qui interviennent dans l'hygiène du procédé.

- **Matière (matière première)**

Plusieurs aspects sont à considérer comme : l'origine, la propreté, la conformité, l'étiquetage et les caractéristiques (ex. : la température, la teneur en eau) des produits. Pour ce qui nous concerne, il s'agit non seulement des **produits récoltés** (matière première à conditionner), mais aussi des **intrants utilisés** (semences, eau, engrais, amendements, emballages, produits phytosanitaires...).

- **Main-d'œuvre**

Chacune des personnes qui manipule les produits est potentiellement porteuse de **micro-organismes pathogènes transmissibles par les aliments**. À cet effet, différentes précautions doivent être prises afin de minimiser les risques. Notons que le lavage des mains, ainsi que le comportement du personnel, est la première étape essentielle. La **tenue vestimentaire** fait aussi partie des éléments à souligner. La plupart des consignes relatives à l'hygiène du personnel sont devenues monnaie courante, comme **l'examen médical**, le port d'un tablier, d'une résille afin de recouvrir les cheveux, ou encore l'exclusion de tout bijou lors de la manipulation des aliments.

25 Commission du *Codex Alimentarius* - Code d'usages en matière d'hygiène pour les fruits et légumes frais (CAC/RCP 53 - 2003), 26 pages.

- **Méthode**

Il s'agit de l'ensemble des **procédés** utilisés pour la production (**itinéraire technique**, depuis le semis jusqu'à la récolte), la récolte, le transport et le conditionnement jusqu'à l'expédition du produit. Il s'agit entre autres de respecter les « GMP » ou **Bonnes Pratiques de Production**.

- **Matériel**

Tout matériel (**équipement, ustensile et matériau d'emballage**) est susceptible de contaminer les aliments s'il n'est pas entretenu adéquatement ou adapté à l'usage. Pour ce faire, il ne suffit pas de les laver correctement. L'entreprise doit également inclure dans les tâches du personnel de penser à la maintenance des machines, des appareils d'épandage, des moyens de transport et des chambres froides (dégivrage, nettoyage, désinfection).

- **Milieu**

Les lieux de travail, qu'il s'agisse des champs ou de la station de conditionnement, doivent rester **propres et protégés** de l'intrusion des nuisibles. Il est primordial de faire en sorte, par exemple, d'ajuster et de fermer les portes et les fenêtres, de vérifier l'hygiène des locaux et de l'ensemble du plan de travail, de s'occuper des tuyaux d'évacuation des eaux, des dépôts de déchets, de la ventilation et de l'éclairage.

3.5. APPLICATION DES RECOMMANDATIONS D'HYGIÈNE DE BASE OU MISE EN PLACE DE PRP DANS LES ENTREPRISES

3.5.1. Définition des PRP

Dans le secteur alimentaire, l'application de la méthode HACCP²⁶, y compris en production primaire, est **vivement recommandée**, car elle est considérée comme la référence universelle au plan international en matière de mise en place d'un système de management de la sécurité des aliments. Aujourd'hui, ce type de démarche trouve aussi son **intérêt pour la lutte phytosanitaire** contre les organismes nuisibles.

Cependant, son application dans une entreprise n'apporte pas à elle seule de garantie de maîtrise de la qualité sanitaire et phytosanitaire des produits. Avant de songer à entamer une démarche HACCP dans son entreprise, **l'exploitant devrait avoir mis en œuvre des « programmes requis préalables » (PRP)** (en anglais *Pre-Requisite Program*).

Le producteur doit donc avoir d'abord réuni « les conditions et activités de base nécessaires pour maintenir tout au long de la chaîne alimentaire un environnement hygiénique approprié à la production, à la manutention et à la mise à disposition de produits finis sûrs et de denrées alimentaires sûres pour la consommation humaine » (norme ISO 22000).

Les PRP renvoient aux **mesures de maîtrise générales** (ou transversales), c'est-à-dire celles qui ne sont **pas spécifiques à une étape du processus de fabrication**. Selon la norme ISO 22000, ces mesures générales concernent **10 points d'attention**.

1. La construction et la disposition des bâtiments et des installations associées.
2. La disposition des locaux, notamment l'espace de travail et les installations destinées aux employés.
3. L'alimentation en air, en eau, en énergie et autres.
4. Les services annexes, notamment en matière d'élimination des déchets et des eaux usées.
5. Le caractère approprié des équipements et leur accessibilité en matière de nettoyage, d'entretien et de maintenance préventive.
6. La gestion des produits achetés (tels que les matières premières, les ingrédients, les produits chimiques et les emballages), des alimentations (en eau, air, vapeur et glace), de l'élimination (déchets et eaux usées) et de la manutention des produits (stockage et transport, p. ex.)
7. Les mesures de prévention contre la contamination croisée.
8. Le nettoyage et la désinfection.

26 *Hazard Analysis Critical Control Points*, que l'on peut traduire comme suit : « Analyse des dangers, points critiques pour leur maîtrise ». « Hazard » se traduit en effet plutôt par « danger » que par « risque » (le danger étant un événement indésirable, alors que le risque est la probabilité que cet événement survienne). La méthode HACCP sera présentée et expliquée au chapitre 5 du manuel du COLEACP, *Principes d'hygiène et de management de la qualité sanitaire et phytosanitaire*. Elle ne sera donc pas développée de nouveau ici.

9. La maîtrise des nuisibles (rongeurs, insectes, oiseaux).
10. L'hygiène des membres du personnel (formation du personnel, mesures d'hygiène individuelle, règles d'habillement, gestion des vêtements du personnel, etc.).

Les PRP nécessaires **dépendent du type d'entreprise et de la filière horticole ou du segment** de la chaîne alimentaire (ex.: production primaire, transformation, conditionnement, etc.). Dans le secteur horticole, on peut grouper et trouver les PRP comme suit: les Bonnes Pratiques Agricoles (BPA), les Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF), les Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH), les Bonnes Pratiques de Distribution (BPD) et les Pratiques de Vente (BPV).

Développer au maximum des programmes requis préalables est très utile pour le producteur et le transformateur, car ils sont doublement intéressants.

- Ils peuvent souvent éviter de recourir à la nécessité de gérer un « Plan HACCP » dans l'entreprise, ce qui facilite grandement la gestion de la qualité sanitaire et phytosanitaire. Quand tous les dangers pertinents sont éliminés ou évités à la source par de « Bonnes Pratiques », il peut arriver qu'il ne reste aucun point critique (CCP) à surveiller.
- Quand ils ne suffisent pas à assurer la maîtrise des risques SPS, ils constituent alors la base d'une application efficace des principes HACCP. La mise en œuvre efficace des PRP facilite l'implantation et permet de réduire le nombre de CCP lors de l'étude du Plan HACCP. Mais, dans certains cas, l'analyse des dangers peut aboutir à une correction des PRP préalablement mis en place.

3.5.2. PRP et PRPo

Les PRP sont parfois divisés en **deux catégories**.

1. Les Programmes d'infrastructure et de maintenance

L'entreprise doit **disposer des infrastructures nécessaires** pour assurer la sécurité des produits et **les maintenir en bon état**. Cela implique que la conception et la construction des bâtiments et des installations, notamment de l'espace de travail et des installations destinées aux employés, soient adaptées aux opérations à réaliser (réception, lavage, triage, transformation, emballage, entreposage...). Cela implique que l'alimentation en air, en eau, en énergie et que les équipements (installation des appareils et accessibilité en matière de maintenance) ne puissent affecter la sécurité des produits.

L'entreprise devra disposer d'une **maintenance préventive, d'un plan de nettoyage, d'élimination des déchets et des eaux usées**.

Au besoin, les infrastructures ou les équipements devront être modifiés pour tenir compte des résultats de l'analyse des risques ou de la capacité de mettre en œuvre les mesures de maîtrise et d'effectuer une maintenance correcte les lieux et des équipements.

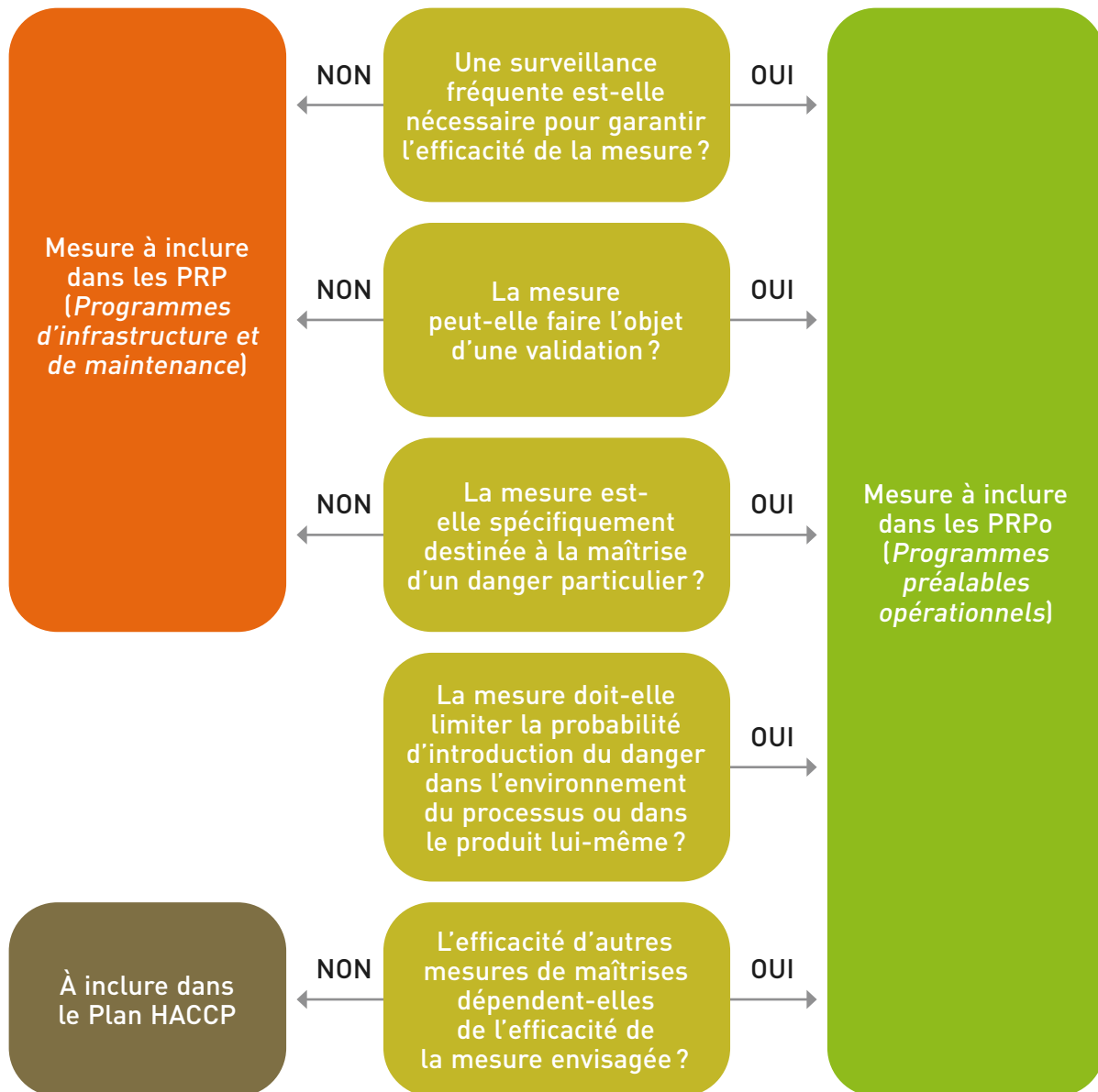
2. Les Programmes préalables opérationnels (ou PRPo)

Les mesures de maîtrise incluses dans les PRPo doivent permettre la **maîtrise de tous dangers qui ne sont pas maîtrisés au niveau d'un CCP** déterminé par le plan HACCP ou quand, pour un danger, aucun CCP ne peut être identifié (norme ISO 22000).

Les éléments suivants doivent être pris en compte dans les PRPo :

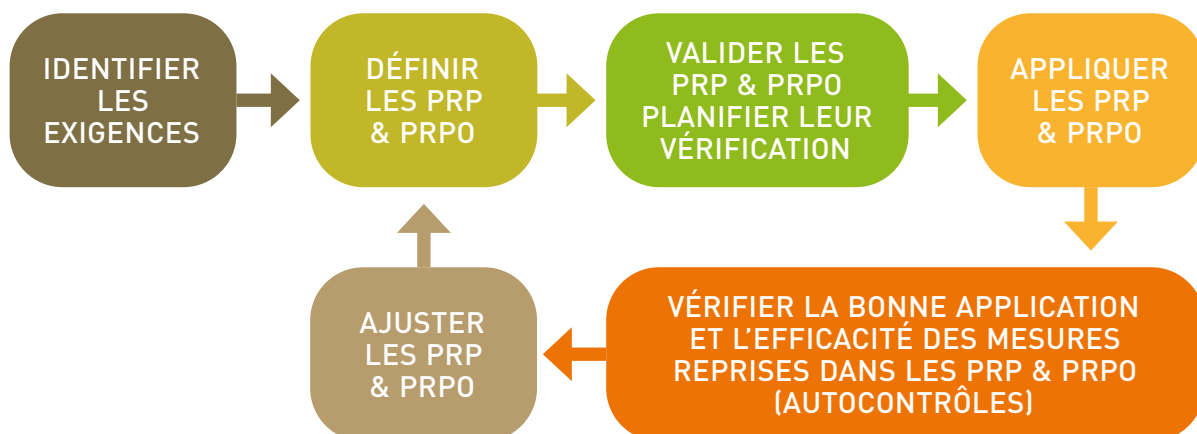
- l'hygiène des membres du personnel ;
- le nettoyage et la désinfection ;
- la désinsectisation ;
- les mesures de prévention contre la contamination croisée ;
- les modes opératoires d'emballage et la gestion des matériaux achetés (tels que les matières premières, les ingrédients, les produits chimiques), des fournitures (eau, air, vapeur, glace, etc.), de l'élimination (déchets et eaux usées) et de la manutention des produits (stockage et transport, p. ex.).

Les PRP opérationnels doivent être validés et documentés sous la forme **d'instructions et de procédures** internes (Manuel Qualité de l'entreprise). Quand le PRP permet de maîtriser efficacement un danger à un niveau acceptable, aucun CCP n'est plus requis pour ce danger ! Par exemple, si on procède à une analyse systématique de la qualité microbiologique de l'eau de lavage des fruits au niveau de la station de conditionnement, le CCP lié à cette opération disparaît dans le Plan HACCP. Dans les petites entreprises, pour lesquelles la mise en place de l'HACCP est délicate et compliquée, le respect des PRP est donc une solution intéressante pour garantir une sécurité des produits. Mais **il est nécessaire que l'efficacité des PRP soit suffisante** pour maîtriser le danger à son niveau acceptable.



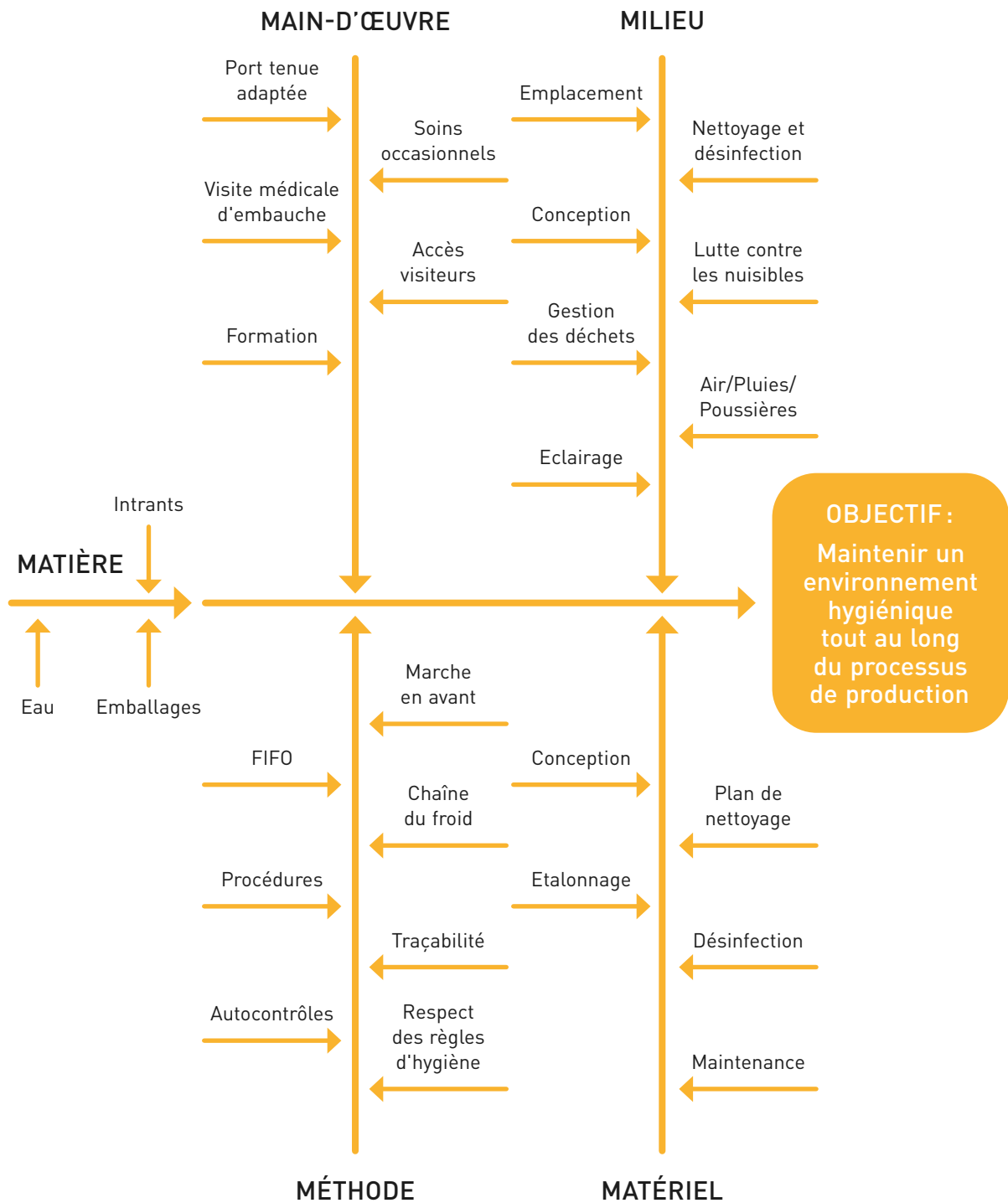
Arbre décisionnel relatif au classement des mesures de maîtrise envisagées : soit dans les PRP, soit dans les PRPo, soit dans le Plan HACCP (d'après la norme ISO 22000)

De plus, les PRP et PRPo doivent s'inscrire dans une démarche globale d'amélioration continue de type « PDCA » (Plan – Do – Check – Act)



3.5.3. Intérêt des Guides de Bonnes Pratiques pour les producteurs

Pour déployer et maîtriser les PRP, l'entreprise peut identifier elle-même ses programmes prérequis en se basant sur les «Principes généraux d'hygiène des denrées alimentaires» du *Codex Alimentarius*, ou encore sur les normes nationales, internationales ou industrielles, etc. (ex. : norme ISO 22000). On peut utiliser, par exemple, le diagramme d'Ishikawa pour identifier les mesures à intégrer dans les PRP (d'après O. Boutou, 2008) :



Cependant, pour simple qu'elle paraisse, la détermination des sources de contamination avec cette méthode, comme celle des mesures de maîtrise appropriées, **ne sont pas simples, ni à la portée de tout producteur.**

Dans ce cas, **l'entreprise qui souhaite mettre en place ses « Programmes Requis Préalables »** (en vue de l'HACCP) **pourra utilement se référer aux « Guides de Bonnes Pratiques »**, applicables en fonction du segment de la chaîne alimentaire et adopter les recommandations de ces guides.

Nous nous contenterons donc de rappeler ci-dessous quelques règles essentielles pour garantir une bonne hygiène.

3.5.3.1. Avant la récolte : respecter les Bonnes Pratiques Agricoles (BPA)

Objectifs : réduire la probabilité qu'un danger puisse compromettre la sécurité des aliments ou leur acceptabilité pour la consommation à des stades ultérieurs du processus. La production primaire devrait être gérée de manière à assurer que les produits récoltés sont salubres et propres à leur usage prévu.

Il faudra, entre autres :

- respecter un « Itinéraire Technique » validé (ex. : ceux du COLEACP), conçus dans le cadre de systèmes de production durable, avec la lutte intégrée contre les bioagresseurs ;
- éviter la production dans des zones où l'environnement constitue une menace pour la sécurité des aliments ; les sources potentielles de contamination par l'environnement doivent être prises en compte dans la mise en place des Programmes prérequis (PRP) et du système HACCP ;
- ne pas effectuer la production primaire dans des zones où la présence de substances potentiellement dangereuses entraînerait des teneurs inacceptables de ces substances dans les denrées alimentaires ;
- prendre des mesures de lutte contre les contaminants, les ravageurs et les maladies des animaux ;
- adopter des pratiques et des mesures visant à garantir que les aliments sont produits dans des conditions d'hygiène appropriées ;
- utiliser de l'eau d'irrigation de qualité appropriée et maîtrisée, et prohiber l'utilisation d'eaux usées non traitées ;
- respecter les conditions d'emploi des produits phytosanitaires, notamment la dose, le nombre maximal d'applications, le délai avant récolte (DAR) et le volume de bouillie recommandé à l'hectare (BPA), et travailler en respectant l'hygiène et la sécurité du personnel (respect des BPP – Bonnes Pratiques Phytosanitaires également) ;
- faire en sorte que l'usage de produits chimiques en production primaire soit l'objet d'enregistrements ;
- adopter de Bonnes Pratiques lors de la récolte et du tri sur place (ex. : protéger les produits des contacts avec le sol ; protéger de la chaleur ; évacuer rapidement les produits).

3.5.3.2. *Après la récolte : respecter les Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF)*

- **Éviter les risques liés à l'environnement des sites, installations et locaux**

- Les sources potentielles de contamination par l'environnement doivent être prises en compte dans la mise en place des Programmes de prérequis (PRP) et du système HACCP.
- Les limites du site doivent être clairement définies et un drainage adéquat doit être en place autour des bâtiments, aires d'entreposage ou de transformation des denrées alimentaires (brutes).
- Il convient de prendre en compte notamment l'usage antérieur du terrain, la nature du sol, l'érosion, la qualité et le niveau des eaux souterraines, l'existence de sources d'eau durables, l'impact sur les surfaces limitrophes.
- L'accès au site de l'établissement doit être maîtrisé et tout hébergement potentiel de nuisibles (terrier, sous-sol, détritux) doit être éliminé.

- **S'occuper de la conception et construction des bâtiments**

Objectifs : le respect de bonnes règles d'hygiène dans la conception et la construction des bâtiments, un emplacement approprié et des installations adéquates sont nécessaires pour permettre une maîtrise efficace des dangers.

Selon la nature des opérations et les risques qui leur sont associés, les locaux, le matériel et les installations doivent être situés, conçus et construits en intégrant les exigences suivantes.

- La disposition interne et le flux du processus de production, des produits et du personnel doivent être logiques et conçus de façon à prévenir toute contamination. Le principe de la « marche en avant » doit être respecté.
- Les zones à haut/bas risques (zones sales/zones propres) doivent être déterminées et séparées de façon adéquate. La disposition doit faire que la contamination (croisée) des aliments soit réduite au minimum.
- La conception et la disposition des lieux doivent permettre un entretien, un nettoyage et une désinfection convenables et minimiser la contamination d'origine atmosphérique. La conception et la construction des bâtiments doivent assurer de minimiser l'accumulation de souillures et débris.
- Les surfaces et les matériaux, particulièrement s'ils sont en contact avec les aliments, ne doivent pas être toxiques pour l'usage auquel ils sont destinés, et, au besoin, suffisamment durables.
- Les structures se trouvant à l'intérieur des établissements de production alimentaire doivent être construites solidement en matériaux durables, et elles doivent être faciles à entretenir, à nettoyer et, le cas échéant, pouvoir être désinfectées.
- Le réglage de la température, de l'humidité, etc., doit être possible.
- La pénétration et l'installation de nuisibles dans les locaux doit être empêchées par des dispositifs efficaces et une bonne surveillance.

- Les denrées alimentaires, les ingrédients et le matériel d'emballage de la poussière doivent être protégés de la condensation, des écoulements, des déchets, des nuisibles ou de toute autre source de contamination chimique, physique ou microbiologique grâce à la conception des installations.
- Les zones d'entreposage doivent être sèches et bien ventilées.
- Les produits chimiques non alimentaires (produits de nettoyage, lubrifiants, carburants, produits phytosanitaires, etc.) doivent être entreposés séparément et dans des bacs de rétention.
- L'approvisionnement en eau potable doit être suffisant et disponible chaque fois que nécessaire, avec des installations appropriées pour le stockage, la distribution et le contrôle de la température de l'eau.
- L'eau utilisée pour le lavage post-récolte doit être potable et, si nécessaire, contrôlée à une fréquence appropriée pour détecter la présence de contaminants.
- L'éclairage, naturel ou artificiel, doit être adéquat pour permettre d'opérer dans des conditions d'hygiène. Les ampoules utilisées au-dessus de la zone de triage, de pesage et de stockage doivent être incassables ou les lampes équipées d'un capot de protection.
- **Organiser l'entretien et l'assainissement des sites et des locaux**

Objectifs: faciliter la maîtrise efficace et continue des dangers pour la santé, des nuisibles (insectes, rats...) et autres agents susceptibles de contaminer les aliments. Il faudra établir des systèmes efficaces pour les raisons suivantes.

- Assurer un entretien et un nettoyage adéquats et appropriés. Les lieux de travail et l'équipement doivent être convenablement entretenus et maintenus en bon état pour faciliter toutes les procédures d'assainissement. Le matériel qui entre en contact avec les denrées alimentaires doit être en matériaux appropriés et conçu, disposé de façon à être facile à nettoyer et entretenir. Le matériel doit être régulièrement examiné, et nettoyé.
- Veiller à ce que les opérations de nettoyage ou de désinfection qui permettent d'éliminer les résidus alimentaires et la saleté ne constituent pas un risque de contamination des produits. Les produits chimiques de nettoyage industriel doivent être manipulés et utilisés soigneusement conformément aux instructions du fabricant.
- Lutter contre les nuisibles. Des mesures adéquates de nettoyage, d'inspection des matières premières et de surveillance doivent être mises en place pour réduire au minimum les risques d'infestation et, par conséquent, limiter la nécessité d'employer des pesticides. Les bâtiments doivent être maintenus en bon état et entretenus, les orifices les écoulements et autres lieux par lesquels les nuisibles sont susceptibles d'avoir accès doivent être maintenus fermés de manière à éviter l'accès des nuisibles et à éliminer les sites de reproduction potentiels. Un plan des appâts doit être disponible.
- Traiter les déchets, et surveiller l'efficacité des méthodes d'entretien et d'assainissement. Des dispositions adéquates doivent être mises en place pour la séparation, l'entreposage et l'élimination des déchets.

- **Veiller à l'hygiène du personnel**

Objectifs: les personnes qui n'observent pas un niveau suffisant de propreté personnelle, qui souffrent de certaines maladies ou affections, ou se comportent de manière inappropriée, peuvent contaminer les aliments et transmettre des maladies aux consommateurs. Il faut faire en sorte que les personnes qui sont en contact direct ou indirect avec les aliments ne risquent pas de les contaminer grâce aux mesures suivantes.

- Le maintien d'un degré approprié de propreté corporelle et un comportement approprié. Les personnes qui manipulent les aliments doivent être correctement formées et maintenir un haut standard de propreté corporelle et, le cas échéant, porter des vêtements, un couvre-chef et des chaussures appropriés. Des règles d'hygiène documentées, basées sur la nature des activités et des dangers potentiels doivent être mises en place et communiquées au personnel par le biais de pictogrammes et d'affichages sur les lieux de travail.
- Des installations permettant le maintien de l'hygiène corporelle (vestiaires, sanitaires, lave-mains). Des installations sanitaires comprenant des dispositifs appropriés pour le lavage des mains, des toilettes et des vestiaires adéquats doivent être disponibles pour garantir un degré approprié d'hygiène corporelle et pour éviter la contamination des aliments.
- La surveillance de l'état de santé et blessures des membres du personnel. Des procédures de surveillance médicale doivent permettre d'éviter que des personnes reconnues ou suspectes d'être atteintes ou porteuses d'une maladie ou affection transmissible ne soient autorisées à entrer dans les zones de manipulation des aliments, s'il existe une possibilité qu'elles les contaminent.
- Des comportements appropriés des personnes qui manipulent les aliments pour éviter leur contamination (fumer, cracher, manger, mâcher, éternuer ou tousser à proximité d'aliments non protégés).
- L'interdiction de porter ou d'introduire des effets personnels, tels que bijoux, montres, épingles ou autres objets, dans les aires de manutention des aliments.
- Les ongles qui doivent être coupés courts, propres et non vernis.
- L'obligation pour le personnel de toujours se laver les mains avant de manipuler des aliments, après avoir manipulé des produits contaminés et au sortir des toilettes pour éviter de contaminer le produit.
- Le port de vêtements de protection par les visiteurs admis dans les aires de transformation, de manutention ou de production, s'il y a risque de contact avec les produits.

- **Assurer et contrôler la maîtrise des opérations**

Objectifs: réduire les risques d'aliments dangereux en prenant des mesures préventives visant à garantir la sécurité des aliments à un stade approprié des opérations par la maîtrise des dangers liés aux aliments.

Produire des aliments nécessite :

- l'élaboration de critères à respecter dans la fabrication et la manutention de denrées alimentaires spécifiques, en ce qui concerne les matières premières, la composition, la transformation, la distribution et l'utilisation finale ;
- la conception, la mise en place, le suivi et la révision de systèmes de maîtrise et de traçabilité efficaces (SMQ), accompagnés de contrôles internes et externes de conformité ;
- la gestion des matières premières entrantes (intrants): aucune matière première ou ingrédient ne doit être accepté si l'on sait qu'il contient des parasites, des micro-organismes indésirables, des pesticides ou des substances toxiques ou étrangères ne pouvant être ramenés à un niveau acceptable par des opérations normales de tri et/ou de transformation ;
- la séparation des différents types de produits afin d'éviter les problèmes de contamination croisée ;
- l'homologation de toutes les matières entrantes et ingrédients susceptibles d'avoir une incidence pour la sécurité des denrées alimentaires pour l'usage prévu (produits de nettoyage, lubrifiants, combustibles, pesticides et autres substances comme les additifs); des procédures en vue de la maîtrise des dangers pour la sécurité des aliments doivent être en place pour la sélection, l'approbation et la surveillance en continu des fournisseurs.
- la mise en place de mesures appropriées, déterminées en fonction de l'analyse des dangers, pour empêcher la présence dans les denrées alimentaires de corps étrangers (éclats de verre, de métaux, poussière, etc.), éviter la chaleur excessive, pouvoir maintenir le froid, etc. ;
- les produits chimiques (additifs, produits de nettoyage, fongicides, cires, etc.) doivent être entreposés séparément, sur bac de rétention et utilisés seulement par du personnel formé.

- **Après le conditionnement : respecter les Bonnes Pratiques de Distribution (BPD)**

Objectifs : en l'absence de mesures efficaces de maîtrise pendant le transport, les aliments peuvent être contaminés ou ne pas atteindre leur destination dans un état acceptable pour la consommation, même lorsque des mesures d'hygiène adéquates ont été prises en amont de la chaîne alimentaire.

Des mesures adaptées doivent être prises tout au long du transport et de la distribution pour :

- gérer les produits selon le principe «Premier entré, Premier sorti» (FIFO – First In – First Out) ou le principe PEPS (FEFO) (Premier produit expirant, Premier sortant) ;
- protéger les aliments contre les sources potentielles de contamination ;
- protéger les aliments contre les dommages susceptibles de les rendre impropres à la consommation ;
- assurer un environnement qui empêche efficacement l'apparition d'agents pathogènes ou de micro-organismes de décomposition et la production de (myco)toxines dans les aliments ;
- assurer une protection adéquate des produits par la conception et les matériaux d'emballage utilisés, afin de réduire au minimum la contamination, empêcher les dégâts et permettre un étiquetage adéquat ;
- éviter les matériaux d'emballage qui pourraient être toxiques ou représenter une menace pour la sécurité et la salubrité ;
- utiliser des emballages réutilisables, suffisamment durables et faciles à nettoyer ;
- mettre à disposition, en fonction de la nature des produits, des dispositifs adéquats pour la réfrigération ou l'entreposage des denrées alimentaires ;
- protéger les denrées alimentaires adéquatement durant le transport afin d'assurer leur sécurité ; les véhicules et conteneurs doivent être conçus et construits de manière à permettre un nettoyage facile et efficace.

3.6. APPLICATION DES PRINCIPES HACCP

Les PRP constituent le socle sur lequel reposent les mesures de maîtrise spécifiques résultant de l'analyse des dangers. Ce sont des prérequis, *stricto sensu*. L'analyse des dangers permet, dans un second temps, de déterminer les dangers pertinents à maîtriser, le degré de maîtrise assurant la sécurité des aliments, et les combinaisons de mesures de maîtrise correspondantes.

La méthode HACCP a été formalisée par le *Codex Alimentarius* et est applicable à tous les secteurs de la production, du transport, du stockage et de la distribution des aliments. Elle permet à un exploitant d'identifier les dangers qui peuvent exister à chaque étape du processus de production, ainsi que les étapes de ce processus pour lesquelles une surveillance et une maîtrise sont critiques pour garantir la sécurité et la salubrité des produits : c'est pourquoi on appelle ces étapes des « CCP » pour *Critical Control Points*. Pour chaque « CCP » identifié, on doit pouvoir fixer des limites qui ne devront pas être dépassées pour assurer la maîtrise de la qualité sanitaire du produit. Un CCP peut d'ailleurs avoir plusieurs limites critiques (ex. : température et durée pour une pasteurisation).

Pour être considérés comme des « CCP », ces « points » du processus doivent pouvoir être **surveillés en continu** de manière à ce que les résultats de la surveillance puissent être comparés à des limites critiques définies.

Les limites critiques sont des critères (quantitatifs ou qualitatifs) qui séparent l'acceptable de l'inacceptable en ce qui concerne la maîtrise de la sécurité et de la salubrité de l'aliment. Or, la propreté de la tenue de travail des opérateurs, leur niveau de connaissance des règles de base de l'hygiène alimentaire, ou encore l'efficacité du plan de nettoyage et de désinfection, **ne peuvent pas être mesurés en continu**. De plus, il serait très difficile de définir une limite critique pour ces éléments. Ce ne sont donc pas des « CCP », et pourtant leur maîtrise est nécessaire **pour garantir la sécurité et la salubrité des aliments**. Il était donc important de définir une notion complémentaire du CCP, il s'agit des programmes prérequis (PRP).

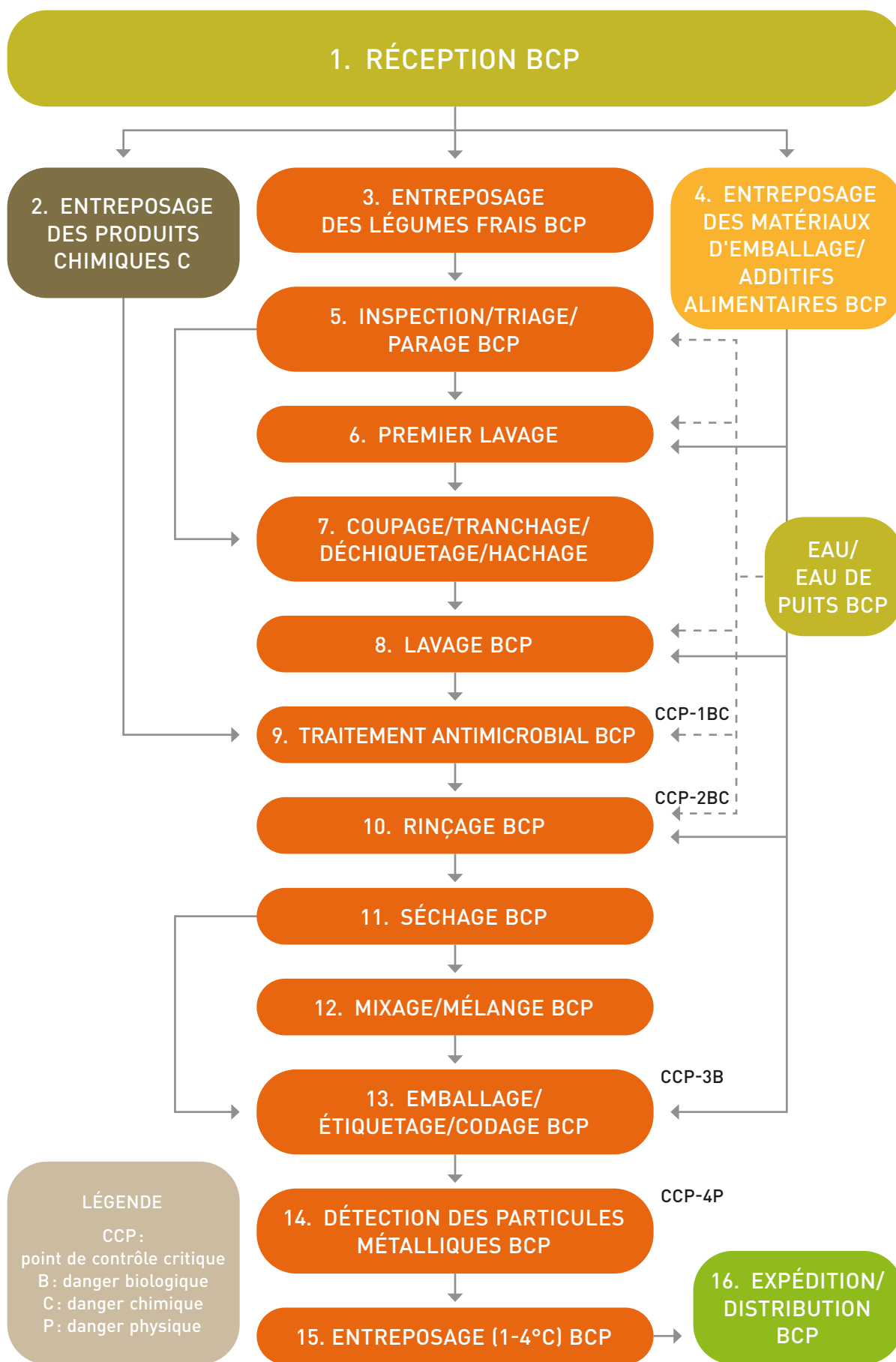


Les 7 principes et les 12 étapes de la démarche HACCP ont été présentés dans le détail dans le manuel du COLEACP, *Principes d'hygiène et de management de la qualité sanitaire et phytosanitaire*, notamment au chapitre 5. Il est conseillé de s'y référer en cas de besoin.

Le système HACCP repose sur les sept principes suivants (*Codex Alimentarius*).

- Principe 1 : Procéder à une analyse des risques
Identifier le(s) danger(s) potentiel(s) associé(s) à toutes les étapes de la chaîne alimentaire, depuis la production primaire, à travers le traitement, la transformation et la distribution jusqu'à la consommation. Déterminer la probabilité de manifestation du(des) danger(s) et identifier les mesures pour leur maîtrise.
- Principe 2 : Déterminer les points critiques pour la maîtrise (CCP)
Déterminer les points, les procédures ou les étapes de traitement qui peuvent être maîtrisés pour éliminer le(s) danger(s) ou minimiser leur probabilité de manifestation. Une «étape» représente toute étape de production alimentaire et/ou de transformation incluant la réception et/ou la production de la matière première, la récolte, le transport, la formulation, le traitement, le stockage, etc.
- Principe 3 : Établir les limites (seuils) critiques
Établir les limites critiques qui doivent être respectées pour garantir que les CCP sont sous contrôle.
- Principe 4 : Mettre en place un système de surveillance permettant de maîtriser les CCP
Établir un système pour surveiller la maîtrise des CCP à l'aide d'observations et d'analyses programmées.
- Principe 5 : Déterminer les mesures correctives à prendre lorsque la surveillance révèle qu'un CCP donné n'est pas maîtrisé
- Principe 6 : Appliquer des procédures de vérification afin de confirmer que le système HACCP fonctionne efficacement
- Principe 7 : Constituer un dossier dans lequel figureront toutes les procédures et tous les relevés concernant ces principes et leur mise en application

Sur base du schéma de production, l'équipe HACCP pourra appliquer l'analyse des dangers et déterminer les «CCP».



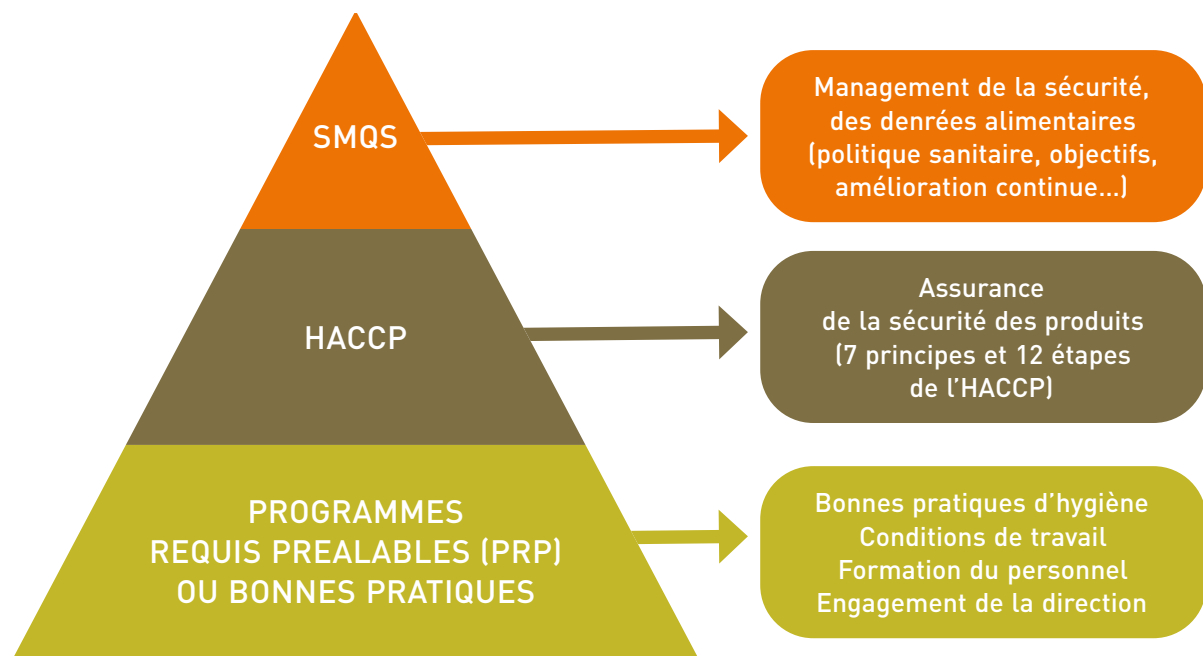
Exemple de diagramme de production repris dans un «Plan HACCP» : différents types de dangers et quatre «CCP» ont été identifiés dans cet exemple

3.7. MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME DE MANAGEMENT DE LA QUALITÉ SANITAIRE ET PHYTOSANITAIRE (SMQS) EN ENTREPRISE

Les PRP fonctionneront mieux et les résultats de l'HACCP seront plus durables dans le cadre d'un Système de Management de la Qualité Sanitaire (SMQS), y compris la traçabilité.

La mise en place d'un SMQS requiert l'engagement sans réserve et la pleine participation de la direction et du personnel, une politique, des objectifs, des analyses de données et une revue périodique du système de management.

Le management de la salubrité et de la sécurité des denrées alimentaires repose donc sur une pyramide dont le socle sont les Bonnes Pratiques (PRP), selon le schéma suivant :





Chapitre 4

Techniques de conservation des produits

4.1. Principes généraux	104
4.2. La conservation par le séchage	109
4.3. Le traitement par la chaleur	116
4.4. Utilisation du froid pour la conservation	123
4.5. Autres techniques de conservation	128
4.6. L'emploi des additifs pour la conservation	139
4.7. Annexes	142

4.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX

4.1.1. Définition et intérêt de la conservation des fruits et légumes

La conservation des aliments comprend un ensemble de procédés de traitement dont le but est de **conserver les propriétés gustatives et nutritives**, et **les caractéristiques de texture et de couleur** des denrées alimentaires, ainsi que **leur comestibilité**, et **d'éviter d'éventuelles intoxications alimentaires**. La principale fonction de la conservation est donc de retarder l'altération des aliments et d'empêcher toute modification de leur goût ou, parfois, de leur aspect. Cet objectif peut être atteint de différentes manières, grâce à des procédés de traitement, comme la mise en boîte (appertisation), la déshydratation (séchage), la fumaison, la congélation, l'emballage et l'utilisation d'additifs tels que les antioxydants ou autres conservateurs.

La conservation est généralement définie comme une méthode utilisée pour **préserver un état existant** ou pour **empêcher une altération** susceptible d'être provoquée par des facteurs chimiques (oxydation), physiques (température, lumière) ou biologiques (micro-organismes). La conservation des denrées alimentaires a permis à l'homme de disposer de nourriture d'une récolte à l'autre. La conservation implique habituellement :

- de retarder l'oxydation des graisses qui provoque le rancissement ou auto-oxydation et l'autolyse par les propres enzymes des cellules de l'aliment ;
- d'empêcher le développement des bactéries, champignons et autres micro-organismes ;
- de lutter contre les ravageurs animaux, notamment les insectes et les rongeurs.

La conservation des denrées alimentaires concerne donc **tous les facteurs biotiques** (micro-organismes, animaux, germination végétale, etc.) et **abiotiques** (lumière, oxygène, chaleur, irradiation, UV...) qui peuvent détériorer la qualité de la denrée stockée.

Il existe de nombreuses techniques de conservation des aliments, depuis la plus simple (ex. : **conserver au naturel** : garder au potager l'hiver, à température ambiante, en clayette ou en silo ; conserver **par l'ajout d'huile, de vinaigre, de sucre, d'alcool ou de sel**) jusqu'à des techniques plus sophistiquées en termes de maîtrise, d'équipement et de consommation d'énergie (ex. : **conserver par le froid** : frigo et congélation ; **conserver par le chaud** : pasteuriser et stériliser). À l'origine de ces techniques, l'objectif était de pouvoir stocker des aliments en période d'abondance et de pléthore, afin d'éviter d'avoir à faire face à la disette ou la famine durant des périodes moins fastes (fin d'hiver, année à faible production...). Plus tard, certaines techniques de conservation ont rejoint les rangs des produits de la gastronomie (ex. : lacto-fermentation ; confitures ; chutneys ; etc.).

Certaines denrées alimentaires ne nécessitent pas de technique de conservation et se conservent d'elles-mêmes, alors que d'autres périssent très rapidement. Les fruits secs, par exemple, les noix et les noisettes, ainsi que les graines peuvent être entreposés dans un endroit sec et frais (une grange, un grenier...), sans subir de dommages, et être ainsi conservés environ un an, voire beaucoup plus (à condition d'être protégés des ravageurs, rongeurs, insectes, oiseaux, etc.). Certains fruits charnus, tels les pommes, peuvent se conserver plusieurs mois dans un fruitier (pour autant qu'elles aient été soigneusement triées au moment de la récolte).

Le développement industriel s'est accompagné du développement du transport (ex. : fret aérien) des aliments entre régions productrices et consommatrices, réduisant dans certains cas la nécessité de la conservation. Manger des ananas frais est plus agréable que consommer des produits en boîte. Transformation n'est pas nécessairement synonyme de meilleure qualité et de valeur augmentée.

4.1.2. Sur quels principes se basent les différentes techniques de conservation ?

Toutes les méthodes de conservation ont pour but de **priver les micro-organismes de l'accès à un des éléments qui leur sont essentiels pour se développer** (nourriture – source de carbone, source d'azote, source de soufre, vitamines, sels minéraux, etc. –, eau, chaleur ou oxygène, sauf pour les bactéries anaérobies). Une fois la privation réalisée, il faudra empêcher les micro-organismes d'y avoir de nouveau accès sous peine de voir le processus de dégradation recommencer (il faudra « conserver » en l'état).

Selon les denrées et les moyens disponibles, **différentes techniques** peuvent être utilisées pour conserver des aliments. Les méthodes courantes de conservation de la nourriture comprennent le séchage ou dessiccation, la congélation, la mise sous vide, la pasteurisation, l'appertisation, l'irradiation et l'ajout de conservateurs. Le fumage introduit des composés chimiques inhibant les micro-organismes, la mise sous vide réduit la quantité d'air donc l'action de l'oxygène, l'ajout de vinaigre rend le milieu acide, l'ajout d'hydroxyde de sodium (soude) rend le milieu trop alcalin pour la croissance bactérienne. Le froid ralentit ou inhibe le développement des micro-organismes, et la chaleur peut les tuer (en tout ou en partie selon la température et durée du traitement).

D'autres méthodes **non seulement aident à maintenir l'aliment, mais aussi lui ajoutent du goût**, comme la salaison, la confiture, le ketchup et le fumage. Les pâtes de fruit, ou les fruits confits utilisent les vertus conservatrices du sucre (le fruit confit perdant l'essentiel de ses composants qui sont en fait remplacés par du sucre).

4.1.3. Principales techniques de conservation

On peut grouper les techniques de conservation en **4 grandes catégories** dans lesquelles on trouve de nombreuses variantes.

- **La conservation par déshydratation des aliments** : la déshydratation réduit la disponibilité en eau des aliments. C'est sans doute la plus ancienne technique.
 - **Séchage**, au soleil ou dans un four : les produits peuvent être simplement étalés ou coupés en lamelles ou séchés en l'état (mangues, figues, dattes, raisins...), éventuellement traités avec une huile alimentaire pour limiter l'oxydation (ex. : tomates séchées).
 - **Lyophilisation** : technique de déshydratation par congélation brutale (entre -40 °C et -80 °C environ) avec sublimation sous vide. Les aliments conservent toute leur saveur ainsi que leurs nutriments. Une fois réhydratés, ils retrouvent presque la même texture d'origine. Cette technique donne des produits de qualité se réhydratant bien, mais reste d'un prix de revient élevé.

Ce procédé de conservation présente plusieurs intérêts : l'activité de l'eau du produit ainsi traité atteint des valeurs suffisamment basses pour inhiber le développement des micro-organismes et stopper les réactions enzymatiques ; la diminution du poids et du volume est une économie importante pour le conditionnement, le transport et le stockage. Cependant, à la suite d'une déshydratation, **un stockage spécifique est nécessaire** pour éviter la reprise rapide d'humidité : silo, emballage étanche, gaz inerte, vide.

- **La conservation par la chaleur** : c'est le résultat du traitement par la chaleur qui définit plus exactement la nature de la conservation par la chaleur, qu'il s'agisse de pasteurisation ou de stérilisation.
 - **La pasteurisation** est une technique qui consiste à soumettre les aliments à une température comprise entre 65 et 100 °C et à les refroidir brutalement.
 - **L'appertisation** (mise en conserve), du nom de l'inventeur Nicolas Appert, en 1795, permet la conservation des aliments dans des emballages étanches pendant une longue période sans conditions particulières (notamment de température). Le procédé fait appel à la **stérilisation** (entre 115 °C et 121 °C), ce qui nécessite des conditions de température et de temps relativement contraignantes.
 - La préparation de la confiture combine deux procédés de conservation : un traitement par la chaleur (cuisson quelques minutes à ébullition) et un mélange des fruits avec du sucre. Les bocaux doivent être ébouillantés avant de les remplir au maximum pour éviter la formation de moisissure.
- **La conservation par le froid** : le traitement par le froid permet de ralentir, voire arrêter, la prolifération et l'action de micro-organismes, et de conserver l'aliment pendant une période plus ou moins longue. On distingue plusieurs techniques.
 - **La réfrigération** : l'abaissement de la température (entre 4 et 8 °C) diminue l'action des bactéries et des enzymes présentes dans les aliments. Elle permet une conservation de quatre à dix jours.
 - **La congélation** : technique qui consiste à abaisser la température de l'aliment et à la maintenir en dessous de la température de fusion de la glace (0 °C), en pratique (dans les congélateurs) entre 0 °C et -15/-18 °C. Si la vitesse de refroidissement est rapide, peu de cristaux de glace se développent, et les tissus cellulaires sont maintenus. Elle permet de consommer les aliments plusieurs années après le début de leur congélation si celle-ci est ininterrompue.
 - **La surgélation** est une technique de refroidissement brutal (-18/-196 °C) puis de congélation à -15/-18 °C.

- **La conservation chimique** réunit plusieurs techniques.
 - **Conservation dans le sel** à sec (salaison) ou en saumure (saumurage) ou utilisation du salpêtre (maintenant les sulfites). L'aliment salé, dur et décoloré, doit être dessalé avant sa consommation. Cette technique qui permet de diminuer l'activité de l'eau est utilisée surtout pour les poissons et les viandes (charcuterie...).
 - **Conservation en milieu acide**, comme le vinaigre. L'acidité modifie l'apparence, la texture, diminue le goût ainsi que le nombre de vitamines (ex. : cornichons, oignons...) dont on ajoute des colorants et du sel pour en relever la saveur et l'apparence.
 - **Conservation dans l'alcool**. Les qualités organoleptiques originelles et les vitamines sont perdues, comme pour les fruits confits. Cette méthode est utilisée surtout pour les fruits.
 - **Conservation dans le sucre** (sucrage). Le sucre étant très hygroscopique, il ne permet pas aux bactéries de se développer. Cette méthode est utilisée surtout pour les fruits (confiture, sirop...).
 - **Conservation dans de l'huile** (tomates séchées à l'huile...).

À noter qu'il existe d'autres techniques que l'on classe dans cette catégorie (fumage ou fumaison, conservation dans de la graisse, conservation par ajout de conservateurs alimentaires), mais qui ne sont pas *a priori* pertinentes pour conserver des fruits ou des légumes.

Il existe aussi d'autres techniques plus rarement employées (parfois utilisées pour certains produits à haute valeur), comme la conservation **sous vide** ou **sous atmosphère protectrice** (azote, dioxyde de carbone).

Toutes les techniques de conservation ne se valent pas, non seulement pour ce qui concerne la valeur nutritionnelle (ex. : conservation des vitamines), mais aussi pour la préparation ou le stockage, avec ou sans consommation d'énergie, pour le maintien du goût d'origine, ou encore pour la facilité de mise en œuvre. Chaque technique a ses avantages et inconvénients.

Voici en résumé une estimation positive (vert), moyenne (orange) ou négative (rouge) de chaque technique

	Conservation des vitamines	Énergie nécessaire	Conservation du goût *	Facilité de mise en œuvre **
Température ambiante, clayette, silo	😊	😊 😊	😊 😊	😊 😊
Congélateur (aliments crus)	😊	😞 😞	😊 😊	😊 😊
Séchage	😊 (fruits acides, champignons) 😞 (légumes)	😊 😊 (solaire) 😞 (artificiel)	😊	😊
Stérilisation	😞 😞	😞 😞 (préparation)	😊 😞	😊
Huile	😊	😞 (préparation)	😊	😊
Vinaigre	😊	😊	😞	😊
Sucre	😞	😊	😞	😊
Alcool	😊	😊 😊	😞	😊
Sel	😊	😊	😞	😊
Lacto-fermentation	😊 😊	😊 😊	😞 😞	😊 😊

* Dire que le goût n'est pas conservé ne veut pas dire que cela devient mauvais, mais simplement que le goût de l'aliment frais varie plus ou moins fortement. Du chou fermenté aura un goût très différent du chou cru, sans pour autant que cela soit moins bon.

** Matériel nécessaire, temps, complexité...

4.2. LA CONSERVATION PAR LE SÉCHAGE

4.2.1. Le séchage des fruits

Le séchage est une des méthodes de conservation les plus anciennes. Le taux d'humidité des produits agricoles baisse de 10 à 15%, ce qui empêche les micro-organismes de se multiplier et neutralise les enzymes. On ne poursuit généralement pas la déshydratation plus loin parce que les produits deviendraient alors friables. Pour éviter que les aliments s'abîment une fois séchés, on les stocke à l'abri de l'humidité.

Le séchage est en principe simple à réaliser. Les produits, en perdant de l'eau, deviennent plus légers, ce qui facilite leur transport. Mais il y a deux inconvénients : les aliments perdent des vitamines et changent d'aspect.

La méthode de séchage la plus courante consiste à exposer les produits à l'air. L'air absorbe l'eau, et plus il sera chaud, plus il en absorbera. Pour obtenir les meilleurs résultats, il faut que l'air soit chaud, sec et en mouvement.

Dans un milieu fermé, l'air doit être renouvelé régulièrement pour éviter qu'il ne soit saturé de l'humidité qu'il a absorbée dans les produits. Il est donc très important de bien aérer. L'humidité relative (HR) doit être inférieure à 65%. Si ce n'est pas le cas, les fruits et les légumes finiront par sécher, mais pas de la façon souhaitée. Lorsque le soleil brille, l'HR est généralement inférieure à 65%, mais quand il y a des nuages et surtout lorsqu'il pleut, elle est en principe plus élevée. La présence du soleil est donc très importante ! C'est pourquoi on ne peut pas sécher les produits de cette façon pendant toutes les saisons.

Avant de les traiter, on lave soigneusement les fruits et légumes et on les coupe éventuellement en morceaux. Il est parfois nécessaire de les préparer pour qu'ils gardent leur couleur et pour réduire au maximum la perte en substances nutritives. La qualité du produit séché dépend d'un grand nombre de facteurs :

1. la qualité du produit à traiter,
2. la préparation du produit,
3. la méthode de séchage utilisée,
4. le conditionnement et les conditions de stockage.

4.2.1.1. La qualité du produit frais

Les fruits et les légumes à faire sécher doivent être de bonne qualité. Il ne faut pas mélanger les fruits pourris ou abîmés et les fruits sains. Pour éviter que le produit perde sa qualité, il faut le **faire sécher le plus rapidement possible après la récolte**. Les fruits fermes et les légumes à racine comestible peuvent naturellement attendre plus longtemps que les fruits plus tendres et les légumes feuillus. La durée séparant généralement la récolte de la consommation correspond à la durée maximum séparant la récolte du séchage.

4.2.1.2. *La préparation*

Le lavage et la découpe

Lavez soigneusement les fruits et les légumes. Ôtez le sable, les taches et les graines. Les fruits épluchés et coupés en morceaux sèchent plus vite. Il est important que tous les morceaux aient environ la même taille, ils sécheront ainsi au même rythme.

Les tubercules et les racines doivent être coupés en tranches de 3 à 6 mm ou en morceaux de 4 à 8 mm d'épaisseur. On coupe les légumes feuillus comme le chou en morceaux de 3 à 6 mm d'épaisseur.

4.2.1.3. *Le séchage naturel*

Le séchage en plein air est une opération simple et bon marché. Elle ne nécessite aucune énergie coûteuse, juste du soleil et du vent. On met le produit que l'on veut faire sécher en couches fines sur des claies ou sur du plastique noir et on l'expose directement au soleil. Les claies sont généralement en bois et doublées de plastique ou de filets galvanisés. Il faut les placer à 1 mètre au-dessus du sol sur des supports reposant sur une surface plane; ainsi, la poussière ne peut pas souiller les produits par en dessous et les aliments bénéficient d'une exposition maximum au soleil.

Si nécessaire, on couvre les claies pour protéger les denrées de la pluie, de la poussière, des oiseaux, des insectes et d'autres parasites. La meilleure protection contre les parasites est une moustiquaire. Il faut retourner régulièrement les fruits, ou du moins secouer de temps en temps les claies pour que les fruits ou les légumes sèchent uniformément. Cette technique ne s'applique pas aux tomates, aux pêches ou aux abricots que l'on coupe en deux avant de les disposer en une seule couche sur les claies.

Les fruits sèchent parfaitement au soleil, mais certains produits s'abîment lorsqu'ils sont exposés directement aux rayons du soleil, et il est donc préférable de les faire sécher dans un lieu ombragé. On attache ensemble les haricots et les poivrons (rouges), par exemple, et on les suspend sous des abris. Cela prend naturellement plus de temps pour faire sécher ces produits.

Dans les régions où il y a de fortes chances qu'il pleuve, il est conseillé de prévoir un séchoir artificiel pour les jours de pluie ou lorsque la HR est trop élevée, ceci pour éviter une interruption du processus de dessiccation et une diminution de la qualité des aliments. En cas de pluie, on couvre les claies (mobiles) avec du plastique ou on les met sous abri. Ensuite, il faut les remettre le plus vite possible dans le lieu de séchage. Cela prend de deux à quatre jours pour faire sécher des légumes tropicaux.

4.2.1.4. *Le séchage artificiel*

Il suffit souvent de faire monter la température de l'air extérieur de quelques degrés pour permettre le séchage. Par exemple, lors d'une averse à 30 °C il faut chauffer l'air à au moins 37 °C pour qu'il puisse sécher les fruits ou les légumes. En le chauffant davantage, on augmente la vitesse de séchage parce que :

- l'air absorbe alors plus d'eau ;
- le produit libère plus rapidement son eau à des températures plus élevées.

On fait chauffer l'air à l'énergie solaire ou en faisant brûler des carburants naturels ou fossiles. Il est important de respecter la température maximum de séchage parce qu'au-delà, la qualité du produit séché diminue rapidement. On évite également d'utiliser des températures très élevées, parce que le produit sécherait vite à l'extérieur, mais resterait humide à l'intérieur.

4.2.1.5. *Quand le séchage est-il terminé ?*

Pour pouvoir vérifier si un aliment est suffisamment sec, il faut attendre qu'il soit froid. Un produit encore chaud est plus mou et a l'air de contenir davantage d'eau. Les fruits peuvent contenir de 12 à 14 % d'eau ; les légumes doivent être plus secs et avoir une teneur en eau d'un maximum de 4 et 8 % selon le type, du fait qu'ils contiennent moins de sucre. Il est difficile de mesurer le taux d'humidité des produits sans l'aide d'un four à séchage ou d'un appareil de mesure de l'humidité. On peut toutefois se baser sur les principes suivants.

Fruits

- Si on les presse, aucun jus ne doit en sortir.
- Il ne faut pas non plus qu'ils soient desséchés au point d'émettre un bruit sec lorsqu'on vide les claies.
- On doit pouvoir malaxer une poignée de fruits sans qu'ils collent les uns aux autres.

Légumes

- Les légumes verts doivent être cassants et se réduire facilement en poudre.

4.2.1.6. *L'emballage et le stockage*

À la fin de la période de séchage, on enlève tous les éléments indésirables (les queues, p. ex.), ainsi que les morceaux qui ne sont pas suffisamment secs. Les légumes séchés absorbant facilement l'eau de l'air ambiant, du fait qu'ils en contiennent très peu, il faut les conditionner dans une pièce sèche. Il est conseillé de terminer le séchage pendant la partie la plus chaude de la journée, alors que l'humidité relative est au niveau le plus bas. On met à refroidir le produit à l'ombre, et si l'opération s'est faite selon les règles d'hygiène, on peut le conditionner immédiatement.

Le matériau d'emballage doit protéger le produit de l'eau, de l'air et des insectes. Les produits séchés ne garderont leur qualité que s'ils restent secs et à l'abri des insectes. Des sacs en plastique courants, fermés hermétiquement, feront

l'affaire pendant un certain temps, mais ils ne sont pas entièrement étanches au gaz et à l'eau. On peut également utiliser des sacs de cellophane enduits de polymère étanches à l'eau et à l'air. On les ferme à l'aide d'un fer à repasser chaud ou d'une sertisseuse (si on a l'électricité). Malheureusement, ce genre de plastique est plus difficile à trouver et n'est pas très solide.

Le mieux est d'utiliser un sac en plastique plus épais (en polyéthylène de 0,05 mm d'épaisseur). Une attache en métal ou un morceau de ruban adhésif permettent de bien le fermer, mais la qualité de la fermeture dépend de la force utilisée et de la flexibilité du matériau. Il faut là aussi ranger les sacs dans un endroit frais en les protégeant des rats et des souris. Il est conseillé de placer des petits sacs dans un grand bocal ou une grande boîte que l'on fermera également soigneusement. L'utilisation de petits sacs évite que le produit n'absorbe de l'eau lorsqu'on ouvre régulièrement la boîte. Le mieux est de remplir chaque sac de la quantité d'aliments nécessaires pour le repas de la famille.

Les Calebasses peuvent également servir de matériau d'emballage et de stockage. Il faut bien les fermer et les enduire d'huile de lin, de vernis ou d'un autre matériau permettant une fermeture hermétique. Les produits moulus absorbant l'eau plus rapidement, il est préférable de les moulinner juste avant leur utilisation, plutôt que de les stocker sous forme de semoule. Les légumes séchés et conditionnés correctement peuvent se conserver pendant environ un an ; ensuite, leur qualité diminue rapidement. Un stockage au frais (p. ex., dans une cave) permet de les conserver plus longtemps.

4.2.1.7. Exemples

Le séchage des tomates

Utilisez des tomates fermes, pas trop mûres et saines. Lavez-les, coupez-les en deux ou en quatre (ou en morceaux plus petits), puis enlevez les graines. Faites blanchir les morceaux de tomates à 90 °C pendant une minute, puis faites-les refroidir rapidement sous de l'eau courante fraîche. Ensuite, plongez-les pendant 10 minutes dans de l'eau contenant du jus de citron. Égouttez-les et faites-les sécher avec un torchon propre. Placez les tomates sur un morceau de plastique noir et laissez-les sécher au soleil. Retournez-les 2 à 3 fois par jour pour qu'elles sèchent uniformément. Le soir, mettez-les sous abri. Au bout de 2 à 3 jours, elles seront un peu cassantes et le séchage sera terminé.

Le séchage des mangues

Utilisez des mangues fermes, mûres à point. Les variétés Amélie et Kent conviennent particulièrement au séchage. Lavez et épluchez les mangues, puis coupez-les en morceaux d'environ 6 à 8 mm d'épaisseur. Vous pouvez ensuite soit les blanchir dans de l'eau à 56 °C à laquelle vous aurez ajouté deux cuillères à soupe de jus de citron par litre, soit les plonger dans une solution sucrée à 40 % pendant 18 heures, en y ajoutant la même quantité de jus de citron. Dans les deux cas, ajoutez 3 grammes de bisulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) par litre d'eau pour empêcher la décoloration des fruits et les protéger contre les moisissures et les insectes. Rincez ensuite

rapidement les morceaux de fruits avec de l'eau chaude, pour qu'ils ne collent pas les uns aux autres. Enfin, mettez les morceaux de mangue à sécher sur des claies constituées de filets de plastique enduits de glycérine pour que les fruits ne collent pas (les claies en métal provoquent une décoloration rapide des produits, surtout des fruits).

4.2.2. Le séchage des légumes tubéreux amylicés et des oignons

La méthode utilisée pour sécher les tubercules est tout à fait différente de celle que l'on emploie pour les oignons.

4.2.2.1. Séchage des légumes-racines et des tubercules

Le séchage des légumes-racines et des tubercules permet de remplacer et de renforcer les parties lésées de la peau rugueuse, et de protéger à nouveau le produit contre la déperdition d'eau et l'infection par les organismes de décomposition. La principale culture soumise au séchage est la pomme de terre, mais certaines racines et tubercules des tropiques en font également l'objet.

Bien que le détail de l'opération varie selon les produits, **les conditions ci-après doivent toujours être respectées.**

- Les racines et les tubercules doivent être maintenus à une température appropriée, le plus souvent légèrement supérieure à la température ambiante, afin de stimuler la croissance d'une pellicule cicatricielle.
- L'atmosphère doit être humide, mais sans présence d'eau libre à la surface des racines ou des tubercules; la peau ne se renouvellera pas sur les surfaces lésées en atmosphère sèche.
- Une certaine ventilation est nécessaire pour obtenir un renouvellement de la peau, mais une circulation d'air excessive desséchera l'atmosphère et entraînera une chute de température.
- La température doit être régulière; si elle tombe, il y aura condensation d'eau à la surface des racines et des tubercules, ce qui favorisera le pourrissement bactérien.

Toutes les racines et tous les tubercules étant plus ou moins endommagés en cours de récolte et de manutention, **le séchage doit être assuré dans les meilleurs délais.** Pour cela, on peut limiter la ventilation, ce qui permettra d'élever suffisamment la température pour favoriser le séchage. En même temps, l'air se chargera d'humidité compte tenu de la déperdition d'eau normale des racines et du taux d'évaporation élevé des lésions.

Si les conditions de stockage des pommes de terre sont bien connues, celles des **légumes-racines tropicaux** reposent surtout sur des données d'expérience. La durée de stockage des patates douces et des aroïdés, comme le taro et l'igname, est généralement assez courte, étant donné qu'ils sont sensibles à la décomposition après récolte. Le manioc est sujet à une décoloration interne et une décomposition rapide.

Suggestion pour le séchage des racines et des tubercules

Culture	Température (°C)	Humidité relative	Temps de séchage (jours ¹)
Pomme de terre	13-17	plus de 55 %	7-15
Patate douce	27-33	plus de 90 %	5-7
Igname	32-40	plus de 90 %	1-4

1 : En pratique, il faut prévoir au moins sept jours de séchage

4.2.2.2. Séchage des oignons

Les oignons sont soumis immédiatement après la récolte à un processus de séchage complet. Par temps sec et chaud, les oignons récoltés sont laissés au sol pendant quelques jours jusqu'à ce que les tiges vertes, la pelure et les racines soient complètement séchées. Par temps humide, on sera amené à sécher les oignons sur des râteliers ou des plateaux, sous abri. Le séchage des oignons est nécessaire pour les raisons suivantes :

- le col des oignons est très sensible à la décomposition s'il reste humide, surtout si les tiges vertes sont coupées avant la récolte ;
- le séchage des pelures externes des bulbes limite la décomposition et la déperdition d'eau ;
- les racines endommagées au cours de la récolte livrent fréquemment accès à la décomposition si elles ne sont pas immédiatement séchées.

Le fait de couper les tiges vertes des oignons n'est pas recommandé aux petits récoltants, car cela contribue beaucoup à accroître le risque de perte par décomposition si les bulbes ne sont pas rapidement séchés en atmosphère contrôlée. Dans le cas des grandes exploitations à caractère commercial, où l'on sectionne les tiges vertes à la machine avant la récolte, on procède souvent au séchage à la chaleur artificielle, avec ventilation forcée. Cette technique revient trop cher pour la production artisanale.

Les oignons séchés au champ peuvent être stockés pendant deux mois au maximum à la température ambiante sur des plateaux bien ventilés placés sur des palettes, ou encore, toujours dans le champ, liés à un brise-vent. Les oignons séchés ne doivent jamais entrer en contact avec le sol humide.

4.2.2.3. Inhibition de la germination

La germination des pommes de terre et des oignons pose un problème dans les pays où ils peuvent être entreposés jusqu'à huit mois. Le stockage prolongé peut ne pas s'imposer dans les climats plus chauds où les producteurs font généralement plusieurs récoltes par an.

Deux méthodes sont employées pour empêcher la germination.

- La sélection de variétés à longue période de dormance. Les fournisseurs de semences et de plants peuvent être priés de fournir des informations sur les caractéristiques de stockage des variétés produites localement.
- L'emploi d'inhibiteurs chimiques de la germination pour les pommes de terre et les oignons à entreposer. Certains inhibiteurs doivent être appliqués avant la récolte (p. ex., l'hydrazide maléique). D'autres sont mélangés sous forme de poudre ou de granules avec les pommes de terre au moment de l'entreposage. Les inhibiteurs sont rarement utilisés, sauf dans les grandes entreprises de production et de stockage; ils ne devraient être appliqués qu'après consultation des vulgarisateurs agricoles.

4.3. LE TRAITEMENT PAR LA CHALEUR

4.3.1. Introduction

L'une des méthodes les plus courantes et les plus efficaces de conservation des fruits et des légumes consiste à les préparer et à les mettre dans des récipients étanches à l'air, que l'on chauffe.



La température élevée tue les micro-organismes et neutralise les enzymes. Les spores encore présentes ne pourront pas se développer en bactéries et les aliments seront protégés de toute contamination microbienne venue de l'extérieur. Mais il faut noter que **certains micro-organismes sont malheureusement plus résistants à la chaleur** : le *Clostridium* et le *Staphylococcus* peuvent encore se multiplier et abîmer les aliments en produisant des substances toxiques. Le *Clostridium* provoque parfois le botulisme et entraîne des morts tragiques. Cette bactérie a plus de mal à se développer dans des produits acides tels que les fruits (pH < 4,5).

On utilise une méthode différente pour exposer les fruits et les légumes à la chaleur. Comme on vient de le noter, les fruits ont un taux de pH peu élevé et il suffit de les chauffer à la température d'ébullition (100 °C), ce qui est insuffisant pour les légumes parce que leur pH supérieur augmente le risque de contamination bactérienne.

Cette méthode de conservation donne les meilleurs résultats, à condition toutefois d'utiliser **des produits frais** et de bien suivre les instructions. Comme les autres méthodes, elle a des avantages et des inconvénients.

Avantages

- La plupart des micro-organismes sont détruits, ce qui réduit les risques de détérioration.
- Une fois stérilisées et stockées, les denrées alimentaires se conservent plus longtemps et avec moins de risques.

Inconvénients

- Le traitement par la chaleur nécessite les investissements suivants :
 - des récipients de conserve résistants à la chaleur, parfois difficiles à se procurer, tels que des boîtes de conserve ou des bocaux, ces derniers étant préférables parce qu'on peut les réutiliser ;
 - des ustensiles de cuisine, notamment un cuiseur vapeur ;
 - du combustible.
- Ces coûts d'investissement se répercuteront sur le coût final du produit.
- Cette méthode nécessite beaucoup de travail.
- Il faut disposer d'eau propre en grande quantité.

Les fruits et légumes en conserve ont **une valeur nutritionnelle inférieure** et ont généralement moins de saveur **que les produits frais**. Mais le traitement par la chaleur occasionne une moindre déperdition de substances nutritives que les autres méthodes de conservation.

La pasteurisation et la stérilisation sont deux méthodes de traitement des aliments par la chaleur, qui empêchent leur détérioration et permettent de les préparer avant leur conditionnement dans des bocaux ou des boîtes de conserve.

4.3.2. La préparation et les modes de traitements

Avant de chauffer un produit dans le récipient où il sera conservé, il faut le préparer. Une bonne préparation garantit la réussite de toute l'opération. Il existe 3 modes de traitement par la chaleur :

1. la pasteurisation (température jusqu'à 100 °C) : pour les produits que l'on conservera ensuite à des températures inférieures à 20 °C ;
2. la stérilisation à 100 °C : pour les produits acides ;
3. la stérilisation (température supérieure à 100 °C) dans un autocuiseur ou un autoclave (grand autocuiseur).

On chauffe généralement les aliments à conserver dans une grande marmite, **puis on les met en conserve tant qu'ils sont encore chauds, avant de chauffer le tout**. C'est la méthode la plus efficace, parce que c'est **plus rapide** de bien faire chauffer une grande quantité d'aliments dans une grande marmite, en remuant continuellement, plutôt que d'en faire chauffer de petites quantités dans des bouteilles ou des boîtes fermées. **La chaleur met beaucoup plus de temps à atteindre le centre des aliments dans les bocaux.**

Les boîtes ou les bocaux doivent être remplis jusqu'à 0,5 cm du niveau de fermeture. Pour les légumes feuillus, il faudra d'abord verser le liquide, puis ajouter les légumes. **Veiller à éliminer le plus de bulles d'air possible. La température de fermeture est très importante.** Mesurer toujours la température au milieu du récipient. Fermer rapidement et faites chauffer selon les recommandations. Mettre les bouteilles ou les bocaux dans l'eau avant qu'elle ne bouille pour éviter que l'augmentation brutale de température ne casse le verre. Par contre, on peut placer directement les boîtes de conserve dans l'eau bouillante.

4.3.2.1. La pasteurisation

La pasteurisation est un **traitement doux par la chaleur à des températures ne dépassant pas 100 ° C** (ce qui correspond au point d'ébullition de l'eau à une altitude supérieure à 300 mètres au-dessus du niveau de la mer). Cette méthode n'amointrit que légèrement la saveur et la valeur nutritive des aliments. Elle neutralise les enzymes et détruit la plupart des bactéries, mais pas toutes. C'est la raison pour laquelle **les produits pasteurisés s'abîment plus rapidement que les produits stérilisés**. Pour empêcher que les micro-organismes produisent des spores et ne se multiplient, **il faut stocker les produits à des températures inférieures à 20 °C**.

On ajoute souvent une grande quantité de sucre pour prolonger la durée de conservation des fruits. Ils restent alors consommables pendant des mois. **Plus un produit pasteurisé contient d'acide ou de sucre, plus il se conservera longtemps** parce que les micro-organismes restants ne pourront pas se développer.

On pasteurise un produit en le faisant chauffer pendant un certain temps dans une boîte de conserve ou un récipient en verre fermés qu'on placera dans une marmite d'eau chaude. **Le couvercle des bocaux doit être bien ajusté, mais il ne faut pas trop le serrer en le vissant, afin qu'un peu d'air puisse s'échapper lorsqu'on le fera chauffer**. Par contre, il faudra bien resserrer le couvercle dès qu'on aura sorti le bocal de la marmite. Lors du refroidissement du produit, il se formera un vide dans le récipient, ce qui empêchera que les aliments entrent en contact avec l'air et soient contaminés. L'eau contenue dans la marmite doit être chaude et à une température au moins égale à celle des bouteilles et des boîtes une fois remplies. Retirer les bouteilles ou les boîtes dès que le temps conseillé s'est écoulé et laissez-les refroidir.

Tenez compte du fait que plus l'altitude est élevée, plus le point d'ébullition est bas²⁷. Dans les régions situées à plus de 300 mètres au-dessus du niveau de la mer, le point d'ébullition est de 100 °C. À une altitude plus élevée, il faudra prolonger le temps de cuisson, comme l'indique le tableau ci-dessous, afin de compenser le niveau plus bas de la température d'ébullition.

Durée de stérilisation en fonction de l'altitude

Altitude en mètres	Durée de stérilisation en minutes	Exemple
0 - 300	a	a = 10 minutes
300 - 600	a + 1/5 a	total 12 minutes
600 - 900	a + 2/5 a	total 14 minutes
900 - 1200	a + 3/5 a	total 16 minutes

²⁷ Ce point est important à considérer dans un Plan HACCP, l'opération de traitement par la chaleur étant un CCP. Une recommandation générale de température ne peut donc pas être émise, puisque la température d'ébullition peut varier selon la localisation géographique de l'installation.

La pasteurisation exigeant parfois de faire chauffer à 100 °C des aliments que l'on ne pourra conserver ensuite que pendant une période limitée, à des altitudes supérieures à 300 m, il vaut mieux lui préférer la stérilisation (éventuellement sous pression). Les produits qu'il suffit de chauffer à une température inférieure à 100 °C peuvent parfaitement être pasteurisés à des altitudes plus élevées si on parvient à obtenir la température souhaitée.

Les jus de fruits doivent être pasteurisés à des températures comprises entre 60 et 95 °C.

Il faudra toujours cuire les légumes en conserve pendant 15 minutes avant de les manger.

4.3.2.2. La stérilisation dans un bain d'eau bouillante

La stérilisation consiste à chauffer les produits à une température supérieure à 100 °C. Elle tue tous les micro-organismes, **mais pas les spores qu'ils produisent**. Si les conditions sont favorables, ces spores se transforment en bactéries qui détériorent les aliments. Les spores supportant mal les milieux acides, **on ajoute souvent de l'acide** dans les aliments en conserve. **Le sucre a le même effet préventif.**

Par conséquent, en ajoutant du sucre ou de l'acide à un produit, vous garantirez une longue période de conservation à un produit stérilisé.

Mettez les boîtes de conserve ou les bocaux en verre dans un bain profond d'eau chaude. Surveillez le temps dès que l'eau bout. La température d'ébullition dépend de l'altitude où vous vous trouvez. À des altitudes supérieures à 300 mètres, il faudra adapter le temps d'ébullition conformément au tableau présenté. Ensuite, on refroidira les récipients dans de l'eau fraîche qu'on changera de temps en temps pour accélérer le processus de refroidissement. Attendez que les bocaux en verre soient tièdes avant de les mettre dans de l'eau froide.

4.3.2.3. La stérilisation avec un autocuiseur ou un autoclave

La stérilisation, effectuée correctement dans un autoclave ou un autocuiseur, **tue non seulement les micro-organismes, mais aussi les spores**. **Les aliments ont alors une longue durée de conservation, sans qu'il soit nécessaire d'ajouter de l'acide ou du sucre.**

Dans un autoclave ou un autocuiseur, l'eau bout à une température supérieure à 100 °C. Si la pression atmosphérique (au niveau de la mer) augmente de 0,7 bar, l'eau contenue dans ce genre de récipient bouillira à 115 °C; si la pression augmente d'1 bar, **le point d'ébullition sera de 121 °C**. Là aussi, plus on s'élève au-dessus du niveau de la mer, plus la température d'ébullition est basse. Pour compenser cette baisse, il suffit d'augmenter la pression de 0,1 bar par 1000 mètres au-dessus du niveau de la mer. Pour la stérilisation de légumes en boîte, la température peut atteindre 115-121 °C. En général, tous les aliments au pH élevé (ce qui est le cas de la plupart des légumes) doivent être stérilisés à une température supérieure à 100 °C. Nous vous conseillons de vous procurer un autocuiseur.

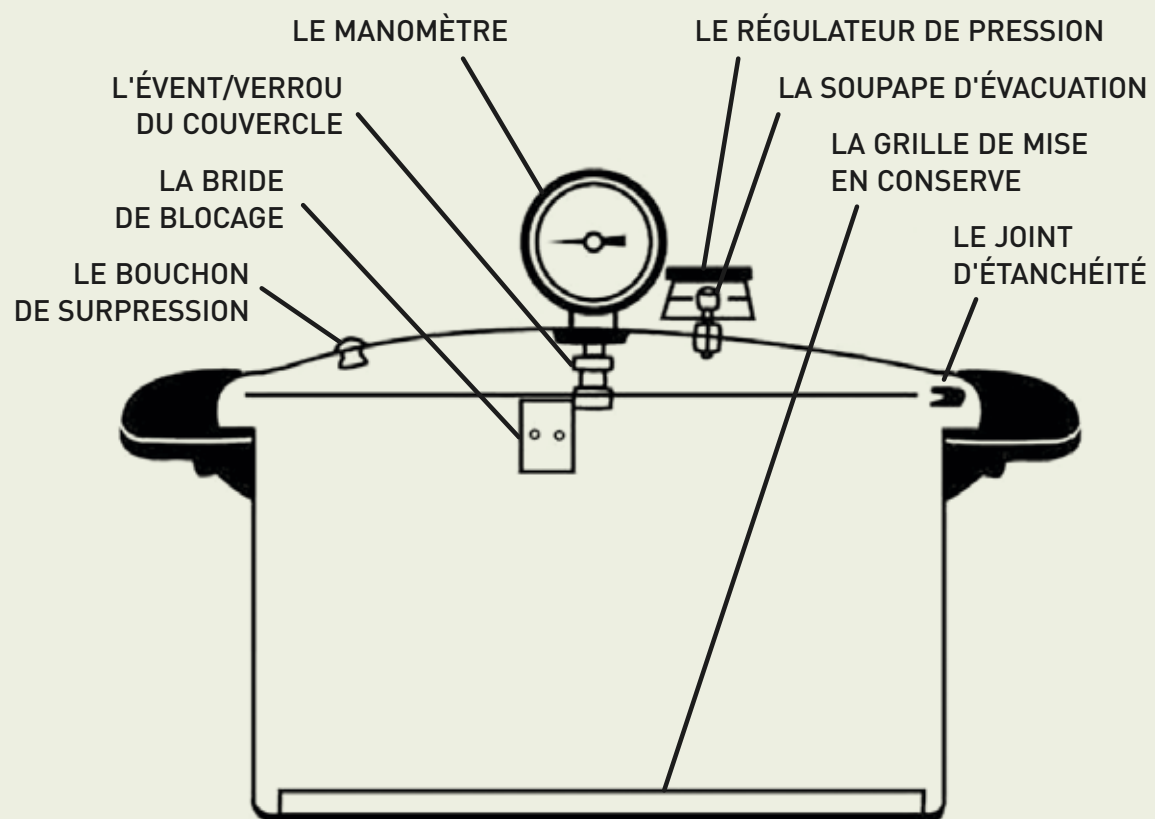


Schéma et image d'un autoclave de table

On suit généralement les instructions suivantes pour stériliser des aliments.

- Placez une grille au fond du récipient pour éviter que les bocaux, bouteilles ou boîtes de conserve soient trop proches de la source de chaleur.
- Ne plongez pas directement les bocaux et les bouteilles dans l'eau bouillante parce qu'ils risqueraient de se fendre. Faites chauffer l'eau du récipient à environ la même température que celle des bocaux ou des bouteilles, avant de les y plonger.
- Ne serrez pas les couvercles à fond pour qu'un peu d'air puisse s'échapper
- Ne serrez pas trop les bocaux ou les bouteilles dans le récipient de cuisson. Espacez-les un peu et veillez également à ce qu'ils ne touchent pas les parois de la marmite.
- Recouvrez les récipients de conserve d'au moins 5 cm d'eau.
- La durée de la stérilisation démarre au moment où l'eau atteint la température souhaitée.
- Pour obtenir le meilleur résultat, utilisez des bocaux de même taille et même volume.
- N'essayez jamais d'ouvrir l'autoclave ou l'autocuiseur lorsque l'eau bout. La pression de la marmite et la température de l'eau élevées rendent cette manœuvre extrêmement dangereuse !

Gardez bien les points suivants en mémoire lorsque vous stérilisez sous pression élevée des aliments contenus dans une boîte de conserve ou dans un récipient en verre.

- **Les boîtes de conserve :** après la stérilisation, laissez la vapeur s'échapper lentement du récipient. Cela peut aller plus vite avec des petites boîtes qu'avec des grandes, mais il faut tout de même procéder lentement et avec précaution pour éviter que les boîtes ne se déforment ou même explosent. Attendez que la pression soit redevenue normale pour ouvrir le couvercle de l'autocuiseur/ autoclave. Enlevez les boîtes et plongez-les dans de l'eau froide que vous renouvellez de temps à autre pour qu'elle reste fraîche. Essuyez les boîtes quand elles sont refroidies.
- **Les bocaux en verre :** attendez que l'autocuiseur se soit refroidi et que la pression intérieure ait diminué pour ouvrir le couvercle. Enlevez les bocaux et resserrez les couvercles immédiatement. L'inconvénient des bocaux en verre, c'est qu'on ne peut pas les faire refroidir rapidement. Le moyen le plus sûr consiste à les placer en plein air jusqu'à ce qu'ils soient tièdes avant de les plonger dans de l'eau froide.

L'avantage d'un autoclave sur un autocuiseur c'est qu'il refroidit plus rapidement. D'un autre côté, l'autoclave nécessite davantage d'eau et donc plus d'énergie pour la chauffer.

4.3.3. Stockage et consommation

Stockez toujours les conserves dans un lieu frais, à une température de préférence inférieure à 20 °C. Protégez les bouteilles et les bocaux en verre de la lumière. Collez une étiquette sur les récipients pour y indiquer leur contenu et la date de mise en conserve. Commencez toujours par consommer les produits les plus anciens. Le lieu de stockage doit être sec et avoir une température constante.

L'humidité ferait rouiller les boîtes de conserve. Examinez bien les récipients avant de les ouvrir: un couvercle bombé ou une boîte déformée sont le signe d'une formation de bulles de gaz sous l'effet de bactéries (*Clostridium*) indiquent que les aliments sont avariés. Regardez attentivement les aliments et sentez-les. Faites chauffer les denrées si nécessaire et ne mangez aucun aliment qui vous semble avarié.



Couvercles bombés sous l'effet de la formation de gaz (botulisme)

N'oubliez pas que la conserve des fruits et des légumes est toujours une entreprise risquée. Suivez bien les indications contenues dans ce manuel et rappelez-vous que la durée de la cuisson indiquée dans les appendices représente le temps minimum requis. Ne faites jamais chauffer les produits pendant une durée inférieure à celle qui est recommandée. Lorsqu'on fait cuire les aliments plus longtemps, les risques de détérioration diminuent, mais aussi la saveur et la valeur nutritionnelle des produits.

4.4. UTILISATION DU FROID POUR LA CONSERVATION

4.4.1. Intérêt du froid et limites de température

Le froid est une technique de conservation des aliments qui arrête ou ralentit l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des micro-organismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des produits frais, végétaux et animaux en limitant leur altération. Mais **le froid ne détruit ni les toxines ni les micro-organismes éventuellement contenus dans les aliments**. La majorité des micro-organismes présents **peuvent donc reprendre leur activité** dès le retour à une température favorable.

La respiration des produits s'accompagne d'un **dégagement d'énergie** sous forme de chaleur, dont la quantité, ou intensité respiratoire, varie selon le type et la variété de produit, le degré de mûrissement, l'importance des meurtrissures et la température du produit. De plus, la plupart des produits se détériorent rapidement si la « **chaleur de récolte** » n'est pas éliminée avant le chargement sur le matériel de transport.

C'est **la température du fruit ou du légume qui influe le plus sur l'activité respiratoire**. Le refroidissement prompt, rapide et uniforme dès la récolte, c'est-à-dire l'élimination de la chaleur de récolte, est cruciale pour abaisser l'intensité respiratoire. Le refroidissement ralentit le processus de détérioration et permet au produit d'avoir une plus grande durée de conservation à l'étalage. La règle empirique veut que, pour chaque heure de retard dans le refroidissement, la durée de conservation du produit diminue d'une journée. La règle ne se vérifie pas pour toutes les cultures, mais elle s'applique surtout aux cultures très périssables par forte chaleur.

En abaissant la température du fruit ou du légume, on réduit aussi le taux de production d'éthylène, la déshydratation, la multiplication des micro-organismes et la détérioration consécutive aux lésions.

L'allongement de la durée de vie des fruits et légumes est essentiellement associé à des niveaux de température à l'intérieur desquels la conservation peut se faire de façon satisfaisante.

- La **limite la plus basse** possible pour ces niveaux est le point de congélation du produit (pas toujours égal à 0 °C), en dessous duquel les cellules végétales sont détruites (avec libération d'enzymes). Étant donné que la plupart des produits sont sensibles aux accidents causés par la réfrigération, il faut prendre soin de **ne pas pré-refroidir ni de stocker les produits au-dessous de la température** recommandée. Souvent, les effets de ces accidents n'apparaissent qu'au stade de la vente au détail. On observe notamment l'absence de mûrissement approprié, la pourriture, le blettissement et la décoloration des fruits et légumes.
- La **limite la plus haute** est moins nettement marquée et correspond à la sensibilité spécifique de chaque produit à l'élévation de la température, comparée à l'objectif de durée que l'on s'est fixé.

4.4.2. Les deux techniques de conservation par le froid

On distingue deux procédés qui utilisent le froid, la réfrigération et la congélation (qui sera développée plus en détails dans un chapitre suivant).

- **La réfrigération** : elle consiste à entreposer les aliments à une **température basse, proche du point de congélation, mais toujours positive** par rapport à celui-ci. Généralement, la température de réfrigération se situe aux alentours de **0°C à +4°C**. À ces températures, la vitesse de développement des micro-organismes contenus dans les aliments est ralentie. La réfrigération permet donc la conservation des aliments périssables à court ou moyen terme. Des règles fondamentales doivent être respectées dans l'application du froid : la réfrigération doit être faite le plus tôt possible après collecte, elle doit s'appliquer à des aliments initialement sains et être continue tout au long de la filière de distribution.
- **La congélation** : elle maintient la température au cœur de la denrée **jusqu'à -18 °C**. Ce procédé provoque la cristallisation en glace de l'eau contenue dans les aliments. On assiste alors à une diminution importante de l'eau disponible, soit à une baisse de l'activité de l'eau (A_w), ce qui ralentit ou stoppe l'activité microbienne et enzymatique. La congélation permet donc la conservation des aliments à plus long terme que la réfrigération. Selon la vitesse de refroidissement des aliments, on distingue deux méthodes.
 - **La congélation rapide ou surgélation**, au cours de laquelle les denrées sont stabilisées par abaissement rapide de la température jusqu'à -18 °C à cœur. Cette technique permet la formation de nombreux petits cristaux de glace qui ne détériorent pas l'aliment. Seul un faible exsudat se produit lors de la décongélation.
 - **La congélation lente**, qui s'applique aux produits qui ne peuvent satisfaire à la vitesse élevée de congélation à laquelle sont soumis les produits surgelés. Mais, dans ce cas, le refroidissement de l'aliment s'effectuant lentement, des cristaux de glace de taille relativement importante par rapport à celle des cellules du produit se forment. Les aiguilles tranchantes des cristaux de glace peuvent percer et déchirer la paroi des cellules peu résistantes et favoriser une certaine exsudation lors de la décongélation.

4.4.3. Pourquoi faire un pré-refroidissement des produits ?

Dans une chambre froide, les produits sont entreposés dans un local froid et **refroidissent lentement et de façon non uniforme**, principalement sous l'effet de la conduction et aussi par contact convectif naturel avec l'air réfrigéré. Or, la plupart des produits se détériorent rapidement si la chaleur de récolte n'est pas éliminée rapidement. Dans la plupart des chambres froides, **la température s'élève à chaque arrivage d'un lot** de fruits ou de légumes tièdes. Si ce réchauffement est important à cause de la capacité insuffisante du groupe frigorifique, les autres fruits ou légumes froids entreposés dans la chambre se réchauffent et transpirent.

L'élimination de la chaleur par un pré-refroidissement a pour but d'amener le plus vite possible le produit à la température requise et à l'humidité relative recommandée pour l'entreposage.

Le pré-refroidissement doit être effectué le plus tôt possible après la récolte et le transport des produits vers la station de conditionnement. Cette opération est indispensable pour maintenir la qualité des fruits et légumes.

Le pré-refroidissement prolonge la durée du produit en réduisant :

- la chaleur de récolte ;
- le taux de respiration (chaleur dégagée par le produit) ;
- la vitesse de mûrissement ;
- la perte d'humidité (le produit se ratatine et se flétrit) ;
- la production d'éthylène (gaz de maturation dégagée par le produit) ;
- la propagation de la décomposition.

Remarques importantes

1. Pour réduire au maximum la « chaleur de récolte » du produit et, par conséquent, la demande de froid que devra satisfaire le matériel de pré-refroidissement, la récolte doit être faite tôt le matin. Les produits récoltés doivent être mis à l'abri du soleil jusqu'à ce qu'ils soient placés dans des installations réfrigérées.
2. Le matériel frigorifique est conçu pour maintenir la température et ne devrait donc pas être utilisé pour éliminer la chaleur de récolte des produits emballés pour l'expédition. En outre, les groupes frigorifiques à défaut de déshumidificateur ne permettent pas d'élever ou de contrôler l'humidité relative.

i

Pour effectuer un pré-refroidissement, il faut disposer d'un « tunnel de pré-refroidissement », mais à défaut on pourra aménager une zone de la chambre froide.

• Le tunnel de pré-refroidissement

- Le refroidissement par air pulsé n'est qu'une des méthodes utilisées pour extraire la chaleur de récolte des produits fraîchement cueillis. Il est applicable à la plupart des fruits et des légumes. Il met en œuvre des **ventilateurs de forte puissance** qui aspirent l'air réfrigéré pour le forcer à passer à travers les tas de produits à refroidir. Le refroidissement rapide et uniforme, de type convectif, résulte de la circulation active de l'air réfrigéré, pulsé à grande vitesse, autour des fruits ou des légumes tièdes. Il permet un refroidissement rapide à des températures très basses.
- L'installation doit être équipée d'une **forte puissance frigorifique** et permettre une **ventilation intense**.

- Il est préférable de faire circuler l'air à travers la masse du produit **en l'aspirant, plutôt qu'en le soufflant**, car il est alors plus facile d'empêcher au maximum l'air réfrigéré de faire des « courts-circuits », c'est-à-dire de l'empêcher de retourner directement au ventilateur sans passer à travers la masse du produit. L'air ne circule pas aussi uniformément quand il est soufflé que lorsqu'il est aspiré à travers le produit. À condition que les contenants aient été conçus en conséquence et qu'ils soient empilés dans le sens voulu, le produit peut être refroidi rapidement et uniformément, qu'il soit dans des paniers, des cageots, des bacs ou des sacs.
- Une enceinte de refroidissement par air pulsé utilise bien plus efficacement l'air réfrigéré qu'une chambre froide. Malgré le surcoût que cela suppose, il vaut mieux aménager une chambre froide réservée au refroidissement par air pulsé et transporter le produit refroidi vers un local réfrigéré où il sera entreposé pendant plus longtemps.
- **Cependant avec cette méthode, il est difficile d'éviter une perte de poids notable des produits.**



Pré-refroidissement dans un tunnel de pré-refroidissement d'oranges et de clémentines, emballées dans des caisses, étiquetées et disposées sur des palettes désinfectées, avant de passer à la chambre frigorifique où elles séjourneront jusqu'à leur expédition.

- **L'aménagement dans une chambre froide**
 - Un compromis consiste à **aménager une aire de refroidissement à air pulsé** en isolant un coin de la chambre froide à l'aide d'une **bâche suspendue au plafond**. C'est une adaptation qui consiste à diriger l'air ambiant à travers les colis en les recouvrant d'une bâche amovible. Cette solution contribue à réduire les fluctuations de température, mais elle doit être considérée comme un pis-aller.
 - Les palettes sont disposées de façon à réserver un canal central de récupération de l'air pour imiter l'effet d'un tunnel de pré-refroidissement.
 - Ce dispositif mobile permet d'utiliser des chambres froides pour la réfrigération rapide.

Nous présenterons en annexe plus d'information sur les vitesses de refroidissement par air pulsé des produits et sur les facteurs qui influencent cette opération.

4.4.4. Rôle de l'emballage dans la chaîne du froid

L'emballage conditionne aussi la conservation du produit : il remplit un grand nombre de fonctions pour les fruits et légumes, surtout quand il atteint le consommateur. Outre la protection contre les chocs et l'attractivité commerciale, l'emballage est **une contrainte incontournable dans la conservation, mais il peut aussi être une cause d'amélioration**.

La phase de conservation entre la récolte et le conditionnement est généralement réalisée dans des contenants intermédiaires, cageots, cartons, caisses, etc. En pratique, **les dimensions de ces contenants seront donc limitées pour tenir compte du dégagement de chaleur respiratoire** : une différence de maximum 0,5 °C entre les différentes zones de ces contenants (ex. : fonds et parois) est tolérable.

Durant la distribution, l'emballage joue un **rôle important dans la chaîne de froid**. Il agit comme cloisonnement serré entre des lots qui s'oppose aux échanges thermiques, échauffement ou refroidissement.

Il est donc important de prévoir un régime thermique aussi stable que possible pendant le transport. Les itinéraires thermiques différents risquent d'entraîner de graves dégâts sur les produits par les **phénomènes de condensation** qui se produisent sur les parois froides des emballages. Mouillés, les fruits et légumes sont facilement attaqués à ces températures par les moisissures et les bactéries, particulièrement dans les petits emballages unitaires, barquettes, sachets plastiques, etc.

4.4.5. Rôle du transport dans la chaîne du froid

De nombreux produits sont expédiés dans des conteneurs non réfrigérés ou dans des palettes pour le transport aérien. Cela exige une bonne coordination aux aéroports d'origine et de destination pour protéger les produits, surtout lorsque les vols sont retardés.

Les aéroports doivent disposer d'installations d'entreposage à température contrôlée pour assurer la qualité du produit. Il existe des conteneurs réfrigérés qui devraient être utilisés aussi souvent que possible. On peut également se servir de bâches assurant une isolation thermique.

La **conception des véhicules adaptés** aux végétaux doit tenir compte des mêmes contraintes que les locaux. En pratique, les transports de courte durée disposent rarement de moyens spécifiques. Au mieux, ils assurent un régime thermique proche de la température de chargement, ce qui suffit le plus souvent.

Pour de longues durées, le problème est complexe, car l'utilisation des matériels est rarement unique et l'adaptation du régime de fonctionnement doit se faire au cas par cas selon les exigences du lot transporté.

L'analyse des contraintes est donc indispensable pour trouver le meilleur compromis possible, et **la surveillance en cours de transport devient une nécessité.**

4.5. AUTRES TECHNIQUES DE CONSERVATION

4.5.1. Le sulfitage (soufrage)

Le sulfitage consiste à ajouter du soufre. Le soufre, apporté sous forme de dioxyde de soufre ou sous forme de sulfites, est d'abord un antiseptique, qui inhibe le développement des micro-organismes (ex. : on l'utilise en agriculture comme fongicide). À forte dose, il inhibe toute forme de fermentation (ex. : dans les moûts et dans les vins). À faible dose, il sélectionne naturellement les micro-organismes les plus favorables à la fermentation, car il est plus actif sur les bactéries que sur les levures.

Le dioxyde de soufre (de formule SO_2 ou anhydride sulfureux de son vrai nom) est également un antioxydant. Il va permettre de stopper l'oxydation, car il a la propriété de bloquer l'action des oxydases. Le soufrage ou sulfitage est couramment pratiqué pour conserver les vins. Cela consiste à apporter au moût ou au vin une quantité de dioxyde de soufre pour permettre une bonne vinification et favoriser une meilleure conservation. Grâce au dioxyde de soufre, on peut ralentir ou même arrêter (si les concentrations sont suffisamment élevées) la fermentation.

En utilisant l'oxygène disponible plus vite que d'autres substances oxydables, le SO_2 évite les phénomènes de brunissement de la matière colorante ou l'oxydation trop intense de certains éléments de l'arôme. C'est pourquoi on traite parfois des fruits, comme les litchis, **en faisant brûler du soufre** et en les exposant à la « fumée » (vapeurs de dioxyde de soufre), ou en les trempant dans une solution de sulfite ou bisulfite de sodium pour qu'ils ne brunissent pas. Ce conservateur a l'avantage pour les producteurs de se présenter sous plusieurs formes : sous formes de solutions, de poudre, de comprimés effervescents, de mèches ou de disques à brûler.

À Madagascar, du soufre est déposé dans des boîtes disposées dans un conteneur fermé dans lequel sont disposés des cageots de litchis récoltés fraîchement. Le feu est mis aux pastilles de soufre («soufrage») et les vapeurs sont émises dans le conteneur qui reste fermé quelque temps pour que la répartition et le dépôt se fassent sur les fruits. Cette technique reste cependant assez aléatoire quant au résultat en termes de régularité des dépôts.

Les sulfites (de formule SO_3^{2-}), qui sont utilisés comme conservateurs, ont des propriétés antioxydantes et antibactériennes. Ainsi, les traitements de «soufrage» permettent de mieux conserver la couleur, la saveur et la vitamine C, mais ils présentent aussi quelques effets néfastes, notamment celui de modifier le goût ou de donner au produit une odeur «d'œufs pourris» quand il est mal réalisé. En outre, les sulfites restant dans le produit après le soufrage risquent d'être dangereux : à forte concentration, les sulfites sont allergènes. Les personnes sensibles aux sulfites peuvent éprouver une réaction semblable à celle causée par une allergie alimentaire. Les sulfites peuvent déclencher de l'asthme et les symptômes d'un choc anaphylactique. De nombreuses personnes qui sont asthmatiques peuvent aussi avoir une sensibilité aux sulfites. Des teneurs maximales en soufre (LMR en tant que résidus) ou en sulfites (en tant que conservateur) sont donc fixées par la réglementation à la suite des recommandations de l'OMS concernant l'absorption de sulfites.

4.5.2. Conservation des légumes dans du sel

La salaison est une des méthodes les plus anciennes de conservation des aliments, dont les légumes (elle ne convient pas pour les fruits), surtout dans les régions où on trouve facilement du sel bon marché. Une salaison a une durée de vie plus brève qu'une conserve stérilisée, mais on peut la conserver quelques mois.

Le sel absorbant une grande quantité de l'eau disponible, les micro-organismes ont du mal à survivre. Le sel a un fort pouvoir déshydratant, il fait sortir l'eau des aliments, se dissout et pénètre au cœur de ceux-ci, empêchant ainsi le développement de microbes. Certains aliments se conservent dans du sel sec, dans de la saumure ou dans une solution d'eau très salée. Le sel a tendance à durcir un peu les légumes. Pour préparer des conserves au sel, ne pas utiliser de métal.

Il y a deux méthodes de salaison. La première nécessite une grande quantité de sel alors que l'autre n'en utilise qu'un peu. L'inconvénient de la première méthode, c'est qu'elle a un effet très négatif sur la saveur des aliments. Pour éviter ce problème, on rince ou on fait tremper les denrées dans de l'eau avant de les manger. Mais cela diminue leur valeur nutritive, c'est pourquoi il vaut mieux réserver cette technique au cas où on a un surplus de légumes frais et qu'aucune autre méthode n'est possible.

L'utilisation du sel en petites quantités n'est pas suffisante en soi pour empêcher la croissance des bactéries, mais elle provoque le développement d'un certain type de bactéries produisant de l'acide et limitant la croissance des autres bactéries. La choucroute, par exemple, est fabriquée de cette façon. Elle a une valeur nutritive élevée (historiquement, elle a permis aux marins restant en mer de longs mois d'éviter le scorbut grâce aux teneurs élevées et à la conservation de la vitamine C ou acide ascorbique).

Cette méthode de conservation **nécessite deux ingrédients**.

- **Du sel** : prendre du sel fin ne contenant pas d'anti-agglutinant. Désinfecter le sel s'il n'est pas en paquet ou s'il a été extrait dans la région, en le saupoudrant sur une plaque de métal que l'on fera chauffer ou sur un feu très chaud. Le sel utilisé est du sel non traité, marin, riche en magnésium et autres sels minéraux. Le gros sel est généralement choisi pour les conserves de légumes. Il est possible d'ajouter des aromates aux préparations : feuilles de laurier, thym, grains de poivre, clous de girofle, baies de genièvre ou de coriandre, estragon...
- **Du vinaigre** : utiliser du vinaigre blanc ayant une concentration de 4-5 %.

Le salage **ne nécessite qu'un matériel très simple, mais dont l'hygiène doit être irréprochable**.

- Des bocaux, pots ou autres récipients : ils peuvent être en bois, en plastique, en céramique, en verre ou en acier inoxydable. Les bocaux doivent être parfaitement propres ; il faut les laver dans un bain de soude et les rincer avec de l'eau chaude propre.
- Une mousseline (tissu fluide, très fin et perméable) : on la met entre les légumes et l'assiette. Elle sert à retirer l'écume de la surface des légumes.
- Une assiette pour tasser : c'est une assiette ou une grille en bois, en céramique, en verre, en acier inoxydable ou en plastique. On place un poids dessus afin de maintenir les légumes immergés. Elle doit être légèrement inférieure au diamètre du récipient. Certains bocaux ont un système qui permet de coincer une plaque sous le goulot. Dans ce cas il est inutile d'ajouter un poids.
- Un poids : on le pose sur l'assiette pour maintenir les légumes immergés. On peut se servir d'une pierre propre ou d'un bocal rempli d'eau.
- Une balance et/ou un verre mesureur : ils permettent de peser ou mesurer les quantités requises de légumes, de sel et de vinaigre.
- Des couteaux : on utilise des couteaux en acier inoxydable pour couper les légumes.

4.5.2.1. La salaison avec une grande quantité de sel (20-25%)

L'utilisation d'une grande quantité de sel est une méthode simple de conservation qui demande beaucoup moins de travail que la conservation avec un peu de sel.

Dans cette technique, on utilise environ 1 mesure de sel pour 5 mesures de légumes (ex. : 250 g de sel par kg de légumes). Les légumes ont ensuite un goût très salé et on devra les faire tremper dans de l'eau pendant quelque temps avant de les manger.

Les légumes et le sel sont mélangés dans de grands pots. Le sel est apporté sous forme de grains secs ou de saumure (solution d'eau salée dans des concentrations variées). On peut ajouter parfois également un peu de vinaigre. Les pots sont remplis avec le mélange légumes/sel, puis couverts avec un tissu en mousseline et une assiette sur laquelle on a disposé un poids afin de bien tasser le contenu. Enfin, de la saumure (250 g de sel par litre d'eau) est ajoutée de façon à recouvrir complètement le produit. Il faut veiller à ce que les légumes restent bien immergés dans le liquide.

Au bout d'environ deux semaines, le produit salé peut être transféré dans des bocaux plus petits, qui contiendront environ la valeur d'un repas. En effet, la contamination se produit rapidement quand le bocal a été ouvert. Le liquide salé en excès dans les pots sera versé sur les petits bocaux, jusqu'à ce que les légumes soient entièrement recouverts. Les bocaux sont alors hermétiquement fermés et conservés dans un endroit aussi frais que possible.

Avant leur consommation, les légumes doivent normalement tremper dans de l'eau fraîche pendant une demi-journée (1 kg de légumes pour 10 litres d'eau). Mais ils perdent des substances nutritives lors du trempage ; il est donc préférable de l'éviter lorsque c'est possible, par exemple, lorsqu'on fait une soupe avec les légumes. Par sécurité, les légumes préparés ainsi doivent être cuits avant consommation. Il faut faire cuire pendant au moins 10 minutes les petits pois, les haricots, le maïs et les légumes verts conservés dans le sel, avant de les consommer.

4.5.2.2. Utilisation d'une saumure concentrée (20%)

Les pots ou les bocaux sont remplis avec les légumes préparés. De la saumure (200 g de sel + 65 ml de vinaigre par litre d'eau) est versée sur les légumes jusqu'à ce que l'assiette destinée à tasser soit tout juste immergée. La quantité de saumure nécessaire est égale à environ la moitié du volume des légumes. Pour maintenir la concentration de sel au bon niveau, 200 g de sel sont utilisés par kg de légumes. Les pots sont conservés à une température de 21-25 °C en vérifiant que les légumes restent bien immergés dans la saumure. Il faut ajouter de la saumure (200 g de sel + 65 ml de vinaigre par litre d'eau) si nécessaire.

Il faudra ensuite transvaser les légumes dans des bocaux plus petits, au bout d'environ deux semaines. L'ancienne saumure est utilisée en y ajoutant éventuellement de la fraîche pour que les légumes dans les bocaux soient immergés. Les bocaux sont alors fermés hermétiquement. Avant de les utiliser, les légumes doivent normalement tremper dans de l'eau fraîche pendant une demi-journée (1 kg de légumes pour 10 litres d'eau).

4.5.2.3. Utilisation d'une petite quantité de sel

On ajoute juste assez de sel aux légumes pour créer des conditions favorables à la croissance de micro-organismes qui forment des acides permettant la conservation des légumes. L'acide donne au produit un goût particulier qui est souvent apprécié. Ajouter une part de sel à 20 parts de légumes, sous forme de sel sec ou de saumure légère. Si du vinaigre est ajouté à la saumure légère, mettre moins de sel. La saumure légère est d'un emploi plus facile, car elle permet une répartition égale de sel et de légumes, ce qui est une condition indispensable à la réussite de cette méthode. Si on utilise du sel sec, le produit se réduira une fois qu'il ne sera plus plongé dans le liquide. Mais le sel utilisé directement donne au produit une couleur, une odeur et une saveur supérieures.

La préparation de légumes salés ou vinaigrés est la même que celle des légumes frais, sauf qu'il faut parfois les faire cuire plus longtemps.

4.5.2.4. La salaison légère (2,5-5%)



La choucroute

La choucroute est un des produits types obtenus par cette méthode. Après avoir préparé les légumes (ex. : haricots verts), mélangez-les avec du sel (25 g de sel par kg de légumes, pour les haricots verts, 50 g de sel + 50 ml de vinaigre par kg). Remplissez les pots avec les légumes mélangés au sel, en les tassant bien. Couvrez les légumes de plusieurs couches de mousseline, ajoutez une assiette pour tasser, et un poids. Le sel aspire le liquide contenu dans les légumes, qui doivent être peu à peu recouverts de saumure. Si ce n'est pas le cas au bout de quelques heures, ajoutez une saumure légère (25 g de sel par litre d'eau). La saumure destinée aux haricots verts doit être constituée de 50 g de sel et de 50 ml de vinaigre par litre d'eau. Stockez les pots à 20-25 °C. Les légumes vont subir une fermentation acide d'une durée de 2-3 semaines. Il faudra retirer régulièrement l'écume de la surface des légumes. En effet, au bout de quelques jours, une couche blanche d'écume apparaîtra sur les légumes qui fermentent dans une saumure légère ou selon la méthode de salage léger. Ce phénomène est dû au développement de micro-organismes indésirables. Si l'on n'intervient pas, l'écume va absorber l'acide du processus de fermentation, ce qui risque de donner un goût et une odeur désagréables aux légumes.

La meilleure méthode consiste à retirer d'abord le poids et l'assiette servant à tasser, puis de soulever avec précaution la mousseline de sorte que l'écume reste sur le tissu. On rince le tissu ainsi que l'assiette et le poids, et on les remet en place.

Il faut répéter cette opération d'écumage tous les deux jours, surtout lorsqu'il y a une grande quantité d'écume.

Si on a l'intention de garder les légumes pendant plus de 2 à 3 semaines, il faut les transvaser dans de plus petits récipients après la fermentation. Cela n'est pas nécessaire pour les légumes qui fermentent dans de petits bocaux. Le produit fermenté est conditionné hermétiquement dans des bocaux en verre de 0,5 à 1 litre munis d'un bouchon à vis. Verser la saumure sur le produit jusqu'à ce qu'il soit recouvert, en ajoutant si nécessaire de la saumure fraîche contenant 25 g de sel et 50 ml de vinaigre par litre d'eau.

Fermer les bocaux, mais veiller à ce que l'air puisse s'échapper en dévissant le couvercle d'un quart de tour après l'avoir vissé à fond (pour les couvercles *turn and lift*, il faut dévisser de moins d'un quart de tour). Faire bouillir les bocaux dans de l'eau pendant 25 minutes (pour les bocaux de 0,5 litre) ou 30 minutes (pour les bocaux d'1 litre). Fermer les bocaux hermétiquement tout de suite après. Cette opération permet la pasteurisation du contenu et l'arrêt de la fermentation.

4.5.2.5. Utilisation d'une saumure légère (5%)

Remplir les bocaux ou les pots avec les légumes préparés, puis couvrir d'une mousseline, d'une assiette et d'un poids. Ajouter de la saumure (50 g de sel + 50 ml de vinaigre par litre d'eau, de sorte que l'assiette soit tout juste recouverte). Les légumes représenteront environ la moitié du volume. Ranger les bocaux ou les pots dans un lieu frais (+/-15 °C). Il se produira une fermentation acide au cours des 2-3 semaines suivantes. Retirer régulièrement l'écume (voir plus haut). Après la fermentation, il est préférable de transvaser les légumes dans des bocaux plus petits munis de bouchons à vis. Remplir les bocaux en verre en tassant et verser la saumure jusqu'à ce que les légumes soient submergés. On ajoute si nécessaire de la saumure fraîche, à raison de 50 g de sel + 50 ml de vinaigre par litre d'eau.

Fermer les bocaux en veillant à ce que l'air puisse s'échapper en dévissant le couvercle d'un quart de tour après l'avoir vissé à fond. Pasteuriser le contenu en faisant bouillir les bocaux dans de l'eau (25 minutes pour les bocaux de 0,5 litre et 30 minutes pour ceux d'1 litre). Fermer les bocaux hermétiquement tout de suite après. Il suffit d'égoutter et de rincer les légumes avant de les consommer.

4.5.3. Conservation dans du vinaigre

Certains aliments sont conservés simplement dans du **vinaigre**, qui contient de l'**acide acétique** (CH₃-CO-OH). L'acide acétique est le plus vieux conservateur de l'histoire. Cette substance, que l'on retrouve à l'état naturel chez l'homme ou les végétaux, est synthétisée en industrie et trouve de nombreuses applications. C'est l'additif alimentaire le plus courant et un puissant antiseptique. Les Romains l'appelaient *acetum* ou vinaigre. Toutes les civilisations qui pratiquaient le brassage de la bière ou la vinification ont découvert cet acide naturel. Il est principalement obtenu par voie de synthèse, mais existe aussi à l'état naturel. L'application industrielle la plus connue de l'acide acétique est celle de **conservateur alimentaire**. C'est à lui que le vinaigre doit sa saveur et son odeur. Cet additif accompagne le métabolisme des aliments et permet d'améliorer la qualité et la sûreté d'un produit. Il fait partie

des standards autorisés par le *Codex Alimentarius*, garant international de l'hygiène des aliments. La substance est en effet peu toxique pour l'homme, même en grande quantité.



Les légumes au vinaigre

On utilise le **vinaigre pour conserver des légumes** (chou, betterave, oignons, concombre), **mais aussi pour des fruits** (notamment citron et olive). Le vinaigre est une solution aqueuse à faible teneur d'acide acétique, qui rentre principalement dans l'alimentation humaine comme condiment et conservateur alimentaire. On peut fabriquer soi-même le vinaigre en faisant fermenter du jus de fruit (obtenu au départ de toutes sortes de fruits locaux sucrés), ou même du miel, avec de l'eau et du sucre (des bactéries acétiques aérobies vont transformer le sucre d'abord en alcool puis en vinaigre au contact de l'oxygène de l'air).

Lorsqu'on prend du vinaigre ordinaire (de 5% jusqu'à 8-10% d'acide acétique dans de l'eau), il faut le faire chauffer dans une marmite fermée, en utilisant des ustensiles en émail ou en acier inoxydable, parce que le taux élevé d'acidité du vinaigre corrode les autres matériaux. Le vinaigre utilisé doit avoir une concentration minimum de 4% (son pH doit être inférieur à 3,5; à vérifier avec du papier pH). On utilisera du vinaigre blanc (5% d'acide acétique) ou du vinaigre à conserve (dont la concentration peut aller jusqu'à 100% d'acide acétique). Le pourcentage indiqué sur l'étiquette du vinaigre indique le taux d'acidité et non le degré d'alcool.

Avant de plonger les aliments dans le vinaigre, il faut commencer par saler le produit et le faire chauffer pour pouvoir le stocker. On utilise généralement la méthode suivante. On fait macérer les fruits ou les légumes préparés dans une saumure concentrée froide (200 g de sel par litre d'eau) pendant plusieurs jours, en fonction de la taille et de la forme du produit. On les plonge ensuite dans une solution de sel en ébullition, on les fait bouillir, puis on les laisse refroidir jusqu'à 70-80 °C. Une fois qu'il a cette température, le produit est transvasé dans des bocaux (on peut y ajouter des herbes et des épices, mais pas de saumure). On remplit les bocaux jusqu'à 1,5 cm du bord. Le vinaigre utilisé doit avoir une concentration finale d'environ 5% après dilution.

Utiliser toujours des bocaux en verre propres. Fermer les bocaux le plus rapidement possible et les laisser refroidir aussitôt dans un lieu frais et clair. Stocker les produits à la température la plus basse possible.

4.5.4. Conservation dans l'alcool

L'alcool est un excellent conservateur pour les fruits et les herbes. Il conserve la saveur des aliments et détruit les micro-organismes. On peut conserver de nombreux fruits dans l'alcool : cerises, abricots, cassis, citrons, coings, fraises, framboises, groseilles, mûres, myrtilles, nectarines, prunes, prunelles, raisin, sureau... Les herbes et les épices comme l'anis, l'estragon, la menthe, la vanille... se prêtent aussi à la conservation dans l'alcool. On peut même tenter quelques légumes comme le fenouil ou le céleri.



Mirabelles dans l'alcool

On a le choix entre différents alcools : gin, vodka, brandy... Mais l'eau-de-vie blanche reste le meilleur choix, car elle est neutre en couleur et en goût, ce qui permet de conserver la saveur des fruits. Quel que soit l'alcool choisi, il doit titrer entre 40 et 45°. On peut aussi choisir de l'alcool à 90° que l'on coupe pour moitié avec de l'eau bouillie et refroidie.

Pour préparer des fruits à l'alcool, on choisit des fruits en bon état, ni trop mûrs, ni trop jeunes. On peut utiliser les petits fruits tels quels. Pour les plus volumineux, comme les pommes, les poires, les prunes..., mieux vaut les piquer à différents endroits avant de les préparer. Cela permet à l'alcool d'imprégner les fruits à cœur.

Exemple de préparation à l'eau-de-vie (cerises) :

1. Stériliser un bocal en verre en le plongeant ouvert dans l'eau bouillante. On n'oublie pas de stériliser aussi le couvercle. Puis le laisser sécher sur un linge propre, ouverture vers le bas.
2. Laver et sécher 1 kg de cerises. Enlever les queues et les noyaux.
3. Les placer serrées dans le bocal stérilisé et sec.
4. Mélanger 450 g de sucre avec 75 cl d'eau-de-vie pour fruits. Verser le mélange sur les cerises.
5. Fermer le bocal et laisser mariner 1 mois en retournant de temps en temps. Étiqueter.

Les bocaux de fruits à l'alcool se conservent 1 an à l'abri de la chaleur et de la lumière. Une fois le bocal ouvert, on le garde au frigo, bien refermé. Si nécessaire, on ajoute de l'alcool pour que les fruits soient toujours bien recouverts. Les fruits imbibés d'alcool se consomment très bien en dessert.

4.5.5. Conservation dans les sirops de sucre

Le sirop est un liquide visqueux et épais, obtenu en faisant dissoudre une importante quantité de sucre dans de l'eau additionnée ou non de sirop de sucre de fruits ou de plantes aromatiques, qui subit ensuite une cuisson à plein feu avant d'être filtré et embouteillé, ou utilisé pour une préparation plus complexe. La viscosité du sirop provient des nombreuses **liaisons hydrogène entre les molécules de sucre dissoutes, porteuses de groupements hydroxyle, et l'eau**. Des sirops sont obtenus à partir de céréales, de plantes, d'arbres (ex. : érable) et de fruits suivant différentes techniques. Le goût sucré et la couleur de ces sirops sont nuancés (translucide, ambré, brun, plus foncé ou coloré) suivant son origine et le degré de raffinage utilisé. Les sirops non raffinés sont plus riches en minéraux et souvent colorés.

Le sucre, en grande quantité, limite le développement des micro-organismes. Il sublime et conserve aussi toute la saveur des fruits et légumes. Il est possible d'utiliser de nombreuses sortes de sucre pour réaliser les sirops. En règle générale, on utilise du sucre cristallisé blanc, c'est-à-dire du sucre raffiné. Mais on peut préférer du sucre plus naturel, comme du sucre roux ou du sucre intégral. Il existe aussi des alternatives à indice glycémique plus bas que le sucre ordinaire, comme le sucre de coco ou de bouleau, voire du miel.

Il faudra néanmoins adapter la recette, car les sucres possèdent chacun :

- un goût propre : par exemple, le sucre intégral a une saveur typique qu'il communique aux préparations ;
- un pouvoir sucrant : celui du sucre de bouleau est 30 à 50% plus élevé que celui du sucre blanc ou roux à la cuisson.

De plus, **varier les quantités de sucre peut jouer sur la durée de conservation**. Certaines préparations se gardent moins longtemps si on diminue le pourcentage de glucide. **Pour rendre le milieu hostile aux micro-organismes, la teneur en sucre doit être de minimum 65% en fin de cuisson.**

On peut réaliser des sirops de fruits ou des fruits au sirop.

Voici comment réaliser des **sirops de fruit**.

1. Mélanger 1 kg de sucre et 1 kg de fruits écrasés.
2. Laisser macérer 24h au frigo.
3. Porter à ébullition puis laisser frémir pendant 5 minutes.
4. Pendant ce temps, stériliser une bouteille en verre. On la plonge ouverte 10 minutes dans l'eau bouillante puis on la laisse sécher sur un linge propre, ouverture vers le bas. On n'oublie pas de stériliser aussi le couvercle.
5. Filtrer le mélange à l'étamine et faire à nouveau bouillir le jus pendant 5 minutes.
6. Retirer l'écume.
7. Verser dans la bouteille puis fermer.

Les sirops se conservent un an, fermés, et 4 mois au frigo après ouverture. Ils s'utilisent dans des cocktails, mais aussi sur des glaces, des fruits, du riz au lait, de la panna cotta...

On peut aussi réaliser des **fruits au sirop**. On cuit alors les fruits dans un mélange fait de sucre et d'eau. Mais le moyen de conservation n'est plus le sucre seul, il est nécessaire de stériliser la préparation. Le sirop sert à couvrir les fruits dans les bocaux que l'on ferme pour ensuite les mettre à stériliser à 100 °C pendant 20 minutes dans un récipient assez grand pour accueillir tous les bocaux préparés.

4.5.6. Conservation dans l'huile

Au même titre que les solutions sucrées ou l'alcool, l'huile permet également la conservation de certains légumes. L'exemple le plus connu est celui des tomates séchées et confites dans l'huile d'olive.



Tomates séchées dans l'huile

Après lavage, les tomates sont coupées en deux dans le sens de la longueur, puis en quartiers pour sécher soit au soleil, soit dans un four (ex. : cuisson à 100 °C pendant 3 heures). Verser un peu d'huile d'olive de manière à ce qu'il y en ait environ 1,5 cm au fond du bocal. Les tomates séchées sont salées et mises en bocal. Fermer et procéder au traitement thermique sans attendre pendant 75 minutes à 100 °C.

4.6. L'EMPLOI DES ADDITIFS POUR LA CONSERVATION

Selon l'EUFIC²⁸, les conservateurs constituent un thème récurrent dans les débats publics et chaque fois qu'il est abordé, de nombreux consommateurs associent ces substances à des produits chimiques « modernes » et « dangereux », présents dans les denrées alimentaires.

Cependant, comme on peut le constater en jetant un rapide coup d'œil au passé, la conservation des denrées alimentaires a vu le jour il y a plusieurs siècles, lorsque l'homme a utilisé pour la première fois le sel (salaison) et la fumée (fumaison) pour empêcher la viande et le poisson de s'abîmer. Malgré certaines réticences, les conservateurs constituent aujourd'hui une part indispensable des aliments que nous consommons. Ceci est dû en partie à la demande croissante des consommateurs en faveur d'un choix plus vaste et de produits alimentaires pratiques et faciles à utiliser, ainsi qu'aux normes de sécurité alimentaire élevées qui sont devenues communes dans le secteur alimentaire.

La principale justification de l'utilisation des conservateurs est d'**améliorer la sécurité des denrées alimentaires en éliminant l'influence des facteurs biologiques**. Pour le consommateur, le plus grand danger consiste à laisser les denrées alimentaires s'abîmer ou devenir toxiques sous l'effet des micro-organismes (p. ex., les bactéries, les levures, les moisissures) qui s'y développent. Certains de ces organismes sont capables de sécréter des substances toxiques (les « toxines »), qui sont dangereuses pour la santé humaine et peuvent même être mortelles.

Pour retarder l'altération des denrées alimentaires par les micro-organismes, on fait appel à des **substances antimicrobiennes** qui inhibent, retardent ou empêchent la croissance et la prolifération des bactéries, des levures et des moisissures. Parmi celles qui intéressent le secteur horticole figurent les substances suivantes.

- Les **composés soufrés** tels que les sulfites (E 221 à 228) sont utilisés pour inhiber la croissance des bactéries, par exemple, dans le vin, les fruits séchés, les légumes conservés dans du vinaigre ou de la saumure.
- L'**acide ascorbique** (E 300) peut être employé pour différentes raisons, notamment la conservation des produits à base de pomme de terre, des fromages et des jambons.
- L'**acide benzoïque et ses sels de calcium, de sodium et de potassium** (E 210 à 213) sont utilisés comme antibactériens et antifongiques dans les denrées alimentaires telles que les **concombres au vinaigre, les confitures et les gelées** à faible teneur en glucides, les assaisonnements et les condiments.

Les nitrates et les nitrites (E 249 à 252), qui représentent un autre groupe important de substances, sont plutôt utilisés comme additifs dans les produits à base de viande afin de les protéger contre les bactéries responsables du botulisme (*Clostridium botulinum*) et non dans les produits à base de végétaux. Il en va de même de la natamycine (E 235).

28 Le Conseil européen de l'information sur l'alimentation (EUFIC) est une organisation à but non lucratif qui fournit aux médias, aux professionnels de la santé et de la nutrition, et aux enseignants des informations sur la sécurité sanitaire et la qualité des aliments, ainsi que sur la santé et la nutrition, en s'appuyant sur des recherches scientifiques et en veillant à ce que ces informations puissent être comprises par les consommateurs.

Exemples de conservateurs couramment utilisés au sein de l'Union européenne, notamment pour la conservation de produits d'origine végétale (selon EUFIC)

Nombre E	Substance/classe	Exemples de denrées alimentaires d'origine végétale dans lesquelles ils sont utilisés
E 200-203	Acide sorbique et sorbates	Fruits séchés Purées de fruits
E 210-213	Acide benzoïque et benzoates	Légumes au vinaigre Confitures et gelées (à faible teneur en glucides) Fruits confits
E 220-228	Dioxyde de soufre et sulfites	Fruits séchés, fruits en conserve Produits à base de pomme de terre Vins

Afin de s'assurer que les conservateurs contribuent réellement à la sécurité des denrées alimentaires, leur utilisation est subordonnée à une évaluation d'innocuité et à une procédure d'autorisation avant la mise sur le marché.

- Au niveau international, il existe un Comité mixte d'experts des additifs alimentaires (JECFA), qui dépend à la fois de l'Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).
- Au niveau européen, les organismes chargés de l'évaluation de l'innocuité, de l'autorisation, du contrôle et de l'étiquetage des conservateurs et des autres additifs sont l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA²⁹), la Commission européenne, le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne. L'autorisation et les conditions d'utilisation des conservateurs sont régies par la directive 95/2/EC³⁰ du Parlement européen et du Conseil du 20 février 1995 concernant les additifs alimentaires autres que les colorants et les édulcorants³¹.

L'évaluation de l'innocuité des conservateurs, de même que de celle de tous les autres additifs, repose sur l'examen de l'ensemble des données toxicologiques disponibles, notamment des observations réalisées sur les modèles humains et animaux. En fonction des données disponibles, on détermine la quantité maximale d'un additif dont l'effet toxique n'est pas démontrable. C'est ce qu'on appelle la « dose sans effet indésirable observé » (DSEIO), utilisée pour définir la « dose journalière admissible » (DJA) pour chaque additif alimentaire. **La DJA respecte une bonne marge de sécurité et indique la quantité d'additif alimentaire qui peut être consommée quotidiennement, tout au long de la vie, sans aucun effet néfaste sur**

29 <https://www.efsa.europa.eu/fr>.

30 Directive 95/2/EC du Parlement européen et du Conseil du 20 février 1995 concernant les additifs alimentaires autres que les colorants et les édulcorants : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX%3A31995L0002>.

31 Informations générales sur les additifs alimentaires (règles d'étiquetage des additifs, consommation, etc.) : https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/food-labelling/additives/index_fr.htm#consumers.

la santé.

L'opinion publique s'est profondément inquiétée des risques d'effets indésirables de certains additifs alimentaires, mais des études approfondies montrent que ces craintes reposent sur des idées erronées et non pas sur des effets indésirables identifiables. On a rarement pu démontrer que les conservateurs pouvaient être **la cause de réactions allergiques** (immunologiques). Parmi les additifs alimentaires pour lesquels des réactions allergiques ont été signalées, certains conservateurs du groupe des sulfites, qui comprend plusieurs sulfites inorganiques (E 220 à 228) ainsi que l'acide benzoïque et ses dérivés (E 210 à 213), sont susceptibles de déclencher des crises d'asthme caractérisées par des difficultés à respirer, un manque de souffle, une respiration sifflante et une toux chez les individus sensibles (p. ex., les asthmatiques).

Le Parlement européen, en collaboration avec le Conseil de l'Union européenne, a mis au point **un système d'étiquetage détaillé pour les additifs alimentaires**, afin de permettre aux consommateurs de faire leur choix en toute connaissance de cause, en ce qui concerne les denrées alimentaires contenant des conservateurs. La législation stipule également que les additifs doivent être mentionnés sur l'emballage des produits alimentaires par catégories (conservateurs, colorants, antioxydants, etc.), soit par leur nom, soit par leur code européen (lettre E suivie d'un nombre). En résumé, les conservateurs sont encore nécessaires pour assurer la sécurité et la diversité des produits alimentaires disponibles. Ils agissent en retardant l'altération des produits alimentaires et en empêchant toute modification de leur goût ou de leur aspect. Leur évaluation et leur utilisation dans les produits alimentaires sont strictement contrôlées, tant au niveau européen qu'au niveau international.

4.7. ANNEXES

A.1. Températures et humidité relative recommandées pour certains produits horticoles

Sources citées sur le site de la FAO :

- B.M. McGregor, « Tropical Products Transport Handbook » (Manuel de transport des produits tropicaux), USDA Office of Transportation, *Agricultural Handbook*, n° 668, 1989.
- A.A. Kader, « Postharvest Handling », in J.E. Preece et P.E. Rend, *The Biology of Horticulture – An Introductory Textbook*, New York, John Wiley & Sons, 1993, pp. 353-377

Produit	Température (°C)	HR (%)	Durée approximative de conservation
abricots	0	90-95	1-3 semaines
ail	0	65-70	6-7 mois
ananas	7-13	85-90	2-4 semaines
artichauts (entiers)	0	95-100	2-3 semaines
asperges	0-2	95-100	2-3 semaines
aubergines	12	90-95	1 semaine
avocats	4.5-13	85-90	2-8 semaines
bananes (vertes)	13-14	90-95	1-4 semaines
blettes	0	95-100	10-14 jours
boniato (patate douce)	13-14	85-90	4-5 mois
brocolis	0	95-100	10-14 jours
cantaloups (¾ charge)	2-5	95	15 jours
cantaloups (charge entière)	0-2	95	5-14 jours
caramboles	9-10	85-90	3-4 semaines
carottes (avec verdure)	0	95-100	2 semaines
carottes, à maturité	0	98-100	7-9 mois
carottes, avant maturité	0	98-100	4-6 semaines
céleri	0	98-100	2-3 mois
céleri-rave	0	97-99	6-8 mois
cerises aigres	0	90-95	3-7 jours
cerises douces	-1	90-95	2-3 semaines
champignons	0	95	3-4 jours
choux (précoces)	0	98-100	3-6 semaines
choux (tardifs)	0	98-100	5-6 semaines
choux-fleurs	0	95-98	3-4 semaines

citrons	10-13	85-90	1-6 mois
citrouilles	10-13	50-70	2-3 mois
clémentines	4	90-95	2-4 semaines
concombres	10-13	95	10-14 jours
dasheen/taro	7-10	85-90	4-5 mois
dattes	0	75	6-12 mois
endives	2-3	95-98	2-4 semaines
épinards	0	95-100	10-14 jours
figes fraîches	0	85-90	7-10 jours
fraises	0	90-95	5-7 jours
gesses tubéreuses	10	90	4 semaines
gingembre	13	65	6 mois
grenades	5	90-95	2-3 mois
haricots verts	4-7	95	7-10 jours
ignames	16	70-80	6-7 mois
jicama	13-16	65-70	1-2 mois
laitues	0	95-100	2-3 semaines
légumes verts, feuilles	0	95-100	10-14 jours
limons	9-10	85-90	6-8 semaines
litchis	1.5	90-95	3-5 semaines
mats sucré	0	95-98	5-8 jours
mandarines	4	90-95	2-4 semaines
mangues	13	85-90	2-3 semaines
manioc	0-5	85-90	1-2 mois
melons (Casaba, Crenshaw, Honeydew, Persian)	7	90-95	2-3 semaines
navets	0	95	4-5 mois
nectarines	0	90-95	2-4 semaines
noix de coco	0-1.5	80-85	1-2 mois
olives fraîches	5-10	85-90	4-6 semaines
oignons secs	0	65-70	1-8 mois
oignons verts	0	95-100	3-4 semaines
oranges sanguines	4-7	90-95	3-8 semaines
oranges (CA, AZ)	3-9	85-90	3-8 semaines
oranges (TX, FL)	0	85-90	8-12 semaines
oranges Jaffa	8-10	85-90	8-12 semaines

pamplemousses	15	85-90	6-8 semaines
papayes	7	85-90	1-3 semaines
pastèques	10-15	90	2-3 semaines
pâtissons	5-10	95	1-2 semaines
patates douces	13-15	85-90	4-7 mois
persil	0	95-100	2 mois
pêches	0	90-95	2-4 semaines
pepinos (concombres)	4	85-90	1 mois
piments secs	10	60-70	6 mois
poireaux	0	95-100	2-3 mois
poires	-1.5-0.5	90-95	2-7 mois
poivrons	7-13	90-95	2-3 semaines
pommes	-1-4	90-95	1-12 mois
pommes de terre nouvelles	15	90-95	10-14 jours
pommes de terre tardives	13	90-95	5-10 mois
potirons	10	50-70	2-3 mois
prunes/pruneaux	0	90-95	2-5 semaines
radis/daikon	0	95-100	1-4 mois
raifort	- 1-0	98-100	10-12 mois
raisins, vinifères	- 1	90-95	1-6 mois
rhubarbe	0	95-100	2-4 semaines
tomates mûres-vertes	8-22	90-95	1-3 semaines
tomates fermes-mûres	3-15	90-95	4-7 jours

A.2. Groupes de compatibilité pour le stockage des fruits légumes

Source citée sur le site de la FAO :

B.M. McGregor, «Tropical Products Transport Handbook» (Manuel de transport des produits tropicaux), USDA Office of Transportation, *Agricultural Handbook*, n° 668, 1989.

Groupe 1 : Basse température (de 0 à 2 °C), haute HR (90-95 %), peuvent produire de l'éthylène

abricots	noix de coco
cerises	oranges (Florida, Texas)
champignons	pêches
figues (pas avec des pommes)	pommes
fraises	poireaux
framboises	poires
grenades	prunes
kakis	radis
litchis	raifort
navets	raisins (sans dioxyde de soufre)
nectarines	

Groupe 2 : Basse température (de 0 à 2 °C), haute HR (90-95 %), peuvent être sensibles à l'éthylène

artichauts	laitues
asperges	légumes-feuilles
bok choy	maïs sucré
brocolis	navets (sans feuilles)
carottes	persil
champignons	petits pois
céleri	poireaux (pas avec figues ou raisins)
choux-fleurs	oignons verts (pas avec figues, raisins, rhubarbe ou maïs)
champignons	rhubarbe ou maïs)
endives/escaroles	radis
épinards	rhubarbe
kiwis	

Groupe 3 : Basse température (de 0 à 2 °C), HR plus basse (65-70 %), l'humidité abîme ces produits

ail
oignons secs

Groupe 4 : 5 °C, 90-95 % HR

cantaloups
citrons
clémentines
litchis
mandarines

manioc
oranges (California, Arizona)
pepino
tangelos

Groupe 5 : 10 °C, 85-90 %, sensibles au froid peuvent être sensibles à l'éthylène

aubergines
concombres
courges d'été
gombos
haricots
haricots verts
kiwano
malanga

olives
paprika
piments
poivrons
pommes de terre pour stockage
taro/dasheen

Groupe 6 : 13-15 °C, 85-90 % HR, sensibles au froid peuvent produire de l'éthylène

ananas
avocats
bananes
boniato
caramboles
courges d'hiver
feijoa
gingembre
limes

mangoustans
mangues
melons
pamplemousses
papayes
plantains
pommes de terre nouvelles
tomates mûres

Groupe 7 : 18-21 °C, 85-90 % HR, sensibles au froid, produisent de l'éthylène

tomates mûres-vertes
poires (à mûrir)

Groupe 8 : 18-21 °C, 85-90 % HR, sensibles au froid, sensibles à l'éthylène

ignames
jicama
pastèques
patates douces

A.3. Les «durées de refroidissement» des produits

Source : repris de H.W. Fraser, «Tunnel de refroidissement par air pulsé pour le conditionnement des fruits et des légumes frais», Fiche technique, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales, Ontario, 1998, www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/98-032.htm.

Chez tous les fruits et les légumes, le refroidissement est d'abord rapide, puis de plus en plus lent. La vitesse de refroidissement par air pulsé est sous la dépendance de plusieurs facteurs :

- la densité des produits à l'intérieur des contenants (moins les produits sont tassés, plus vite ils refroidissent) ;
- le type de contenant, le sens de l'empilement, les caractéristiques des entrées d'air (si l'air rentre uniformément en plusieurs endroits du contenant, le refroidissement est plus rapide) ;
- le rapport volume/surface du produit ; plus le rapport est bas, plus le refroidissement est rapide (les cerises refroidissent plus vite que les melons) ;
- la distance parcourue par l'air réfrigéré (plus son trajet est court, plus le refroidissement de la pile toute entière est rapide) ;
- la capacité de débit d'air (plus le débit est élevé, plus le refroidissement est rapide).

L'humidité relative de l'air réfrigéré influe peu sur la déshydratation des produits dès l'instant qu'elle est supérieure à 85% et que le refroidissement dure moins d'une ou deux heures.

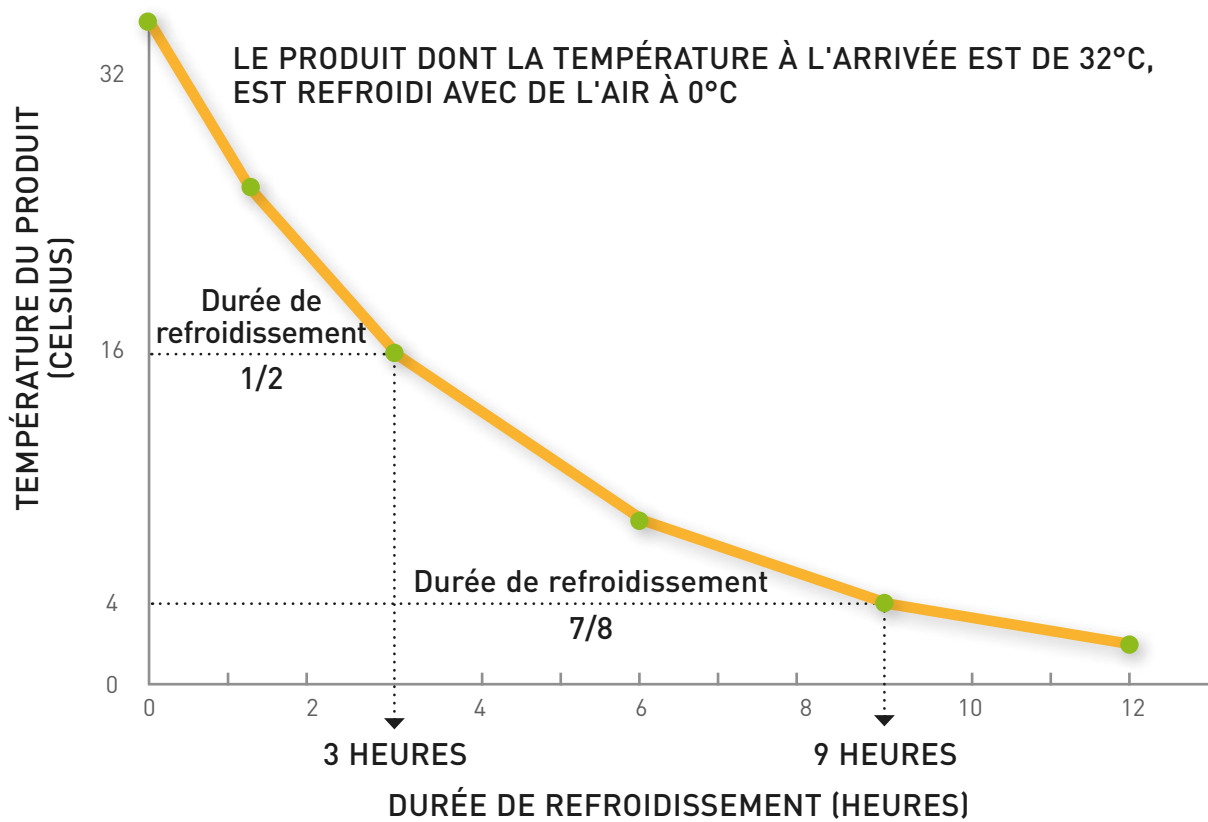
Quelle que soit la température de l'air de refroidissement ou celle du produit entrant, la courbe de refroidissement reste la même si tous les autres facteurs évoqués ci-dessus sont gardés constants. Seule la vitesse de refroidissement change.

L'expression «durée de refroidissement 7/8» s'emploie couramment dans l'industrie pour désigner le temps nécessaire pour extraire les sept-huitièmes (87,5%) de la différence entre la température du produit entrant et la température de l'agent de refroidissement (l'air réfrigéré, dans le cas du refroidissement par air pulsé).

C'est une méthode commode pour savoir au bout de combien de temps la température des produits sera ramenée aussi près qu'il est possible et pratique de la faire de la température de l'agent de refroidissement.

La durée de refroidissement 7/8 est mesurée à partir de l'instant où le produit est placé dans le tunnel. Par exemple, si, avec de l'air à 0 °C, il faut 9 heures pour abaisser à 4 °C la température d'une pêche qui était de 32 °C à son arrivée, la durée de refroidissement 7/8 est de 9 heures. Autrement dit, l'écart de température entre le produit et l'air de refroidissement, qui était de 32 °C, a été diminué de 28 °C. La durée de refroidissement 7/8 est théoriquement trois fois plus longue que la durée de refroidissement 1/2. En conséquence, la même pêche qui a mis 9 heures pour refroidir à 4 °C, ne mettrait que 3 heures pour refroidir à 16 °C, la température correspondant à la durée de refroidissement 1/2, toutes choses restant égales par

ailleurs. En pratique, la durée de refroidissement 7/8 ne correspond pas souvent à trois fois la durée de refroidissement 1/2 parce que les conditions demeurent rarement égales pendant toute la durée du refroidissement.



Courbe caractéristique de la température des produits en fonction du temps de refroidissement

Quelquefois, on est en mesure d'estimer au bout de combien de temps un produit sera refroidi aux 7/8 si l'on connaît les autres durées de refroidissement. Le tableau suivant indique quelques rapports entre les durées de refroidissement.

Facteurs servant au calcul de la durée de refroidissement 7/8	
Si vous connaissez multipliez par le facteur ci-dessous pour estimer la durée de refroidissement 7/8
la durée de refroidissement 1/4	7,5
la durée de refroidissement 3/8	4,5
la durée de refroidissement 1/2	3,0
la durée de refroidissement 3/4	1,5

Pour ce qui concerne certaines cultures, il peut ne pas être nécessaire de faire fonctionner le tunnel de refroidissement par air pulsé à une température aussi basse que la température d'entreposage optimale. Par exemple, on peut refroidir certains fruits et légumes avec de l'air pulsé à 5 °C, puis les placer dans une chambre froide adjacente où ils finiront de refroidir plus lentement. Ce compromis permet de faire l'économie d'un système de dégivrage du groupe frigorifique dans la chambre de refroidissement par air pulsé.

La plupart des fruits et des légumes peuvent être refroidis par air pulsé, mais la durée de refroidissement 7/8 devrait être plus courte pour certains produits dont les caractéristiques sont les suivantes :

- ceux dont l'intensité respiratoire est élevée à la récolte ;
- ceux qui se déshydratent facilement (petits fruits/légumes-feuilles) ;
- ceux qui sont très mûrs, par exemple des pêches mûries sur l'arbre ;
- ceux qui sont destinés à voyager loin.



Chapitre 5

Préparation des jus et nectars de fruits

5.1. Définition et principes généraux	152
5.2. Les types de produits	155
5.3. Schéma de préparation des jus	159
5.4. Le conditionnement des jus de fruits	166
5.5. Les vérifications à réaliser pendant le processus	167

5.1. DÉFINITION ET PRINCIPES GÉNÉRAUX

5.1.1. Qu'entend-t-on par jus de fruits ?

La nature du jus de fruit est définie par le *Codex Alimentarius* comme étant « un liquide non fermenté, mais fermentescible, tiré de la partie comestible de fruits sains, parvenus au degré de maturation approprié et frais ou de fruits conservés dans de saines conditions par des moyens adaptés et/ou par des traitements de surface post-récolte ».



Cette définition débute donc par une notion importante « un liquide non fermenté, mais fermentescible ». La fermentation est un phénomène résultant de l'action de micro-organismes et provoquant la transformation de molécules (généralement les sucres) en d'autres molécules (acides, alcools, etc.). La fermentation est un phénomène :

- positif, si elle est contrôlée et accompagnée d'un développement de molécules d'intérêt (pour la conservation ou gustativement parlant) ;
- négatif, dans une situation où la fermentation est **incontrôlée ou non désirée**, car les molécules produites par la fermentation peuvent amener **des goûts indésirables** au produit.

De plus, si un développement de micro-organisme a lieu de manière incontrôlé, **une flore d'altération**, voire pathogène, peut se développer et donc induire un changement négatif des qualités organoleptiques du produit.

Dans le cas où une flore pathogène se développerait, le produit peut également devenir un réel vecteur de risque pour le consommateur.

Le plus important est donc de retenir que, si rien ne vient stopper le phénomène, **la fermentation aura lieu inévitablement**. La préoccupation de base de tout producteur de jus de fruits (ou de légumes d'ailleurs) sera donc d'éviter cette fermentation spontanée du jus.

5.1.2. Comment empêcher la fermentation ?

Les micro-organismes naturellement présents sur les fruits, et **principalement les levures**, peuvent être responsables de ce phénomène de fermentation spontanée qui, dans le cas des jus de fruits, est incontrôlé et non désiré. À noter également que **des conditions de températures élevées** favorisent et accélèrent le phénomène de fermentation spontanée ; ce phénomène a donc d'autant plus de chance d'apparaître en zone tropicale.

Pour éviter que la flore naturellement présente sur les fruits n'induisse ce phénomène, il faut pouvoir bloquer l'activité de cette dernière, notamment en la détruisant (ex. : stérilisation) ou en la retirant (ex. : microfiltration). **Sans action possible de la flore, les jus de fruits restent donc des produits non fermentés.** Mais les sucres étant toujours présents, si les conditions sont de nouveau réunies, ces produits restent fermentescibles et le phénomène peut de nouveau avoir lieu, d'où l'importance des procédés de conservation décrits ci-après.

Pour empêcher le phénomène de fermentation spontanée, on peut avoir recours à divers procédés.

5.1.2.1. Des procédés thermiques

Les procédés thermiques sont parmi les procédés de conservation les plus communément utilisés pour préparer des jus de fruit. Le principe général est de soumettre le produit à une source de chaleur pour détruire toute, ou partie, de la microflore présente.

De manière résumée, les deux principaux types de traitement thermique utilisés sont la **pasteurisation et la stérilisation**. Ces deux traitements sont basés sur différents couples temps/température.

Le procédé thermique le plus utilisé pour la production de jus de fruits est **la pasteurisation, moins agressive pour le produit, car les températures utilisées sont inférieures** à celles utilisées pour la stérilisation. Mais, avec la pasteurisation, nous pourrions être assurés que tous les micro-organismes pathogènes ont bien été éliminés..., mais **pas tous** les micro-organismes. Il est toutefois important de retenir que la pasteurisation des jus de fruits est préférée à leur stérilisation, car exposer le jus à des températures très hautes pendant une plus longue durée peut apporter des défauts visuels ou de flaveur.

Au contraire, **avec la stérilisation, tous les micro-organismes** sont détruits. Cela explique pourquoi les produits pasteurisés ont des dates limites de consommation plus courtes que les produits stérilisés.

L'intérêt de ces traitements thermiques est également qu'ils permettent **la destruction des enzymes**. Les enzymes sont des protéines naturellement présentes dans chaque être vivant. Certaines enzymes peuvent avoir **un effet de dégradation** sur certaines molécules présentes dans le produit. Si les enzymes sont laissées intactes dans le jus, un phénomène de dégradation enzymatique peut apparaître. C'est-à-dire une **détérioration organoleptique** du produit due à l'activité des enzymes présentes sur les composants du produit. Ces enzymes n'étant pas thermostables, elles peuvent être détruites via des traitements thermiques.

5.1.2.2. Des procédés non thermiques

Cependant, pour éviter toute altération du produit due à la chaleur, de nouveaux modes de conservation sont développés. Ces procédés permettent de diminuer l'activité microbienne dans les produits sans aucun chauffage. Des procédés de ce genre, comme **la microfiltration**, sont de plus en plus utilisés pour la production de jus de fruit. Le procédé de microfiltration consiste à faire passer le liquide (ici le jus de fruit) sur une membrane imperméable aux micro-organismes. Les pores de cette membrane ont un diamètre compris entre 0,1 et 10 μm , cette membrane peut donc retenir une grande partie des micro-organismes. Le principal désavantage de cette méthode réside également dans la taille des pores, car les particules en suspension dans le jus de fruits (pulpe, etc.) peuvent venir **colmater la membrane**.

À titre d'information, nous pouvons également citer d'autres modes de conservation moins courants, mais de plus en plus utilisé pour la fabrication de jus de fruits, comme **la pascalisation** (utilisation de très hautes pressions) ou **le traitement ohmique** (utilisation des capacités de résistance électrique du produit).

Cependant, les traitements non thermiques **ne permettent pas la destruction des enzymes** et ne vont donc pas supprimer la dégradation enzymatique.

5.1.3. Autres points d'attention

Au-delà d'empêcher un développement de micro-organismes incontrôlé, l'un des leviers les plus importants pour jouer sur la qualité organoleptique des produits reste **la qualité des matières premières**. Des fruits amenés à **pleine maturité** auront plus de jus, de sucre et d'arômes, ce qui impactera positivement la qualité des produits. Au contraire, des fruits abîmés et présentant des traces de pourritures vont **amener des goûts indésirables** qui vont altérer la qualité du produit.

Il est également important de travailler avec des fruits sains pour des raisons sanitaires. En effet, avec la présence de moisissures, certaines mycotoxines peuvent apparaître et avoir un effet négatif sur la santé du consommateur. D'où l'importance du tri de la matière première pour travailler avec des fruits de haute qualité, comme souligné également dans la définition du *Codex Alimentarius*.

5.2. LES TYPES DE PRODUITS

Les types de jus de fruits ont été réglementés³². Le marché des jus de fruits regroupe **trois catégories principales** de produits : les purs jus de fruits, les jus de fruits à base de jus concentré et les nectars. Tous sont élaborés à partir de jus de fruits, mais se distinguent par leur teneur en fruits et leur mode de fabrication. Depuis quelques années, une nouvelle catégorie commerciale de jus de fruits est apparue sur le marché : les smoothies, de l'anglais *smooth* qui signifie « lisse » ou « onctueux ». Lorsqu'ils contiennent uniquement des jus et purées de fruits, ces produits sont réglementairement considérés comme des jus de fruits.

Les jus de fruits peuvent tout d'abord être **classés** :

- **en fonction du nombre de fruits** qu'ils contiennent : ainsi, on parlera de « jus de fruits simple » dans le cas où une seule sorte de fruits est utilisée, et de « jus de fruits mélangé » dans le cas contraire ;
- **en fonction de la technique utilisée** pour la préparation des jus de fruits.

Pour les reconnaître, il faut se référer à l'étiquetage, qui doit renseigner la composition, les caractéristiques du produit, la façon de le conserver (à froid ou à température ambiante) et sa durée de conservation...

La différenciation des types de jus de fruits permet leur classification, mais permet également d'établir des règlements différents quant à leur composition. En effet, des ingrédients, notamment sucrant, peuvent être ajoutés en fonction du type de jus de fruit produit. À titre d'exemple, le tableau ci-dessous indique dans quelle catégorie de jus de fruits les ingrédients sucrants peuvent être utilisés. À la condition de n'avoir ajouté aucun ingrédient acidifiant (comme du jus de citron ou de lime).

	Jus de fruits	Jus de fruits à base de concentré	Jus de fruits obtenu par extraction hydrique	Nectar
Sucre avec humidité < 2 %	✓	✓	✓	✓
Sirop de sucre	X	✓	X	✓
Miel ou sucre dérivé de fruits	X	X	X	✓

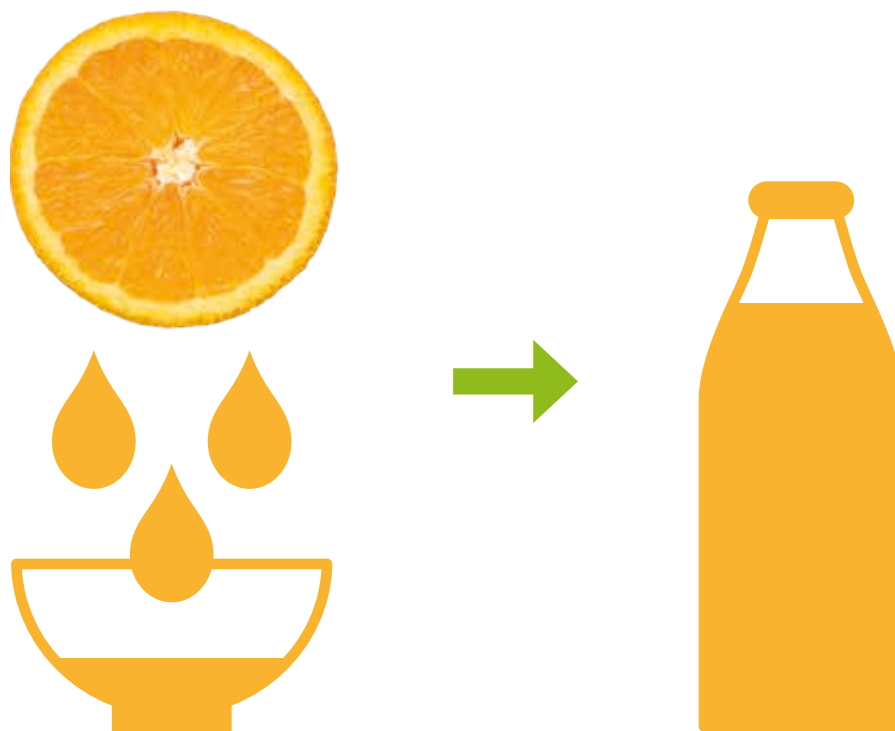
Les appellations du type « boisson aux fruits » ou « boisson goût fruit » **ne sont pas des jus de fruits**, et sont généralement des eaux aromatisées plus ou moins proches des sodas, contenant du sucre industriel en grande quantité, des sirops ou des arômes de synthèse, et souvent des additifs chimiques (colorants, conservateurs, édulcorants, exhausteurs de goût, agents de texture...), sans obligation d'extrait végétal naturel.

32 Source des dessins et définitions : UNIJUS, France.

5.2.1. Les jus de fruits

Ils sont obtenus en pressant directement les fruits par des **procédés mécaniques**. Il n'y a jamais d'ajout de sucres ou d'additifs (colorants, arômes, conservateur...). Ils peuvent cependant être clarifiés, par filtrage (pour enlever la pulpe) ou par digestion enzymatique (des enzymes sont alors ajoutés dans le jus de façon que celui-ci soit translucide). À *contrario*, le pur jus sans clarification, est appelé «jus trouble». La teneur minimale en fruits est de 100%.

Parmi ceux-ci, les **jus de fruits frais** (sans traitement permettant de stopper ou freiner l'activité microbologique) peuvent être différenciés des purs jus de fruits ou des 100% pur jus (sans addition d'eau). Les jus de fruits frais n'ayant subi aucun traitement de stabilisation ne peuvent se conserver qu'au frigo et pour une durée relativement courte pour les raisons décrites dans la partie précédente.

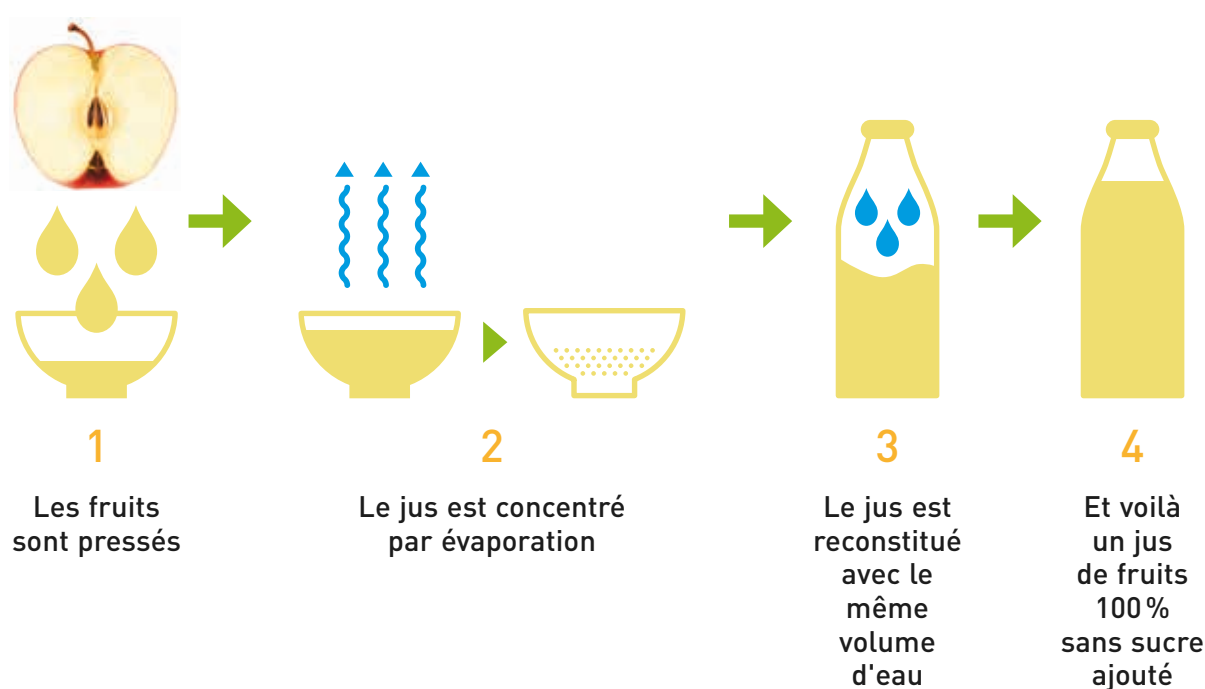


5.2.2. Jus de fruits à base de concentré

Ces jus de fruits sont obtenus **en diluant du concentré de jus de fruits avec de l'eau potable**. Le concentré de jus de fruits est obtenu par évaporation de l'eau contenue dans le jus jusqu'à obtenir une valeur Brix³³ au moins 50% supérieure à la valeur du jus de base. La teneur minimale en fruits est de 100%.

Il est surtout avantageux de concentrer les jus de fruits pour des raisons de stockage et de transport. En effet, avec moins d'eau, le produit occupera un volume moins important. Par ailleurs, si un traitement de conservation est appliqué au concentré, ce dernier pourra également être conservé plus longtemps.

Lorsque de l'eau potable est ajoutée au concentré pour fabriquer ce type de jus, l'eau doit être ajoutée en quantité égale à ce qui a été retiré, et donc **le jus préparé à base de concentré doit présenter la même valeur Brix que le jus de départ**.



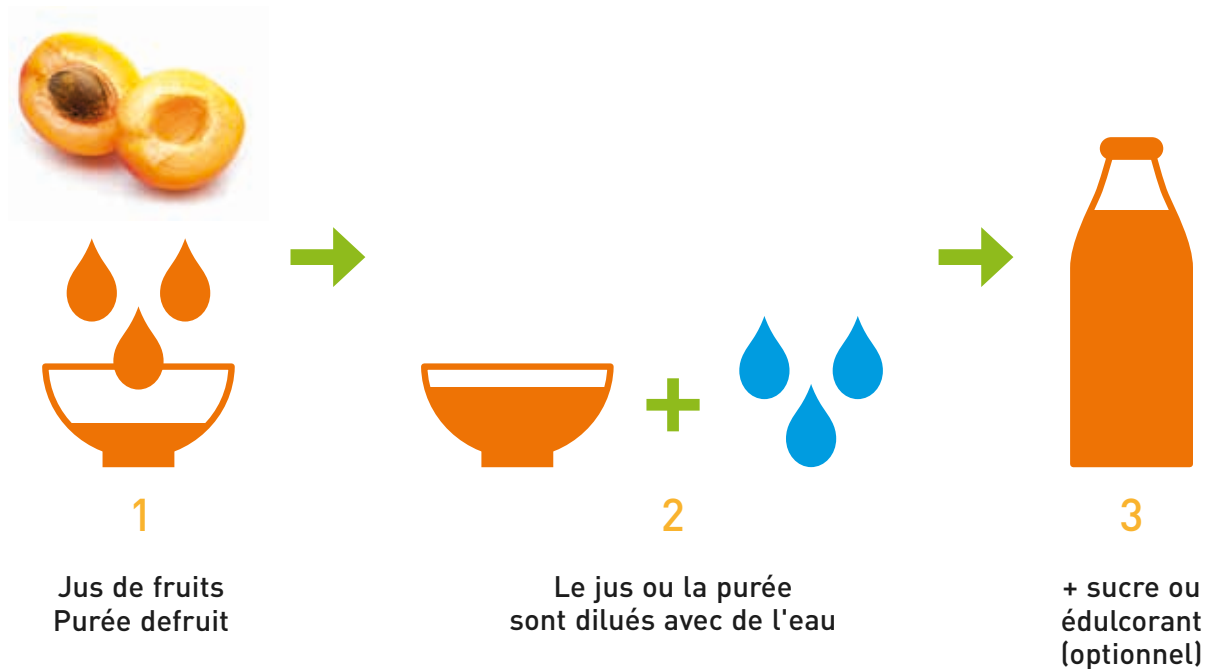
5.2.3. Jus de fruits obtenu par extraction hydrique

Cette catégorie regroupe deux sortes de jus :

- les jus obtenus à partir de fruits entiers déshydratés, comme dans le cas du jus de pruneau ; dans ce cas, les fruits sont réhydratés dans de l'eau potable puis broyés.
- l'autre type de jus concerne les jus obtenus par diffusion dans l'eau, comme dans le cas du bissap ; les fruits déshydratés (ou ici les fleurs) sont mis à infuser dans de l'eau potable et le jus obtenu est ensuite filtré.

33 Pour rappel, l'échelle de Brix permet de mesurer la concentration en solutés d'une solution. Elle est basée sur la réfraction de la lumière et sa mesure est réalisée à l'aide d'un réfractomètre.

5.2.4. Nectar de fruits



Le nectar est produit à partir de jus de fruits, de concentré de jus de fruits ou de purée de fruits en y ajoutant de l'eau potable ainsi que du sucre, du sirop, du miel ou des édulcorants si nécessaire.

Généralement, **les fruits destinés à la fabrication des nectars sont très pulpeux**, comme la banane (ou l'abricot, la pêche, la poire), ou acides, comme les fruits rouges. Il est alors indispensable de les diluer avec de l'eau puis de les sucrer afin d'obtenir une boisson consommable. La teneur minimale en fruits des nectars est réglementée et comprise entre 25 et 50 % en fonction de la variété du fruit.

5.3. SCHÉMA DE PRÉPARATION DES JUS

Le processus général et le plus courant pour la fabrication des différents types de jus (jus de fruits et de jus de fruits à base de concentré) est détaillé ci-dessous. Les points d'attention concernant les principales étapes vont être rappelés.



5.3.1. Opérations pour la préparation des «jus de fruits frais» et communes à tous types de jus de fruits

5.3.1.1. Étape de récolte

Une attention toute particulière doit être apportée aux fruits dès la récolte si l'on souhaite obtenir un produit de qualité. C'est lors de la récolte qu'a lieu la cueillette des fruits. Quel que soit le produit et quelle que soit sa provenance, le moment de la cueillette revêt une importance décisive. En effet, celle-ci s'opère au seuil de la maturité idéale des fruits. Lors de la récolte, il est donc important de **bien sélectionner les fruits** afin de choisir les fruits à leur **stade de maturité optimale, lorsque les taux de sucre, de jus et d'arômes sont au plus haut**, c'est-à-dire quand leurs propriétés nutritionnelles et gustatives sont optimales

La formation des opérateurs responsables de la récolte est donc primordiale pour la sélection des fruits, mais également pour minimiser les dommages causés aux fruits. En effet, lors de la récolte, via la manipulation des fruits et la manutention des caisses, de nombreuses lésions peuvent être causées aux fruits. Ainsi, on pourra observer l'apparition de blessures (coupures et perforations) grâce auxquelles bactéries et champignons vont pouvoir entrer dans le fruit et s'y développer, causant notamment l'apparition du phénomène de pourriture.

Une mauvaise manipulation ou manutention peut également être responsable de l'apparition de meurtrissures, dont les traces n'apparaîtront que plusieurs jours après la récolte. Ces meurtrissures sont souvent dues à des chocs, une compression durant le stockage ou à un phénomène d'abrasion dû aux frictions. Pour minimiser l'apparition de blessures et de meurtrissures, **les ateliers de transformation doivent être situés près des lieux de production** afin de réduire les temps de transports et les risques de chocs. Généralement cueillis à proximité des lieux de production, les fruits sont pressés dans les 24 heures après leur récolte. Le jus ou la purée obtenu(e) est ensuite stocké(e) à basse température en fût ou en tank et acheminé(e) vers le lieu de conditionnement sans rompre la chaîne du froid. Saveur et propriétés nutritionnelles sont ainsi préservées.

5.3.1.2. Tri post-récolte

Après la récolte, il est important d'écarter les fruits présentant des traces de pourriture, de blessures, etc. En effet, des fruits abîmés, voire pourris, peuvent amener des défauts visuels ou gustatifs au produit lorsqu'ils seront pressés.

Pour des questions d'ordre sanitaire, il est également important de trier les fruits récoltés, car certaines moisissures peuvent être responsables de la production de mycotoxines. Les fruits qui sont écartés lors de ce tri peuvent ensuite être écoulés de différentes manières suivant le type de fruits dont il s'agit et éventuellement des causes de leur écartement (alimentation du bétail seulement s'ils ne présentent pas de risque sanitaire, compostage, biométhanisation, destruction...).

Une fois triés, les fruits sont lavés à l'aide d'eau propre (donc pas nécessairement «potable») pour retirer les impuretés présentes (poussières, terre, etc.).

5.3.1.3. *Extraction du jus*

C'est à cette étape que le jus est extrait à l'aide de procédés mécaniques. Les fruits seront ainsi pressés ou broyés en fonction du type de fruits traités. Pour augmenter les rendements d'extraction, il peut par ailleurs être intéressant de couper ou broyer les fruits en plus petites fractions pour augmenter l'efficacité de la presse. Chauffer le broyat à 50 °C peut également s'avérer efficace pour augmenter le rendement : cela permettra notamment de faire s'écouler plus facilement le jus du fruit en diminuant sa viscosité.

En fonction du type de fruits, cette étape doit être précédée ou non d'une étape de pelage et de dénoyautage (ex. : mangues).

5.3.1.4. *Tamisage et centrifugation*

Ces étapes sont facultatives et sont fonction des types de fruits utilisés et du produit final désiré. Ces étapes concernent principalement les jus de fruits contenant des résidus solides qui sont indésirables dans les jus de fruits. Ces procédés physiques peuvent ainsi permettre de retirer des éléments tels que les pépins ou l'excès de pulpe dans le cas de jus très pulpeux (tamisage) ou si le produit désiré est un produit sans pulpe (centrifugation).

Après cette étape (si elle est nécessaire), le jus de fruits obtenu peut être mis en bouteille et vendu sous l'appellation « Jus de fruits frais ». Attention toutefois que ce type de jus ne peut se conserver qu'au frigo (4 °C) pendant une durée très limitée (3-4 jours).

Cette étape est la dernière commune aux jus de fruits et aux jus de fruits à base de concentré.

5.3.2. *Opérations pour la préparation de « jus de fruits »*

5.3.2.1. *Désaération*

Cette étape va permettre de retirer les gaz présents dans le jus et particulièrement l'oxygène. L'intérêt de retirer l'oxygène réside dans le fait de limiter le processus d'oxydation. Dans les jus de fruits, l'oxydation peut en effet avoir de multiples effets négatifs :

- dénaturation de molécules d'intérêt sensibles à l'oxydation, comme l'acide ascorbique (vitamine C) ;
- apparition d'une coloration indésirable (brunâtre), due notamment à des réactions telle que le brunissement enzymatique ;
- apparition de goûts indésirables, corrélée aux réactions de brunissement ou à l'oxydation de molécules aromatiques telles que les terpènes.

Ce phénomène d'oxydation a lieu en présence d'oxygène, de lumière et de chaleur modérée. Les **conditions tropicales sont donc favorables** aux réactions d'oxydation et des moyens permettant d'empêcher cette réaction doivent être mis en place pour parvenir à un produit de qualité. Cette étape de désaération est donc l'un des moyens permettant de limiter cette réaction en retirant (au maximum) l'une des causes de l'oxydation.

En production artisanale, cette étape n'est que rarement mise en place au vu du matériel nécessaire. Les jus de fruits artisanaux sont donc plus sensibles à l'oxydation et il sera primordial de jouer sur les autres leviers pour limiter le phénomène d'oxydation. On pourra, par exemple :

- diminuer le pH du jus de fruits (augmenter l'acidité) en ajoutant des ingrédients acidifiants, comme du jus de lime ou de citron ;
- minimiser la quantité d'air présente dans le conditionnement final ;
- utiliser un emballage opaque pour empêcher la lumière de catalyser cette réaction ;
- conserver les jus de fruits au froid pour freiner la réaction ;
- utiliser des traitements thermiques (comme la pasteurisation), qui vont également avoir un effet en détruisant une part importante des enzymes responsables du brunissement enzymatique.

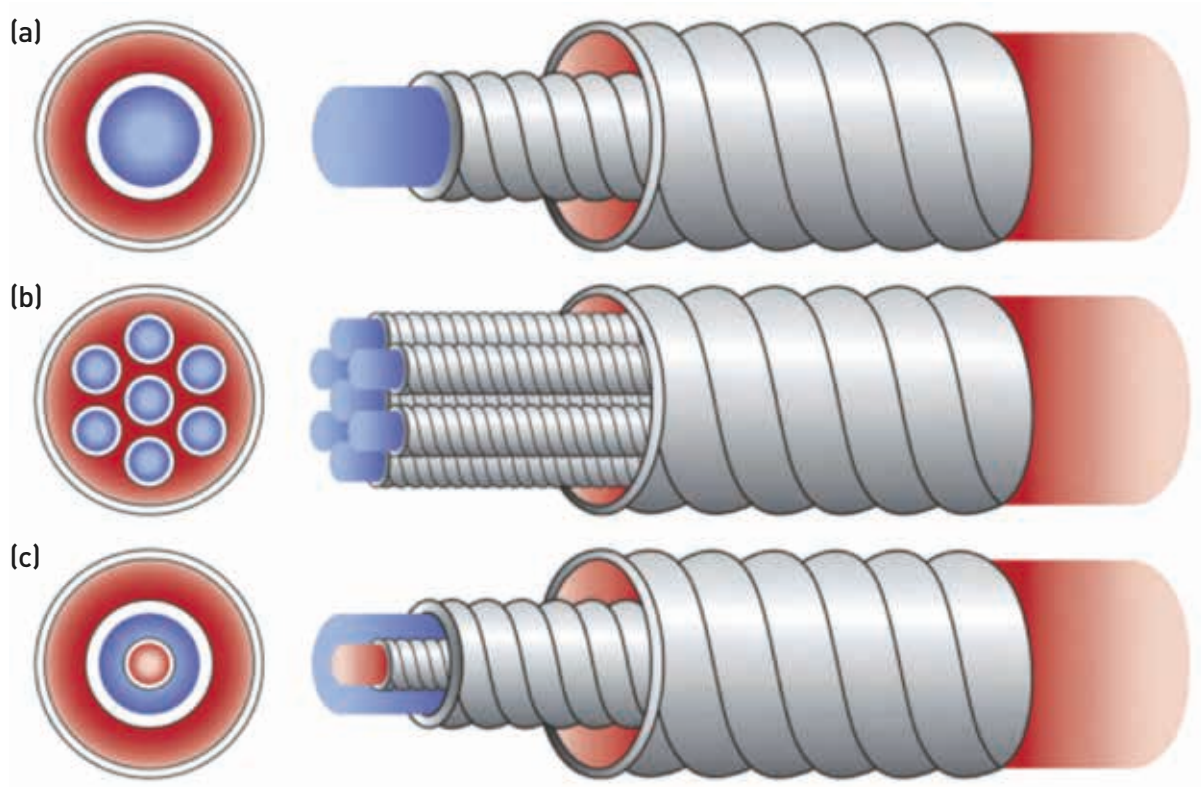
En production industrielle, les méthodes les plus utilisées sont la pulvérisation ou l'écoulement en couche mince dans une enceinte sous-vide.

5.3.2.2. *Pasteurisation*

Pour détruire la plupart des micro-organismes (et tous les pathogènes) ainsi que les enzymes responsables de la dégradation, il est nécessaire d'appliquer un traitement de conservation. La pasteurisation est le traitement de conservation le plus utilisé pour la fabrication de jus de fruits.

Les jus de fruits peuvent être pasteurisés à l'aide d'un **pasteurisateur tubulaire** ou d'un **pasteurisateur à plaques**. On distingue différents types d'échangeurs tubulaires :

- les échangeurs monotube et multitube : le produit alimentaire circule dans un ou plusieurs tuyaux au centre et les fluides thermiques circulent dans la partie extérieure ;
- l'échangeur annulaire : le fluide thermique circule dans deux tuyaux, un central et l'autre annulaire externe ; le produit alimentaire est propulsé dans un canal annulaire intermédiaire.



Circulation des fluides dans les échangeurs tubulaires monotube (a), multitube (b) et annulaire (c)

Dans ces types de pasteurisateurs, **le jus et l'eau chaude s'écoulent à contre-courant** : cela permet une montée progressive de la chaleur du jus et maximise les échanges thermiques.

L'utilisation de ces pasteurisateurs doit se faire **en choisissant des « barèmes » de pasteurisation adaptés**.

« Barèmes » de pasteurisation : il s'agit du **couple temps/température** de chaque produit. Pour comparer les barèmes, on utilise la valeur pasteurisatrice (VP). La VP est le temps, à 70 °C, correspondant à la même efficacité que le barème utilisé.

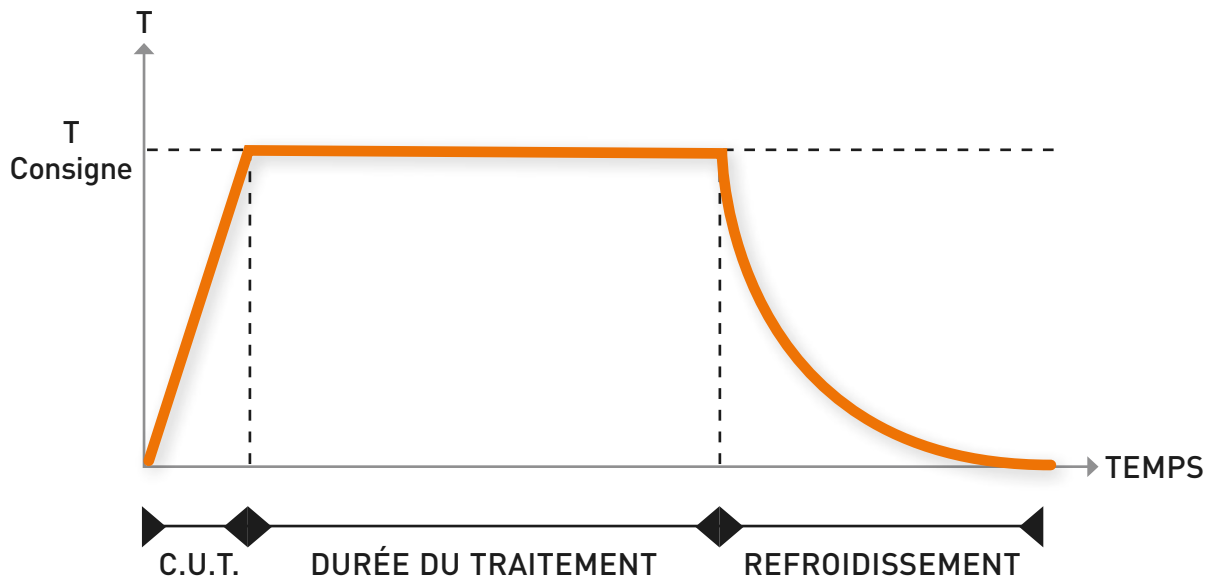


La pasteurisation utilise des températures généralement comprises entre 65 et 95 °C. Les barèmes temps/température **dépendent également des caractéristiques du produit, comme l'acidité**. Par exemple, un jus de fruits acide (pH < 4,5) peut être pasteurisé à l'aide des barèmes suivants :

- 65 °C pendant 30 minutes,
- 77 °C pendant 1 minute,
- 88 °C pendant 15 secondes,
- ou même 97 °C pendant 10 secondes avec un échangeur tubulaire pour un jus de fruit.

Une température plus basse permettra de consommer moins d'énergie et d'éviter la montée en température trop forte du produit, mais nécessitera un temps plus long. **Un compromis doit donc être trouvé** entre ces deux paramètres pour assurer l'efficacité du traitement tout en maintenant la productivité et la qualité du produit.

Mais il est à noter que des barèmes utilisant des températures plus élevées sont utilisés avec des temps d'expositions très courts (ex. : 107 °C pendant 3 secondes) : on parle alors de *flash pasteurisation* ou pasteurisation éclair. Ce type de pasteurisation doit obligatoirement être **suivi d'une phase de refroidissement rapide**, également à l'aide d'un échangeur tubulaire ou à plaques.



À noter que, si le conditionnement utilise un matériau résistant à la chaleur, il est possible d'introduire le jus dans le contenant et de pasteuriser le tout. La pasteurisation peut donc également être la dernière étape de fabrication.

Le principal inconvénient de cette méthode est que, pour atteindre une température efficace de pasteurisation à cœur, il est nécessaire d'utiliser une température plus élevée en périphérie, souvent pendant un temps plus long.

Cela peut avoir un effet néfaste sur le produit en le cuisant en périphérie, ce qui induit un changement de couleur et de goût. Cette méthode, se rapportant à l'appertisation, a été très utilisée jusque dans les années 1960. Celle-ci étant la méthode la plus simple d'utilisation et nécessitant le moins de matériel, il s'agit désormais de la méthode couramment rencontrée en production ménagère.

Pour atteindre une température de 60-70 °C à cœur, le temps que les bouteilles passent dans l'eau chaude (80 °C) dépend du volume du contenant utilisé (voir tableau ci-dessous).

Volume des bouteilles	Temps nécessaire
33 cl	10 minutes
50 cl	15 minutes
75 cl	20 minutes

Cette méthode peut être réalisée au bain-marie, mais nécessite de travailler en lots (*batch*). Cette production discontinue induit une perte de temps et une limitation de la production.

La professionnalisation de cette méthode se fait via l'utilisation de tunnel de pasteurisation en continu utilisant un mécanisme d'aspersion de vapeur sous pression. Dans ces tunnels, les produits subissent une rotation tout le long pour diminuer le risque d'effet cuit en périphérie.

5.3.3. Opérations pour la production de «jus de fruits à base de concentré»

5.3.3.1. Étape de concentration

Cette étape consiste à retirer une partie de l'eau contenue dans le jus. Cette concentration doit être d'au moins 50%. Pour ce faire, le jus est chauffé pour permettre à l'eau de s'évaporer. Pour **éviter l'apparition d'un goût de cuit** et une modification trop importante des molécules aromatiques, l'évaporation a souvent lieu en chauffant sous vide afin qu'elle puisse avoir lieu à des températures inférieures. Pour supprimer totalement ce goût de cuit, la concentration peut également se faire en utilisant le principe de l'osmose inverse. Le phénomène d'osmose inverse est l'opposé de l'osmose naturelle. Pour obtenir l'osmose inverse, il faut appliquer une pression suffisante pour inverser la tendance de l'eau à aller vers la solution la plus concentrée.

Le réel intérêt de la concentration est de réduire le coût du stockage et du transport en diminuant le volume du jus. Ce procédé est donc intéressant pour les produits fabriqués loin de leurs zones de consommation. Cependant, le procédé de concentration induit une modification aromatique du produit et ne sera donc pas (ou rarement) utilisé si la fabrication a lieu dans la zone de consommation.

La production artisanale étant pour la majorité du temps liée à une consommation locale, ce type de jus de fruits est rarement retrouvé dans ce type de production.

5.3.3.2. Congélation – stockage

En fonction de la température à laquelle le concentré a été chauffé et en fonction du temps de stockage (ou de transport) nécessaire avant la poursuite du processus, le concentré peut être conservé tel quel ou congelé jusqu'à son utilisation.

La **congélation sera préférée** si le procédé de concentration n'a pas été réalisé à des températures permettant la destruction des micro-organismes ou si des conditions de stockage stériles ne peuvent pas être assurées. La congélation consiste à placer le concentré à une température de -18 °C. En effet, à cette température, les micro-organismes sont capables de survivre, mais pas de se multiplier. La congélation ne peut donc pas réduire la quantité de micro-organismes présente, juste stopper leur activité pendant le temps de la congélation. La congélation ne se substitue donc en aucun cas à un procédé de conservation (pasteurisation, stérilisation, microfiltration, etc.).

Les produits congelés **doivent donc être sains dès le départ** et ne pas présenter de charge microbienne trop importante.

5.3.3.3. Reconstitution du jus

Une fois que le concentré a été transporté ou stocké pendant la durée voulue, le jus doit être reconstitué. Pour ce faire, il est nécessaire d'ajouter la même quantité d'eau potable que la quantité d'eau retirée lors de la concentration et de réhomogénéiser le tout.

Pour s'assurer d'ajouter la bonne quantité d'eau, **il est nécessaire de mesurer la valeur Brix du jus avant concentration et chercher à obtenir la même valeur lors de la reconstitution.**

5.3.3.4. Pasteurisation

Pour s'assurer d'une bonne qualité sanitaire du produit, le jus de fruits est pasteurisé avant conditionnement. Les principes sont les mêmes que ceux détaillés précédemment.

5.4. LE CONDITIONNEMENT DES JUS DE FRUITS

Pour un produit de qualité, un conditionnement adapté est indispensable. En effet, le conditionnement va avoir un impact sur la qualité du produit tant organoleptique que sanitaire ou nutritionnelle.

Cependant, la difficulté de **choisir correctement le conditionnement** réside dans le fait qu'il doit permettre de conserver la qualité du produit, mais également d'être facile à transporter et facile d'utilisation pour le consommateur.

Différents matériaux peuvent être utilisés pour le conditionnement :

- le plastique : le plus souvent en PET ;
- le carton : en réalité, les emballages de liquides en cartons (ex. : briques ou berlingots) sont composés de plusieurs couches de cartons, aluminium et polyéthylène (PE) ;
- le métal : conserve ou cannette ;
- le verre.

Le conditionnement peut être réalisé à chaud, directement après la pasteurisation. Le conditionnement à chaud est réalisé juste après l'étape de pasteurisation et nécessite des contenants résistant à la chaleur. Le jus est alors à une température comprise entre 82 et 85 °C. À noter qu'un refroidissement est tout de même nécessaire si le jus a subi une pasteurisation éclair. La température du jus va permettre de pasteuriser le contenant sans devoir ajouter de traitement, à condition que l'intérieur du contenant entre entièrement en contact avec le jus chaud. Le jus de fruits conditionné à chaud doit ensuite subir une étape de refroidissement pour éviter les goûts de cuit.

Le conditionnement peut être réalisé à froid, après une étape de refroidissement, pour les matériaux qui ne supportent pas la chaleur. Ce dernier est réalisé après avoir abaissé la température du jus à une température de 5 à 10 °C. Le jus est introduit dans les contenants qui ont obligatoirement été stérilisés au préalable. Cette méthode implique également de travailler dans des conditions stériles.

5.5. LES VÉRIFICATIONS À RÉALISER PENDANT LE PROCESSUS

Dans cette partie, **seuls les dangers qui sont pertinents à considérer lors de la production de jus de fruits et les spécificités de ce type de production seront abordés**. Cependant, pour produire des produits sains, il est bien entendu nécessaire de travailler dans des conditions respectant les Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH). Les prérequis liés à l'application de ces BPH ne seront donc pas redétaillés ici (hygiène du personnel, lutte contre les nuisibles, opérations de nettoyage/désinfection, etc.).

Ces spécificités ne sont bien entendu pas une liste exhaustive et peuvent varier en fonction du type de jus ou de fruits préparés ou encore en fonction du type de technique ou de matériel utilisé.

5.5.1. Utilisation des pesticides

Avant même la récolte, une attention particulière doit être apportée aux fruits, notamment dans la présence de contaminants chimiques en concentrations qui dépasseraient les normes (valeurs limites autorisées par la législation pour : les métaux lourds présents dans les sols ou apportés par des engrais ; les mycotoxines ; les nitrates ; les résidus de pesticides...).

Ainsi, si des **produits phytopharmaceutiques** (« pesticides ») sont utilisés sur les cultures avant la récolte (voire en post-récolte, comme des fongicides sur la banane), il est nécessaire de respecter les Bonnes Pratiques d'utilisation de ces produits (BPA et BPP). Le type de produit, la dose utilisée et le délai avant récolte sont des paramètres fondamentaux pour éviter une contamination du consommateur. Une mauvaise utilisation de ces produits, ou l'emploi d'un produit non autorisé sur la culture, peut induire un **dépassement des LMR dans le produit final, conduire à une non-conformité du produit** (retrait/rappel), voire – selon les cas – présenter un risque réel pour le consommateur. Les LMR à respecter sont celles des fruits à la récolte, avant transformation (ex. : à l'entrée de l'usine). Il ne faut pas prendre en compte la valeur de la LMR dans les jus de fruits sauf si elle a été établie précédemment pour cette substance dans les jus.

Le chauffage ne réduira pas nécessairement la teneur en résidus de pesticides, ni la concentration en métaux lourds (Cd, Pb, p. ex.) ou la teneur en mycotoxines. Il faut donc mesurer ces paramètres dans la matière première, et **faire de la réception un CCP** par rapport à ces paramètres (vérifier le respect des valeurs limites).

5.5.2. Tri post-récolte

Comme cela a été décrit précédemment, une attention particulière doit également être apportée aux fruits au moment de la récolte. **Les fruits doivent être sains** pour éviter toute contamination en micro-organismes pathogènes ou en métabolites indésirables. Ainsi, les fruits présentant des coups, des blessures ou des traces de moisissures doivent être éliminés lors de la phase de tri. Cela doit notamment permettre d'éviter la présence d'organismes pathogènes ou de mycotoxines dans le produit final.

5.5.3. Utilisation d'eau

L'eau utilisée lors de la fabrication ou pour toute opération induisant un contact entre l'eau (ou la surface aspergée) et le produit doit être une eau propre (au lavage seulement) ou respectant les normes OMS définies pour l'eau potable (aux autres étapes) afin d'éviter une contamination par des micro-organismes ou par des substances chimiques.

En effet, l'eau peut être un vecteur de différents types de contaminants biologiques (coliformes, salmonelles...) ou chimiques (nitrates, métaux lourds, pesticides...). La contamination via l'eau peut avoir lieu à chaque étape où de l'eau est utilisée.

Cependant, **l'étape la plus critique sera celle de dilution du concentré de fruits lors de la reconstitution du jus de fruits à base de concentré**. En effet, dans ce cas, l'eau sera ajoutée en quantité relativement importante et sera directement consommée par le consommateur.

5.5.4. Pasteurisation

L'un des principaux risques associés à la production de jus de fruits est le respect du « barème » prévu : le temps et la température de pasteurisation.

En effet, le traitement thermique sert principalement à détruire les micro-organismes pathogènes présents. Cependant, son efficacité est corrélée au respect des barèmes temps/température. Il est donc **primordial de chauffer le produit (à cœur)** à la température définie par le barème choisi, pas à une température inférieure. Par ailleurs, la sonde utilisée pour connaître la température du pasteurisateur doit être étalonnée périodiquement afin de s'assurer que la température donnée par le matériel est correcte.

Mais il est également primordial de respecter le paramètre temps de ce barème et donc de ne pas le raccourcir.

Si le barème n'était pas respecté, cela induirait le fait qu'il est impossible de savoir si les micro-organismes pathogènes ont bien été détruits et donc la consommation du produit pourrait s'avérer risquée pour le consommateur. Il faut donc mesurer ces paramètres et **faire de la pasteurisation un CCP** par rapport à ces paramètres (vérifier le respect du couple temps/température).

5.5.5. Bris de verre

Lors du conditionnement à chaud l'un des dangers pouvant apparaître régulièrement est le bris des bouteilles en verre, ces dernières ne résistant pas à la chaleur du produit. La fermeture des contenants par un couvercle métallique entraîne aussi fréquemment des bris de verre.

Il est donc bien important de travailler avec du matériel de qualité, mais également d'arrêter le remplissage si ce cas de figure devait apparaître pour retirer toute trace de verre brisée.

Tableau de synthèse

Danger	Étape	Nature du danger	Niveau acceptable	Mesures préventives
Résidus de pesticides	Récolte	Chimique	Résidus de pesticides inférieurs à la LMR définie par substance et par type de fruit	Respect des consignes d'utilisation (BPA et BPP)
Présence de mycotoxines (patuline, ochratoxine A)	Récolte	Chimique	Concentration maximale définie par substance	Tri des fruits, élimination des fruits pourris ou abîmés, éviter de ramasser les fruits tombés au sol
Eau contaminée par des agents pathogènes (<i>Vibrio cholerae</i> , <i>E. coli</i> O157:H7, salmonelles, virus hépatite E et A...)	Dilution des jus concentrés	Biologique	Défini par les normes nationales ou par les normes de l'OMS	Utilisation d'eau potable (analyse de l'eau)
Eau contaminée par des substances chimiques (nitrates, métaux lourds...)	Dilution des jus concentrés	Chimique	Défini par les normes nationales ou par les normes de l'OMS	Utilisation d'eau potable (analyse de l'eau)
Température de pasteurisation trop basse, pasteurisation inefficace	Pasteurisation	Biologique	Critères microbiologiques définis par les normes nationales ou par le <i>Codex Alimentarius</i>	Couple temps/ température adapté Sonde de température étalonnée
Bris de verre lors du conditionnement à chaud	Conditionnement	Physique	Absence de morceaux de verre	Utilisation de matériau de qualité et en bon état



Chapitre 6

Préparation des confitures, gelées et marmelades de fruits

6.1. Définition et principes généraux	172
6.2. Caractéristiques des différents produits	175
6.3. Schéma de production des confitures, marmelades et gelées	178
6.4. Risques en production et vérifications à réaliser	189
6.5. Annexe : Formulation et calcul du rendement industriel	193

6.1. DÉFINITION ET PRINCIPES GÉNÉRAUX

Les confitures, marmelades et gelées sont **des produits cuits préparés à partir de fruits, de légumes ou de leur jus**. Ces derniers devront être sains, propres et d'un degré de maturité approprié. Il est toutefois important de préciser que ces produits peuvent être préparés à partir de fruits frais, séchés ou congelés.



Confiture de mangues

Les fruits doivent rester l'ingrédient central de ces préparations; ils vont notamment permettre d'apporter des arômes et saveurs spécifiques, de la couleur et de l'acidité, mais également les composés nécessaires à la formation d'un gel, à savoir **les pectines**. Les pectines sont des composés d'origine glucidiques naturellement présents dans les végétaux. Elles permettent notamment la cohésion intercellulaire et **ont un rôle de « ciment cellulaire »**. À noter que les fruits ne présentent pas tous la même teneur en pectine. La pectine peut donc être ajoutée comme additif (E440) pour compenser la faible teneur de certains fruits.

Lors de la production de confiture, le mélange fruits/sucre est chauffé et les pectines naturellement présentes dans le fruit vont en être extraites. Dans ces conditions, les pectines s'associent entre elles, ce qui permet **la création d'un gel : ce sont donc bien les pectines qui sont responsables de la consistance des confitures.**

La formation de ce gel est **facilitée par la présence d'ions cuivre** ; c'est pour cette raison qu'historiquement les ustensiles utilisés pour la cuisson des confitures sont en cuivre. Cela tend tout de même à disparaître à cause du risque sanitaire que le cuivre représente pour le consommateur.

Les confitures, marmelades et gelées sont des produits présentant **une haute teneur en sucre**. Le sucre est ajouté pour la conservation. En effet, tout comme le sel, augmenter la teneur en sucre va permettre de diminuer l'activité de l'eau (A_w). L'activité de l'eau combinée principalement au pH (à l'acidité) est l'un des paramètres régissant l'activité des micro-organismes dans un produit. De manière assez résumée, la présence d'eau est la condition la plus déterminante pour bon nombre de réactions chimiques et biochimiques. Ainsi, pour être métaboliquement actif, tout organisme ou micro-organisme a besoin d'eau. Cependant, certaines matières, comme le sucre ou le sel, peuvent lier l'eau et donc la rendre indisponible pour ces réactions. Plus des composés capables de lier l'eau seront présents, plus cette activité d'eau diminuera, et donc moins les micro-organismes pourront être actifs et se multiplier. Toutefois, si, dans un premier temps, la baisse de l' A_w va permettre de diminuer l'activité des micro-organismes et des enzymes, cela peut ensuite favoriser d'autres réactions comme l'oxydation des lipides ou la réaction de Maillard.

Dans le cas des confitures, l'ajout de sucre en quantité importante va permettre de baisser l'activité de l'eau jusqu'à une **valeur de 0,84-0,85**. Il est donc important d'amener une quantité de sucre suffisante dans le produit pour permettre une bonne conservation. La réduction de l' A_w ne sera toutefois **pas suffisante pour stopper complètement l'activité des micro-organismes**, notamment des levures et des moisissures. Il est donc possible d'observer un développement de ces derniers sur ces produits.

Pour atteindre cet objectif de baisse de l'activité d'eau, des ingrédients sucrants sont autorisés dans leur préparation, comme³⁴ :

- le sucre (saccharose),
- le sucre de fruit,
- le sirop de fructose,
- le sucre brun,
- le miel.

34 Pour le marché européen, la directive 2001/111/CE précise quels sucres sont destinés à l'alimentation humaine et peuvent être utilisés : le sucre mi-blanc, le sucre blanc, le sucre raffiné, le sucre liquide, le sucre liquide inverti, le sirop de sucre inverti, le sirop de glucose, le sirop de glucose déshydraté, la dextrose mono-hydratée, la dextrose (anhydre), le fructose, le sirop de fructose, le sucre roux/brun et les sucres extraits des fruits.

Les confitures sont également le résultat d'un processus de cuisson plus ou moins long. La baisse de l'activité de l'eau est donc couplée à un traitement thermique permettant de détruire les micro-organismes présents (tout ou en partie en fonction de la durée de la cuisson et de la température de cuisson).



C'est la combinaison de ces deux moyens de conservation qui permet une conservation des produits (non ouverts) sur un temps relativement long.

Les fruits et les ingrédients sucrants sont la base de la préparation de ces produits. Toutefois, d'autres ingrédients peuvent être ajoutés tels que des herbes aromatiques, des épices ou encore des fruits à coques (attention toutefois au caractère allergène de ces derniers pour certaines personnes sensibles).

6.2. CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS PRODUITS

6.2.1. Confiture

La «confiture» est un produit préparé à partir de fruits entiers ou en morceaux, de pulpes et/ou de purée concentrée ou non concentrée d'une ou plusieurs sortes de fruits, mélangés avec des ingrédients sucrants.

De l'eau potable peut être ajoutée aux confitures pour obtenir la consistance adéquate. Toutefois, il est également important de respecter un critère de qualité basé sur les matières sèches solubles (correspondant globalement au sucre) qui doivent être comprise entre 60 et 65% ou plus.

6.2.2. Gelée

La «gelée» est un produit préparé à partir de jus et/ou d'extraits aqueux d'un ou de plusieurs fruits mélangés avec des ingrédients sucrants.

De l'eau potable peut être ajoutée aux gelées pour obtenir une consistance gélifiée semi-solide. Toutefois, comme pour les confitures, les matières sèches solubles doivent être comprise entre 60 et 65% ou plus.

6.2.3. Marmelade

Le terme de «marmelade» concerne principalement les produits obtenus à partir d'agrumes. Ainsi, on parlera de marmelade d'agrumes pour les produits préparés à partir d'agrumes (fruits entiers ou en morceaux, pelés ou non, en purée, zestes, pulpe ou jus) mélangés à des ingrédients sucrants et portés à une consistance adéquate.

Cette marmelade d'agrumes devra être préparée à partir de 20% de fruits minimum dont au moins 7,5% doit provenir de l'endocarpe (la chair de l'agrumes).

La marmelade d'agrumes peut également être désignée sous le nom de marmelade d'agrumes en gelée dans le cas où la totalité des matières sèches insolubles ont été extraites (petite quantité de pelures tranchées autorisée).

Les produits présentés sous l'appellation marmelade, mais préparés à partir d'autres fruits que des agrumes, doivent être préparés par la cuisson de fruits entiers, en morceaux ou concassés, mélangés à des ingrédients sucrants, jusqu'à l'obtention d'une consistance semi-liquide ou épaisse. Ces marmelades de fruits doivent avoir une **teneur en fruits d'au moins 30%**, excepté pour le gingembre dont la teneur doit être de 11% minimum.

6.2.4. Teneur en fruits des différents produits

La teneur en fruits des différents produits permet également de différencier la qualité des confitures et des gelées. Ainsi, on pourra parler de « **confiture extra** » ou de « gelée extra » pour les produits présentant une teneur en fruits supérieure aux confiture et gelées classiques.

6.2.4.1. Confitures et gelées extras

Pour les confitures et gelées extras, il faudra que le produit contienne **au moins 45% de fruits sauf pour certains fruits** :

- mangues, ramboutans, bissap, cormes, argousiers : 35 % ;
- corossol et canneberge : 30 % ;
- bananes, gingembre, goyave, jacquier, sapotille, cempedak : 25 % ;
- pomme cajou : 23 % ;
- durian : 20 % ;
- tamarin : 10 % ;
- fruit de la passion et autres fruits très acides : 8 %.

La teneur en sucre sera donc de 50-55%. Pour rappel, il est important de ne pas mettre trop peu de sucre, le sucre étant l'agent de conservation utilisé dans ces produits. Avec une teneur trop faible en sucre, l'Aw risque d'être trop haute, ce qui entraîne une plus forte probabilité de développement de micro-organismes.

6.2.4.2. Autres confitures et gelées

Pour les confitures et gelées non extras, il suffira que le produit contienne au moins 35% de fruits, sauf pour certains fruits :

- mangues, ramboutans, bissap, cormes, argousiers : 25 % ;
- corossol et canneberge : 20 % ;
- pomme cajou : 16 % ;
- bananes, gingembre, goyave, jacquier, sapotille, cempedak : 15 % ;
- gingembre : 11-15 % ;
- durian : 10 % ;
- tamarin, fruit de la passion et autres fruits très acides : 6 %.

La teneur en fruits est identique pour les gelées ou pour les confitures. Toutefois, pour les gelées, et principalement dans le cas des gelées préparées à partir d'extraits aqueux, il est important de bien prendre en compte l'eau ajoutée au produit.

6.2.5. Additifs autorisés dans les confitures, marmelades et gelées

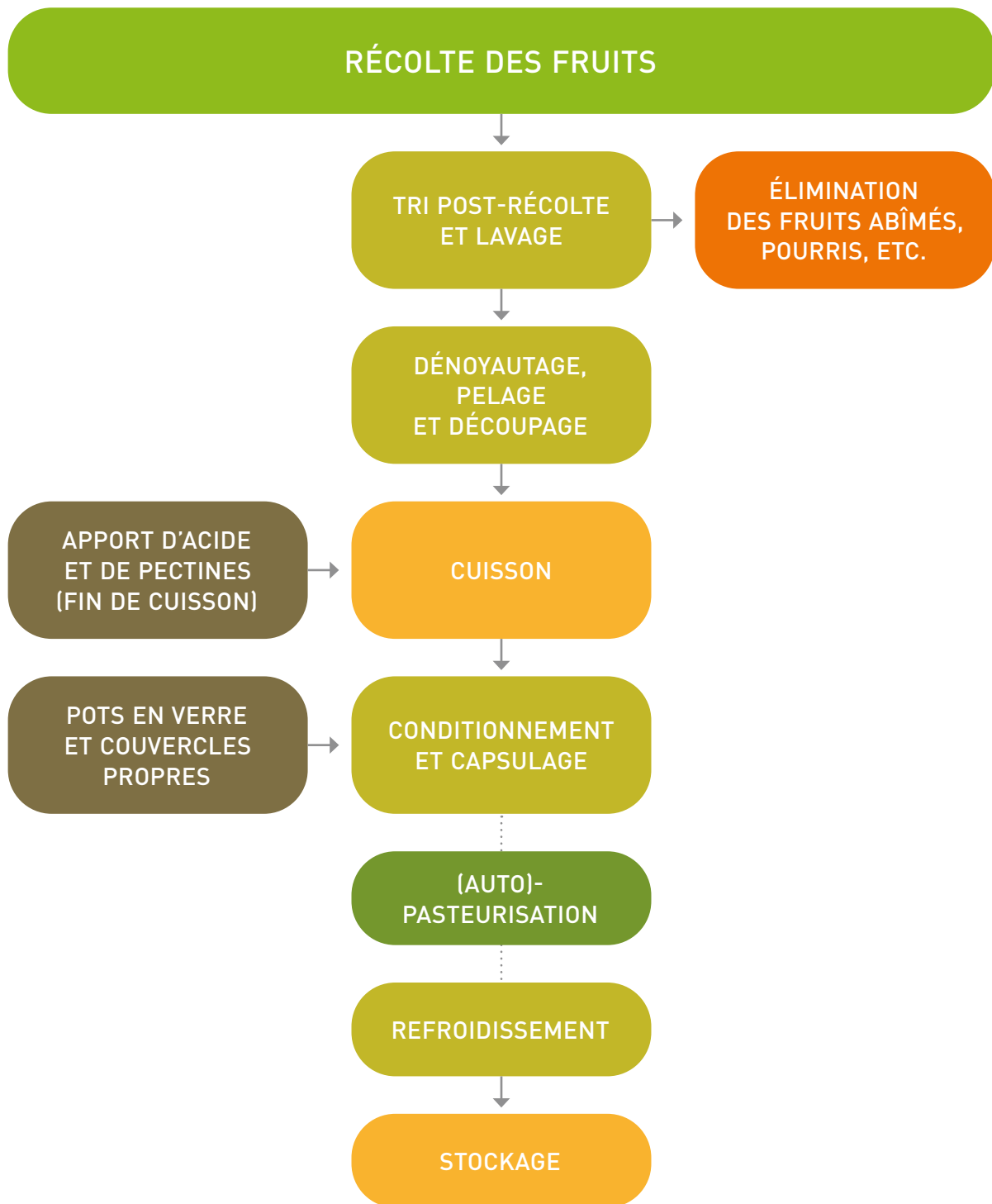
Dans les fabrications artisanales, le nombre d'additifs utilisés est très restreint (pectines et acide, p. ex.). Mais dans les productions industrielles, les additifs autorisés les plus courants sont les suivants :

- les épaississants (pectines E 440) : épaississent les produits et les rendent plus fermes ;
- les acidifiants (acide citrique E 330 ; acide ascorbique E300) : rendent les produits plus sûrs, leur goût plus frais et augmentent parfois leur durée de conservation ;
- les antioxydants (acide ascorbique E 300) : limitent le rancissement des aliments et préviennent la coloration des produits ;
- les colorants : procurent au produit une couleur destinée à le rendre plus attrayant ; le seul colorant autorisé est le jus de betteraves rouge E 162 ; cependant, celui-ci n'est permis que pour renforcer la coloration des confitures ;
- les conservateurs (acide lactique E 270) : d'usage de plus en plus rare, ils freinent la croissance des bactéries, champignons et levures ; ceci permet de conserver plus longtemps les aliments.

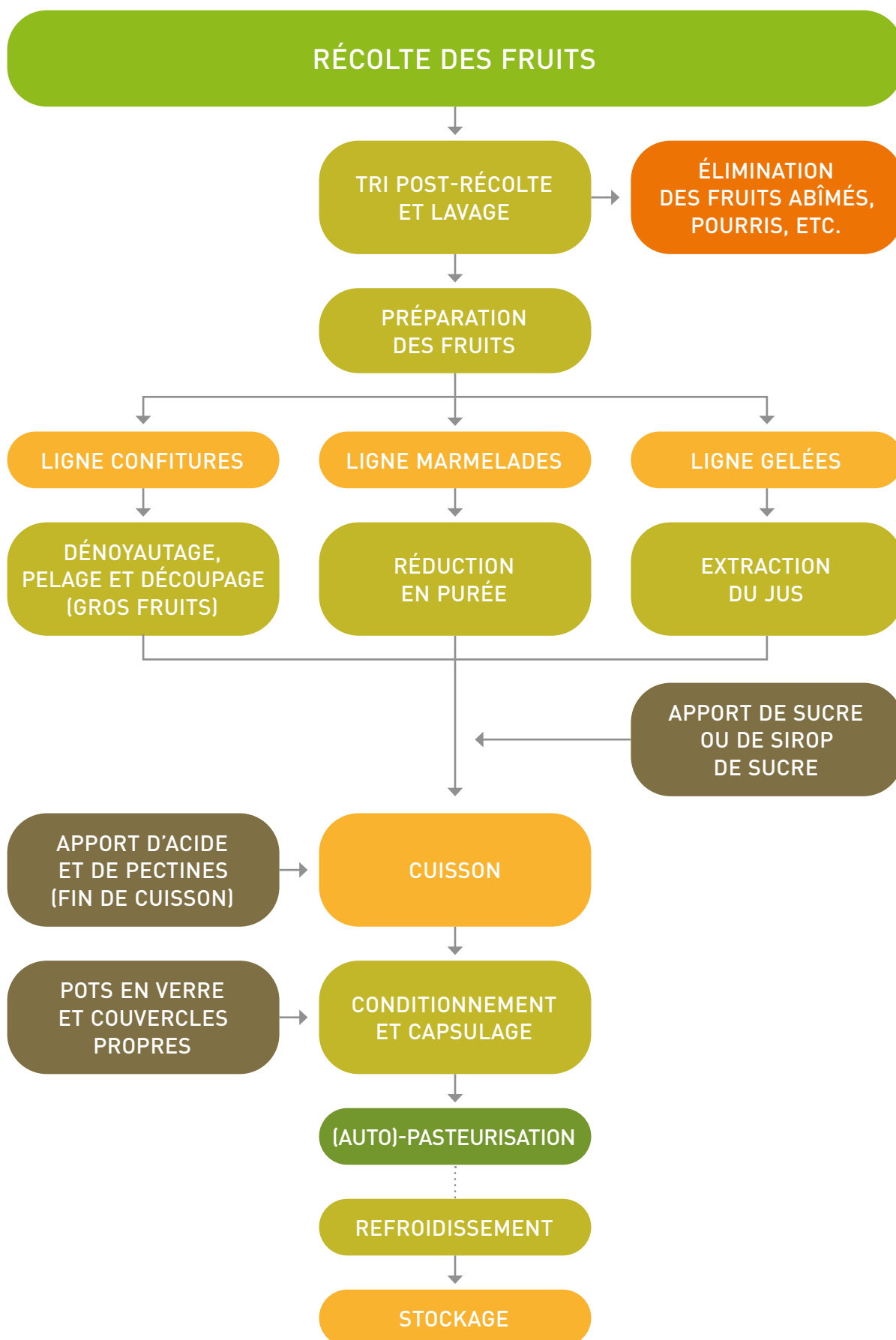
Toutefois, il est possible de trouver encore bien d'autres additifs, comme des édulcorants ou des sucres spéciaux pour les « confitures sans sucres » réservées aux diabétiques (ou aux personnes qui souhaitent suivre un régime amaigrissant) : E202 – sorbate de potassium ; E406 – Agar-agar ; E333 – Citrates de calcium ; E327 – Lactate de calcium ; E955 – Sucralose ; E331 – Citrates de sodium ; E960 – Glucosides de stéviol ; E211 – Benzoate de sodium ; E950 – Acésulfame K ; E509 – Chlorure de calcium ; E420 – Sorbitol ; E965 – Maltitol ; E420ii – Sirop de sorbitol ; E440ii – Pectine amidée ; E968 – Érythritol ; E428 – Gélatine ; E1400 – Dextrines ; E410 – Farine de graines de caroube ; E100 – Curcumine ; E325 – Lactate de sodium ; E965ii – Sirop de maltitol.

6.3. SCHÉMA DE PRODUCTION DES CONFITURES, MARMELADES ET GELÉES

Le processus général et le plus courant pour la fabrication des confitures est détaillé ci-dessous. Il est le même que ce soit pour des fabrications artisanales ou industrielles, l'étape de pasteurisation étant parfois évitée (auto-pasteurisation, cf. *infra*).



Selon le *Manuel FAO*, le processus pour la fabrication des confitures, marmelades ou gelées peut se présenter comme suit :



Pour les gelées, ce produit étant préparé à partir de jus de fruits, les étapes concernant la préparation des fruits n'ont pas lieu d'être. Cependant, les étapes de cuisson et conditionnement sont identiques.

6.3.1. Opérations de préparation des fruits pour la préparation des confitures et marmelades

6.3.1.1. Étape de récolte

Une attention toute particulière doit être apportée aux fruits dès la récolte si l'on souhaite obtenir un produit de qualité. C'est lors de la récolte qu'a lieu la cueillette des fruits. Quel que soit le produit et quelle que soit sa provenance, le moment de la cueillette revêt une importance décisive. En effet, celle-ci s'opère au seuil de la maturité idéale des fruits. Lors de la récolte, il est donc important de **bien sélectionner les fruits** afin de les choisir à **leur stade de maturité optimale, lorsque les taux de sucre, de jus et d'arômes sont au plus haut**, c'est-à-dire quand leurs propriétés nutritionnelles et gustatives sont optimales.

La **formation des opérateurs responsables de la récolte** est donc primordiale pour la sélection des fruits, mais également pour minimiser les dommages causés aux fruits. En effet, lors de la récolte, via la manipulation des fruits et la manutention des caisses, de nombreuses lésions peuvent être causées aux fruits. Ainsi, on pourra observer l'apparition de blessures (coupures et perforations) grâce auxquelles bactéries et champignons vont pouvoir entrer dans le fruit et s'y développer, causant notamment l'apparition du phénomène de pourriture.

Une mauvaise manipulation ou manutention peut également être responsable de l'apparition de meurtrissures dont les traces n'apparaîtront que plusieurs jours après la récolte. Ces meurtrissures sont souvent dues à des chocs, une compression durant le stockage ou à un phénomène d'abrasion dû aux frictions. Pour minimiser l'apparition de blessures et de meurtrissures, **les ateliers de transformation doivent être situés près des lieux de production** afin de réduire les temps de transport et les risques de chocs.

6.3.1.2. Tri-post récolte et lavage

Après la récolte, il est important d'écarter les fruits présentant des traces de pourritures, de blessures, etc. En effet, des fruits abîmés, voire pourris, peuvent amener des défauts visuels ou gustatifs au produit lorsqu'ils seront transformés.

Pour des questions d'ordre sanitaire, il est également important de trier les fruits récoltés, car certaines moisissures peuvent être responsables de la production de mycotoxines. Les fruits qui sont écartés lors de ce tri peuvent ensuite être écoulés de différentes manières suivant le type de fruits dont il s'agit et éventuellement des causes de leur écartement (alimentation du bétail seulement s'ils ne présentent pas de risque sanitaire, compostage, biométhanisation, destruction...).

Les fruits **doivent ensuite être lavés à l'aide d'eau propre** pour éliminer les impuretés présentes à leur surface (poussière, terre, etc.). Le nettoyage peut être réalisé de deux manières :

- par aspersion : un jet d'eau est appliqué directement sur les fruits,
- par immersion : les fruits sont immergés dans un bac d'eau.

Le choix entre ces deux méthodes dépendra de la fragilité des fruits traités.

6.3.1.3. *Dénoyautage, pelage et découpe*

En fonction du type de fruits utilisé pour la fabrication des confitures, certains fruits, comme les mangues, devront d'abord être pelés et dénoyautés pour retirer les parties non comestibles du fruit. Voici les opérations à effectuer.

- **Dénoyauter** : les noyaux peuvent être enlevés à l'aide d'une dénoyauteuse à aiguille. La machine est composée d'un tambour comportant des rangées d'alvéoles dans lesquelles les fruits viennent se positionner. Ces alvéoles passent sous les aiguilles emporte-pièce qui transpercent les fruits en éjectant les noyaux. Les noyaux doivent être retirés soigneusement pour éviter que des **éclats de noyaux** ne soient présents dans le produit, ce qui pourrait représenter un risque pour le consommateur. Ces noyaux peuvent à leur tour être valorisés dans une autre filière (valorisation de co-produits).
- **Enlever les parties non comestibles.**
- **Équeuter.**

Certains fruits volumineux, comme la mangue ou l'ananas, devront être découpés avant cuisson pour s'assurer d'avoir une cuisson homogène et rapide.

6.3.2. **Opérations de préparation communes pour les confitures, gelées et marmelades**

6.3.2.1. *Mélange et gélification*

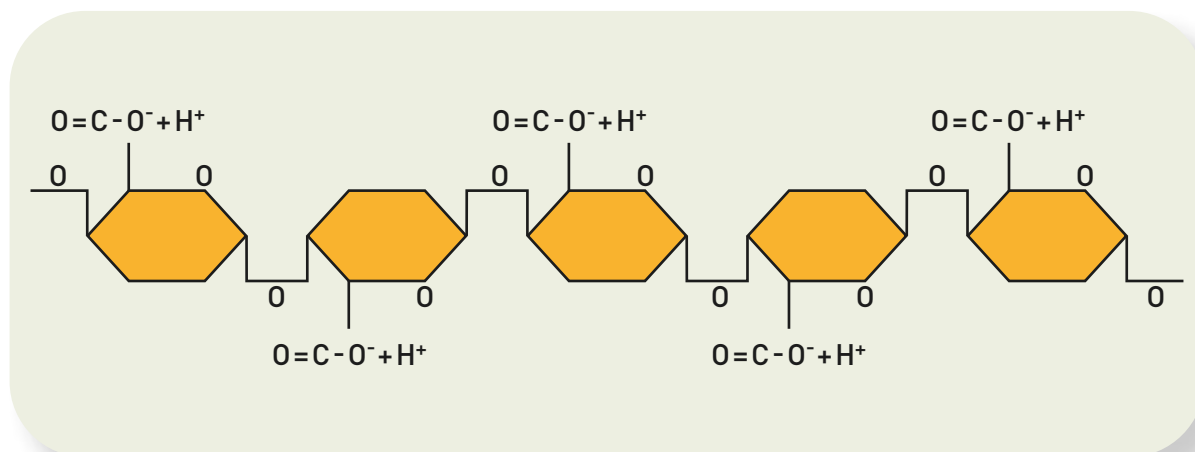
Une fois les fruits préparés, ou les jus de fruits dans le cas de la gelée, ils sont **mélangés au sucre et à la pectine** si celle-ci est nécessaire. Les mélangeurs utilisés diffèrent selon qu'il s'agit de fruits entiers ou de fruits en morceaux. Lorsqu'on utilise des fruits entiers (ex. : fraises ou framboises) ou des morceaux de fruits (ex. : prunes), on souhaite les retrouver le moins écrasés possible dans la confiture et on utilise alors des mélangeurs à palettes radiales multiples ou ruban hélicoïdal.



La pectine fait partie des additifs alimentaires gélifiants (code E 440). C'est une substance gélifiante naturelle que l'on retrouve dans les fruits. Certains fruits sont naturellement très riches en pectine, comme les pommes, les fruits rouges (sauf la fraise), les coings, les écorces d'oranges et de citrons ; et d'autres en possèdent très peu, comme les cerises, les fraises, les poires... Elle est extraite industriellement des co-produits de l'industrie des jus de fruits, principalement des agrumes et, en moins grande quantité, des marcs de pomme.

On trouve la pectine en poudre fine ou directement mélangée avec du sucre pour être utilisée dans les confitures et gelées. Pour une meilleure dissolution, il est recommandé de la mélanger d'abord au sucre à raison de 10 à 15 grammes de pectine par kilogramme de sucre.

Les pectines constituent un ensemble complexe de macromolécules. Elles sont constituées d'une chaîne principale et de chaînes secondaires branchées. Les monomères sont variés ainsi que les types de branchements. La chaîne principale est constituée d'acide galacturonique (un polymère acide).



Les molécules d'eau contenues dans la confiture sont fixées par des liaisons d'hydrogène aux groupements hydroxyles de la chaîne poly-méthyl-galacturonique. En outre, les molécules pectiques portent des charges électriques négatives, ce qui a pour effet, d'une part de les faire s'étirer – et par là d'accroître la viscosité de la solution –, et d'autre part de les faire se repousser l'une par rapport à l'autre. Ces facteurs concourent à maintenir les molécules à l'état dispersé.

Lorsqu'on réduit les charges et l'hydratation, les filaments de pectines tendent à se précipiter. Ils se rapprochent, se lient et forment un réseau tridimensionnel solide qui retient entre ses mailles la phase liquide. Dans le cas des confitures (pectines fortement méthylées), le degré d'hydratation est réduit grâce à l'addition de sucres et la diminution des charges électriques par **l'apport de charges H⁺ fourni par l'acidité du fruit et des acides ajoutés**. Ce sont des liaisons faibles (liaisons hydrogène de type électrostatique) qui donnent un gel d'une grande plasticité.

La pectine ayant donc besoin d'acidité pour s'activer, il est nécessaire d'ajouter un jus de citron dans les confitures et gelées. Mais de l'acide citrique est couramment ajoutée au mélange après la cuisson également pour son pouvoir acidifiant et son rôle de conservateur.

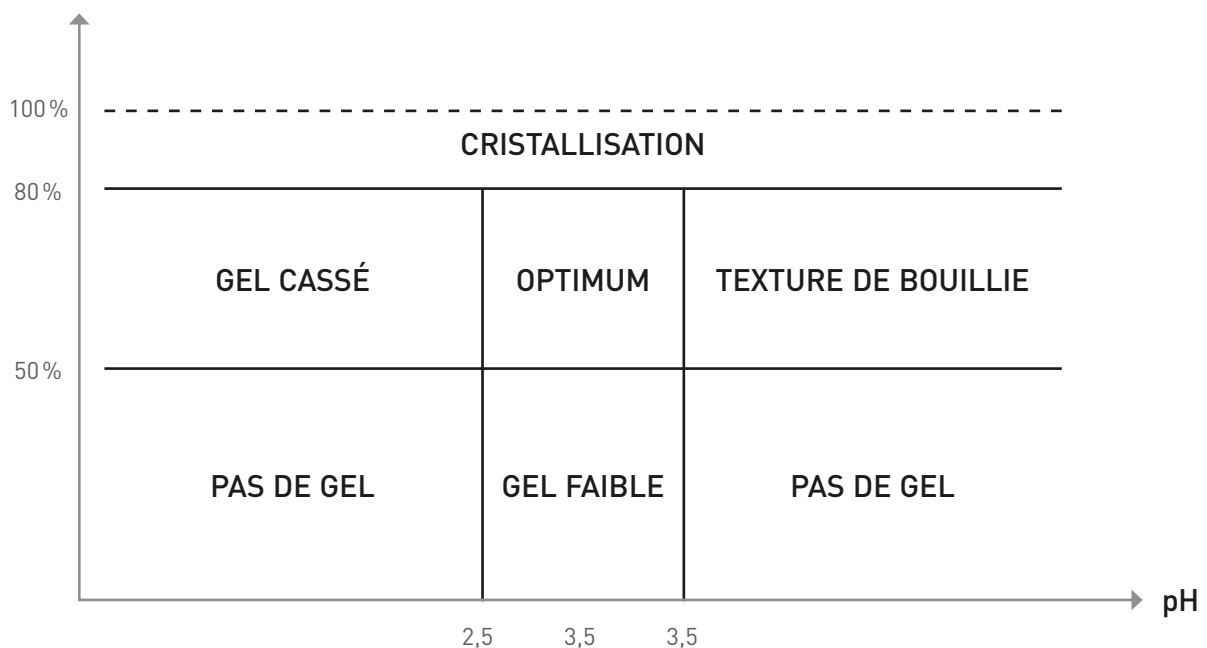
Il faut retenir que la gélification dépend de 3 facteurs :

- de la teneur en pectines,
- de la teneur en sucres,
- du pH.

Seul un équilibre entre ces 3 facteurs permet une bonne gélification.

Le pH est un facteur important. En pratique, il doit se situer entre 2,9 et 3,3, mais il dépend de la qualité de la pectine. Pour une production standardisée, il est intéressant d'utiliser des pectines du commerce. Les pectines sont classées en fonction de leur taux de méthylation, qui définit leurs usages par leur vitesse de prise en gelée.

% en sucre



La gélification en fonction du pH et de la concentration en sucres

6.3.2.2. Cuisson

La cuisson atmosphérique est bien adaptée aux petites séries de la production artisanale. Elle s'effectue par chauffage du mélange fruits/sucres dans une bassine de forme hémisphérique à large ouverture pour favoriser l'évaporation de l'eau par ébullition.

Le mélange est ensuite **amené à ébullition** pour permettre :

- d'évaporer de l'eau pour obtenir la concentration désirée,
- de cuire les fruits jusqu'à la consistance optimale,
- de détruire les micro-organismes,
- de détruire les enzymes responsables de la dégradation,
- de dissoudre le sucre.

La cuisson doit également permettre d'extraire la pectine des fruits et permettre au gel de se former.



L'ébullition doit être maintenue pendant un temps relativement court pour éviter tout phénomène de surcuisson qui pourrait avoir un effet inverse à celui voulu en endommageant les pectines, ce qui rendrait la formation du gel impossible.

Attention également à **minimiser les remous pour éviter la perte et la destruction des composés volatils**, responsables notamment de l'odeur et du goût.

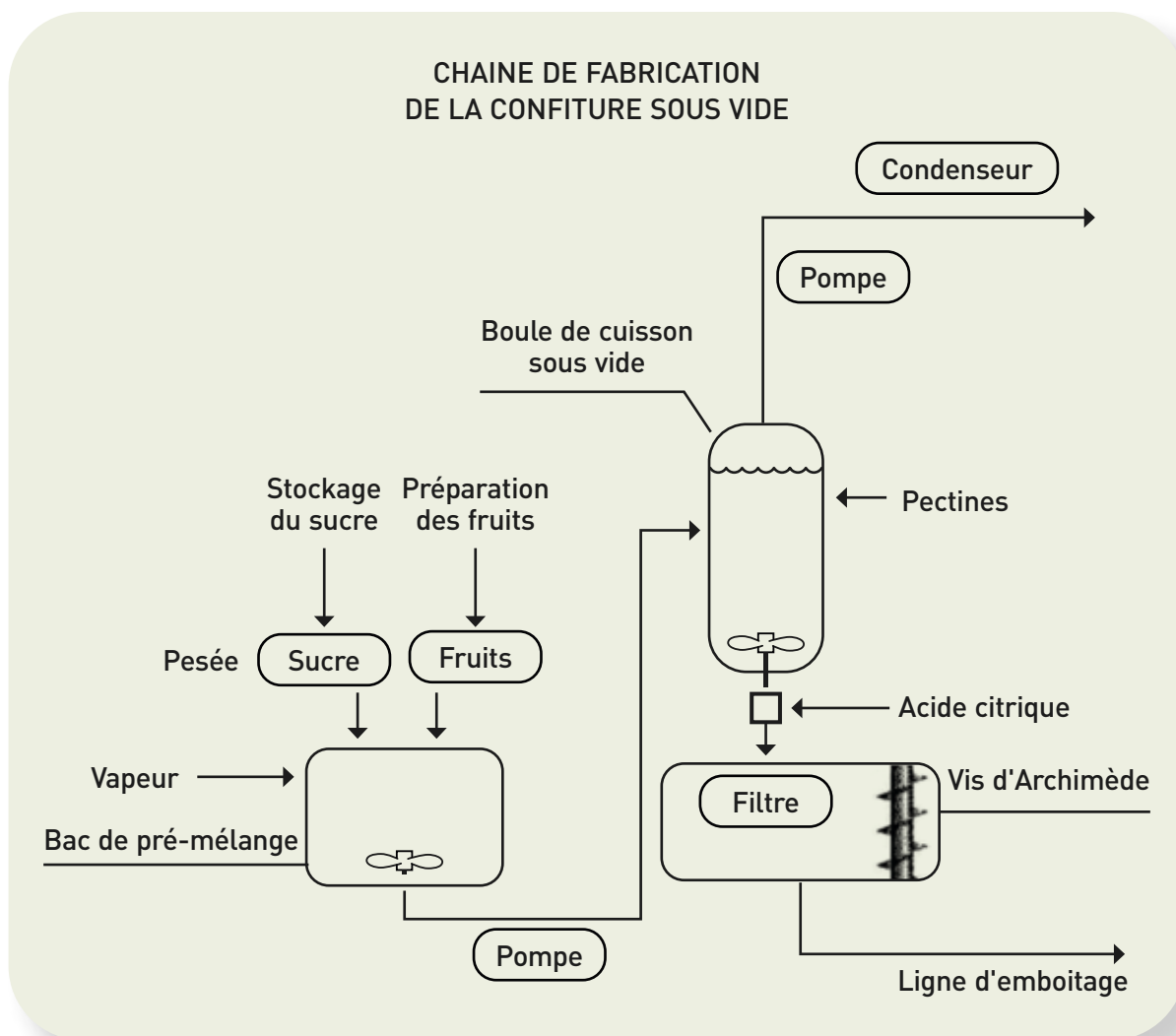
L'ébullition est donc idéalement maintenue **pendant 7 à 8 minutes à une température de 104-105 °C**. La température de cuisson des gelées peut être légèrement supérieure et aller jusqu'à 110 °C.

Le processus de fabrication des confitures comporte de nombreuses étapes durant lesquelles le fruit est altéré. L'étape la plus sensible est la cuisson des fruits avec le sucre. En effet, dans le cas d'un chauffage classique, sous atmosphère pressurisée ou non, les membranes cellulaires sont détruites, laissant échapper librement les sucres et arômes du fruit.

Par conséquent, certains industriels utilisent toujours des bassines de cuisson pour ces produits. Toutefois, la méthode la plus utilisée désormais est **la méthode de cuisson sous vide**.



Cuiseur sous vide industriel et le modèle de petite taille (13 litres)



Les cuiseurs sous vide présentent l'avantage de pouvoir amener le produit à ébullition à une température largement inférieure. Suivant les réglages du vide, on peut, avec ce procédé, cuire le produit et évaporer l'eau en excès entre 50 °C et 75 °C. Cela permet **d'éviter la destruction des composés ayant un intérêt nutritionnel ou aromatique**. Ce procédé permet aussi de fabriquer des tonnages importants de confiture.

Les fruits et le sucre sont mélangés dans un bac de prémélange dans lequel on injecte de la vapeur. Après mélange, le contenu du bac de prémélange (prémise) est aspiré vers le cuiseur par l'intermédiaire d'une pompe. L'agitateur de la boule ainsi que le chauffage à la vapeur sont mis en route.

La «boule de cuisson» étant chauffée sous vide, l'eau en excès est évaporée pendant une dizaine de minutes. On récupère de l'eau provenant des fruits jusqu'à l'obtention de 61 ° BRIX au niveau du mélange. La cuisson sous vide s'opère, par exemple, à une température de 65 à 75 °C et une pression résiduelle de 30 à 40 mm de Hg (40 à 53 mbar). Ensuite, le vide est cassé. La température du produit augmente alors brutalement à 95-96 °C quand on revient à la pression atmosphérique. **Cette étape permet la pasteurisation de la confiture sans manutention**. La pectine liquide est ajoutée, suivant la recette, en maintenant l'agitation.

À 95 °C, la confiture étant liquide, elle peut descendre par gravité jusqu'au bac d'inspection, tandis qu'une solution d'acide (citrique, p. ex.) y est ajoutée. Elle traverse ensuite un filtre (appelé «panier») et elle est récupérée dans un bac où **elle est brassée par l'intermédiaire d'une vis d'Archimède pour éviter le floating**. En effet, la densité du jus étant plus élevée que celle des fruits, sans brassage, les fruits pourraient flotter au-dessus du liquide: ce que l'on appelle le *floating*. De façon à obtenir un produit fini homogène lors du conditionnement, il sera donc nécessaire de mélanger en continu jusqu'au bout du processus. Un opérateur contrôle à cette étape la conformité du produit (pas de zone brûlée, de noyaux, de queues, densité correcte, etc.).

6.3.2.3. Conditionnement

Le conditionnement de ces produits est réalisé à chaud, juste après l'étape de cuisson, lorsque la température du produit est d'environ 80-90 °C. À cette température, le produit est liquide, et **cela lui permet de pasteuriser le contenant grâce à sa propre chaleur**: ce procédé est aussi appelé «**auto-pasteurisation**». Cela nécessite que le contenant soit propre et résistant à la chaleur. S'il n'est pas possible de réaliser une auto-pasteurisation, les pots doivent être pasteurisés au préalable.



La solution de conditionnement la plus utilisée est le pot en verre avec un couvercle en métal, avec une fermeture de type *twist off*.

Le choix du bocal n'est pas critique, mais il doit avoir une **ouverture large** pour faciliter le remplissage.

Toutefois, dans le cas des fruits rouges, relativement acides, il est déconseillé d'utiliser des boîtes métalliques.

Le couvercle peut être ajouté tel quel après le remplissage des pots. Les pots **doivent ensuite être retournés pour que le produit toujours chaud pasteurise également le couvercle**.

Une autre technique couramment utilisée pour réaliser le capsulage consiste à coupler le capsulage à une **injection de vapeur sous pression et surchauffée**.

Cette injection de vapeur va permettre de détruire les micro-organismes potentiellement présents sur le couvercle et va également permettre de créer du vide dans la zone comprise entre le produit et le couvercle.

Cette zone de vide améliorera également la conservation du produit.

Sans cette zone de vide, il est important de remplir les contenants au maximum pour minimiser la présence d'air à l'intérieur. En effet, l'air présent, et surtout l'oxygène qu'il contient, va permettre à certaines réactions de dégradation d'avoir lieu (**oxydation, brunissement...**) ou si certains micro-organismes sont présents, cela va leur permettre de se développer, ce qui peut avoir un effet indésirable sur le produit et représenter un risque sanitaire pour le consommateur.

6.3.2.4. Pasteurisation

Pour s'assurer qu'aucun micro-organisme pathogène n'est présent et qu'il n'y a donc aucun risque pour le consommateur, les pots de confiture, gelées ou marmelades sont pasteurisés. **Cette étape est d'autant plus importante dans le cas d'une cuisson sous vide à des températures ne dépassant pas les 80 °C.**

Pour ces types de produits, cette étape de pasteurisation est couramment réalisée après le conditionnement. Pour ce faire, le matériau utilisé pour le conditionnement doit donc être automatiquement résistant à la chaleur.

Cette méthode peut être réalisée **au bain-marie**, mais nécessite de **travailler de manière discontinue, en lots (batches)**; cette production discontinue induit une perte de temps et une limitation de la production. Pour les confitures, gelées et marmelades conditionnées dans des **pots en verre de 250 g, les pots sont immergés dans de l'eau bouillante pendant 10 minutes.**

La professionnalisation de cette méthode se fait via l'utilisation de tunnel de pasteurisation en continu utilisant un mécanisme d'aspersion de vapeur sous pression. Dans ces tunnels, les produits subissent une rotation tout au long du processus pour diminuer le risque d'effet cuit en périphérie.

La pasteurisation doit être suivie d'une **étape de refroidissement pour stopper la chauffe** du produit qui peut entraîner des pertes tant au niveau nutritionnel qu'organoleptique.

Il est toutefois à noter que la pasteurisation est une étape présente pour s'assurer qu'il n'y a plus de risques de présence de micro-organismes pathogènes, mais cette étape n'est pas indispensable, la cuisson jouant également le rôle de traitement thermique. Ainsi, **de nombreux producteurs de confitures, gelées ou marmelades se passent de l'étape de pasteurisation.** Dans ce cas, il est nécessaire de bien respecter le temps et la température de cuisson pour que cette dernière joue son rôle efficacement. Il est aussi nécessaire de vérifier la température du produit à chaque étape pour éviter qu'elle ne descende pas en dessous de 80 °C jusqu'à ce que le contenant soit scellé. **Cette méthode exige donc une certaine rapidité.**

Par ailleurs, dans ce cas de figure, si le produit conditionné ne subit pas de pasteurisation, il arrive que le contenant vide soit lui-même pasteurisé juste avant l'étape de conditionnement.

6.4. RISQUES EN PRODUCTION ET VÉRIFICATIONS À RÉALISER

Dans cette partie, **seuls les dangers qui sont pertinents à considérer lors de la production de confiture, gelées et marmelades ainsi que les spécificités de ce type de production seront abordés**. Cependant, pour produire des produits sains, il est bien entendu nécessaire de travailler dans des conditions respectant les Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH). Les prérequis liés à l'application de ces BPH ne seront donc pas redétaillés ici (hygiène du personnel, lutte contre les nuisibles, opérations de nettoyage/désinfection, etc.).

Ces spécificités ne sont bien entendu pas une liste exhaustive et peuvent varier en fonction du type de produit ou de fruits préparés, ou encore en fonction du type de technique ou de matériel utilisé.

6.4.1. Utilisation de pesticides

Avant même la récolte, une attention particulière doit être apportée aux fruits, notamment dans la présence de contaminants chimiques en concentrations qui dépasseraient les normes (valeurs limites autorisées par la législation pour : les métaux lourds présents dans les sols ou apportés par des engrais ; les mycotoxines ; les nitrates ; les résidus de pesticides...).

Ainsi, si des **produits phytopharmaceutiques** (« pesticides ») sont utilisés sur les cultures avant la récolte (voire en post-récolte, comme des fongicides sur la banane), il est nécessaire de respecter les Bonnes Pratiques d'utilisation de ces produits (BPA et BPP), le type de produit, la dose utilisée et le délai avant récolte étant des paramètres fondamentaux pour éviter une contamination du consommateur. Une mauvaise utilisation de ces produits ou l'emploi d'un produit non autorisé sur la culture peuvent induire un **dépassement des LMR dans le produit final, conduire à une non-conformité du produit** (retrait/rappel), voire – selon les cas – présenter un risque réel pour le consommateur. Les LMR à respecter sont celles des fruits à récolte, avant transformation (ex. : à l'entrée de l'usine). Il ne faut pas prendre en compte la valeur de la LMR dans les jus de fruits, sauf si elle a été établie précédemment pour cette substance dans les jus.

Le chauffage ne réduira pas nécessairement la teneur en résidus de pesticides, ni la concentration en métaux lourds (Cd, Pb, p. ex.) ou la teneur en mycotoxines. Il faut donc mesurer ces paramètres dans la matière première, et **faire de la réception un CCP** par rapport à ces paramètres (vérifier le respect des valeurs limites).

6.4.2. Tri-post récolte

Comme cela a été décrit précédemment, une attention particulière doit également être apportée aux fruits au moment de la récolte. **Les fruits doivent être sains** pour éviter toute contamination en micro-organismes pathogènes ou en métabolites indésirables. Ainsi, les fruits présentant des coups, des blessures ou des traces de moisissures doivent être éliminés lors de la phase de tri. Cela doit notamment permettre d'éviter la présence d'organismes pathogènes ou de mycotoxines dans le produit final.

6.4.3. Noyaux

La présence de noyaux dans le produit fini peut être dû à un dénoyautage mal effectué. Ces noyaux ou morceaux de noyaux représentent des corps étrangers et peuvent avoir un effet sur la santé du consommateur.

Si cette étape se révèle nécessaire, il est important qu'elle soit correctement réalisée et qu'un contrôle visuel assure son bon déroulement.

6.4.4. Teneur en sucre

Les produits extras sont ceux présentant la teneur en sucre la moins élevée ; toutefois, cette dernière est tout de même supérieure à 50 %.

Les confitures, gelées et marmelades sont donc des produits sucrés, le sucre servant à leur conservation en faisant baisser l'activité d'eau (Aw), comme expliqué plus haut. Il est donc primordial de respecter la teneur en sucre prévue pour assurer une bonne conservation.

Le développement de recettes moins sucrées (allégées) est possible, mais demande une autre approche et d'autres ingrédients que pour les préparations classiques décrites dans ce manuel.

6.4.5. Utilisation d'eau

L'eau utilisée lors de la fabrication ou pour toute opération induisant un contact entre l'eau, ou la surface aspergée, et le produit doit être une eau propre (au lavage seulement) ou respectant les normes OMS définies pour l'eau potable (aux autres étapes) afin d'éviter une contamination par des micro-organismes ou par des substances chimiques.

En effet, l'eau peut être un vecteur de différents types de contaminant biologiques (coliformes, salmonelles...) ou chimiques (nitrates, métaux lourds, pesticides...). La contamination via l'eau peut avoir lieu à chaque étape où de l'eau est utilisée.

Cependant, **l'étape la plus critique sera celle de la préparation du mélange de cuisson** où de l'eau peut éventuellement être ajoutée directement pour obtenir la consistance désirée. En effet, dans ce cas, l'eau sera ajoutée dans le produit et sera donc directement consommée par le consommateur.

6.4.6. Pasteurisation

La pasteurisation est réalisée pour s'assurer que les micro-organismes présents ont bien été détruits. Cependant, son efficacité est corrélée au respect des barèmes temps/température. Il est donc **primordial de chauffer le produit (à cœur) à la température définie par le barème choisi**, pas à une température inférieure. Par ailleurs, la sonde utilisée pour connaître la température du pasteurisateur doit être étalonnée périodiquement afin de s'assurer que la température donnée par le matériel est correcte.

Mais il est également primordial de respecter le paramètre temps de ce barème et donc de ne pas le raccourcir.

Si le barème n'était pas respecté, cela induirait qu'il est impossible de savoir si les micro-organismes pathogènes ont bien été détruits, et donc la consommation du produit pourrait s'avérer risquée pour le consommateur. Il faut donc mesurer ces paramètres et **faire de la pasteurisation un CCP** par rapport à ces paramètres (vérifier le respect du couple temps/température).

Comme expliqué plus haut, la cuisson peut remplacer la pasteurisation comme traitement thermique. Dans ce cas, comme expliqué plus haut, le temps et la température de cuisson doivent être respectés ainsi que la température du produit jusqu'au conditionnement final. Dans ce cas de figure, ces étapes doivent également être considérées comme des CCP.

6.4.7. Bris de verre

Lors du conditionnement à chaud, l'un des dangers pouvant apparaître régulièrement est le bris des pots en verre, ces derniers ne résistant pas à la chaleur du produit. La fermeture des contenants par un couvercle métallique entraîne aussi fréquemment des bris de verre.

Il est donc bien important de travailler avec du matériel de qualité, mais également d'arrêter le remplissage si ce cas de figure devait apparaître pour retirer toute trace de verre brisé.

Danger	Étape	Nature du danger	Niveau acceptable	Mesures préventives
Résidus de pesticides	Récolte	Chimique	Résidus de pesticides inférieurs à la LMR définie par substance et par type de fruit	Respect des consignes d'utilisation (BPA et BPP)
Présence de mycotoxines	Récolte	Chimique	Concentration maximale définie par substance	Tri des fruits, élimination des fruits pourris ou abîmés, éviter de ramasser les fruits tombés au sol
Présence de noyaux ou de morceaux de noyaux dans le produit fini	Dénoyautage	Physique	Absence	Contrôle visuel après l'étape de dénoyautage

Teneur en sucre	Cuisson	Biologique	Teneur >50 %	Développement de recettes avec teneur >50 % Respect des recettes
Eau contaminée par des agents pathogènes (<i>Vibrio cholerae</i> , <i>E. coli</i> O157:H7, salmonelles, virus hépatite E et A...)	Cuisson	Biologique	Défini par les normes nationales ou par les normes de l'OMS	Utilisation d'eau potable (analyse de l'eau)
Eau contaminée par des substances chimiques (nitrates, métaux lourds...)	Cuisson	Chimique	Défini par les normes nationales ou par les normes de l'OMS	Utilisation d'eau potable (analyse de l'eau)
Température de pasteurisation trop basse, pasteurisation inefficace	Pasteurisation	Biologique	Critères microbiologiques définis par les normes nationales ou par le <i>Codex Alimentarius</i>	Couple temps/température adapté Sonde de température étalonnée
Bris de verre lors du conditionnement à chaud	Conditionnement	Physique	Absence de morceaux de verre	Utilisation de matériau de qualité et en bon état

6.5. ANNEXE : FORMULATION ET CALCUL DU RENDEMENT INDUSTRIEL

Les formules de fabrication utilisées au niveau artisanal sont très proches des formules familiales. Les quantités de fruits et de sucres mis en œuvre sont généralement égales. Ces formules correspondent à la qualité extra définie par la réglementation.

En milieu industriel, on pratique des formulations 50/50, 45/55, 40/60, 35/65, suivant le fruit et la qualité désirée.

Les confitures préparées avec une quantité trop faible de sucre risquent de fermenter, ou, si la cuisson est trop longue (grande quantité d'eau à évaporer), de n'avoir aucun goût. Mais trop de sucre édulcore la confiture et masque le goût de fruit. De plus, le risque de cristallisation du sucre est important.

Calcul de la quantité de pectines à ajouter

Cas d'une confiture de cerise à 65% de résidu sec.

Teneur en pectines naturelles : négligeable.

Utilisation de pectines à 150 ° Sag³⁵.

Pour 1 kg de confiture, on a 650 g de sucre à gélifier, il faut donc $650/150 = 4$ g de pectine.

Pour les autres fruits plus riches en pectines, il faut tenir compte de la teneur en pectine naturelle du fruit. Des essais préliminaires permettent de fixer la quantité optimum en fonction de la gélification recherchée.

Calcul de la quantité d'acide

La quantité d'acide qu'il faut éventuellement ajouter ne peut être déterminée qu'en faisant des mesures de pH.

À titre indicatif, on peut retenir les chiffres suivants pour les fruits peu acides.

Pour 100 kg de confiture	Fruits riches en pectines	Fruits pauvres en pectines
Solution d'acide citrique à 50 %	0,175 à 0,230 litre	0,320 à 0,400 litre

35 Le pouvoir gélifiant est défini par le degré Sag : 1 g de pectine à 1 degré Sag peut gélifier 1 g de sucre en solution à 65% à pH = 3. La pectine du commerce est standardisée à 150°Sag.

Calcul du rendement

Pour calculer le rendement, il faut connaître le pourcentage de matière sèche soluble (MSS) mesurée au réfractomètre de chaque ingrédient mis en œuvre. Le rendement est calculé en faisant le bilan des quantités de matière sèche apportées dans la formule rapportée au taux de matière sèche à atteindre.

Exemple de calcul de rendement

Ingrédient mis en œuvre	Poids en kg	MSS	MSS apporté à la formule
Fruits ou pulpes	50	10	5
Sucre	50	100	50
Pectines	0,300	100	0,300
Acide citrique à 50 %	0,5	50	0,250
Total	100,8	55	550
Rendement à 65 % de MSS = $\frac{100 * 55,550}{65} = 86 \%$			

Dans cet exemple, il faut cuire jusqu'à l'obtention de 86 kg de confiture.



Chapitre 7

Préparation des fruits et légumes séchés

7.1. Principes généraux du séchage	196
7.2. Les types de produits	204
7.3. Schéma général de préparation des produits séchés	206
7.4. Caractéristiques des différents séchoirs	222
7.5. Les vérifications à réaliser pendant le processus	227
7.6. Annexes techniques	232

7.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX DU SÉCHAGE

La technique du séchage des denrées alimentaires est **la plus répandue et la plus ancienne des méthodes de conservation** des produits périssables (carnés ou végétaux). Son usage est communément partagé de par le monde, notamment pour la conservation des céréales et légumineuses, mais ce procédé est de plus en plus répandu et a été utilisé de longue date pour transformer **des fruits** (spécialement les mangues, les bananes, les canneberges, les raisins, les abricots, les prunes, les figues, les pommes, etc.) et **des légumes** (surtout la tomate, mais aussi les aubergines, les poivrons et piments, les gombos, les courgettes, etc.).

Ainsi, dans de nombreux pays, les légumes séchés abondent sur les marchés traditionnels et attirent un grand nombre de clients en raison de leur saveur et du goût qu'ils donnent aux plats.



Les tomates séchées, confites ou non dans l'huile, connaissent un très grand succès

Les fruits séchés peuvent être définis comme des produits **préparés à partir de fruits sains et mûrs**, traités soit par séchage au soleil, soit par toute autre méthode reconnue de déshydratation. Les fruits séchés sont généralement consommés tels quels (produit de bouche) ou ils peuvent entrer dans la composition d'autres produits alimentaires, comme des mélanges de céréales (produits composés : céréales avec mangue séchée, p. ex., comme les mueslis ou les barres). En Europe, la mode est à la consommation de chips de légumes produits au four ou au micro-onde, sans huile, et de cocktail de fruits séchés (de préférence bio).



Mangue séchée



Barres de céréales avec mangue et coco

7.1.1. Le principe de la conservation repose sur une baisse de l'activité de l'eau

Le procédé de conservation utilisé dans le cas des produit séchés est la **déshydratation** obtenue par le «**séchage**». Dans le domaine scientifique, des termes plus précis sont employés, selon le degré de déshydratation (partielle, totale, voire anhydre), selon les méthodes employées (séchage par évaporation, lyophilisation par sublimation, etc.) ou selon les domaines (déshydratation en médecine, dans l'alimentation, etc.).

ON DISTINGUE LES TROIS TERMES SUIVANTS.

La **déshydratation**, qui désigne, de manière générale, la perte de l'eau d'un corps.

La **dessiccation**, qui est un procédé d'élimination de l'eau d'un corps à un stade poussé. Il s'agit d'une déshydratation visant à éliminer autant d'eau que possible. Ce phénomène peut être naturel ou forcé.

La **lyophilisation** (ou cryodessiccation), qui est la dessiccation d'un produit préalablement congelé, par sublimation. Elle consiste à retirer l'eau d'un produit liquide, pâteux ou solide, à l'aide de la surgélation, puis à effectuer une évaporation sous vide de la glace sans la faire fondre.

i

Le procédé appelé «séchage» consiste à **retirer l'eau considérée comme excédentaire** qui est présente dans le fruit.

Nous l'avons dit, **la présence d'eau** dans le produit est la condition la plus déterminante pour qu'aient lieu les réactions chimiques et biochimiques, et donc pour la survie et la multiplication des micro-organismes dans une matrice donnée. Pour être métaboliquement actif, tout organisme ou micro-organisme a besoin d'une certaine quantité d'eau disponible (accessible). Or, **il est possible de rendre**

cette eau indisponible pour les réactions physiologiques, soit en la retirant (par la déshydratation), soit en la liant à certaines matières comme le sucre ou le sel (matières qui sont hygroscopiques, qui retiennent l'eau par absorption ou par adsorption). Dans les fruits séchés, la baisse de l'activité d'eau est généralement due uniquement à la déshydratation, aucun ingrédient sucrant n'étant couramment ajouté. Quand des matières sucrées sont ajoutées, le produit final se rapproche plus d'un fruit confit.

Pour extraire une partie importante de l'eau contenue dans le produit par évaporation dans l'air environnant, **il faut fournir de l'énergie (énergie d'activation³⁶)** et, grâce à cette énergie, faire en sorte que cette eau **migre au sein du produit, se transforme en surface en vapeur d'eau** et soit **entraînée par l'air extérieur**. Suivant les conditions climatiques locales, il est fait appel soit au soleil et/ou au vent chaud, soit à la chaleur d'un foyer à combustion.

Le séchage permet de faire baisser un paramètre important dans la conservation des aliments : **l'activité de l'eau (Aw)**. Pour rappel, l'activité de l'eau d'un produit est toujours inférieure ou égale à 1. Lorsque l'eau contenue dans un produit a une activité proche de 1, elle s'évapore comme de l'eau pure à l'air libre. Par analogie, celle-ci est appelée eau libre. Lorsque l'activité de l'eau d'un produit est inférieure à 1, cela signifie que toute l'eau présente dans le produit contribue à la stabilité des constituants chimiques du produit par des liaisons plus ou moins fortes. Pour qu'un micro-organisme ou une réaction chimique puisse mobiliser cette eau, il faut qu'il fournisse une énergie suffisante pour rompre les liaisons existantes. Il en est de même pour enlever de l'eau par séchage. On parle alors « d'eau liée ».

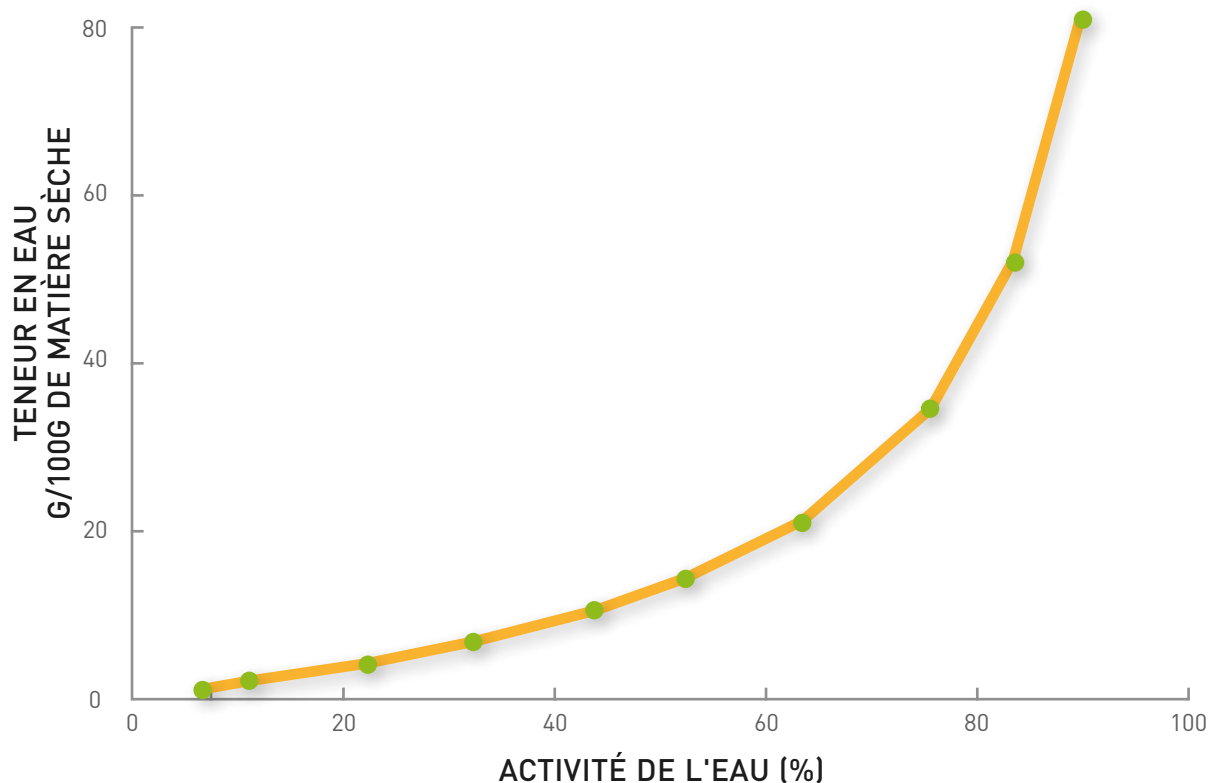
Toutefois, si, dans un premier temps, la baisse de l'Aw va permettre de diminuer l'activité des micro-organismes et des enzymes, **cela peut ensuite favoriser d'autres réactions** comme l'oxydation des lipides ou même la réaction de Maillard³⁷.

En ce qui concerne la mangue fraîche, par exemple, **plus de la moitié de l'eau peut être considérée comme libre**. La teneur en eau pour une bonne conservation (valeur cible de l'Aw proche de 0,6) est de l'ordre de 14 g d'eau pour 100 g de mangue séchée (Rivier *et al.*, 2009). La relation entre la teneur en eau et l'Aw pour une variété et une maturité de mangue est représentée ci-dessous.

36 Énergie qui doit être apportée à un système chimique pour que la réaction ait lieu. Cette énergie est de nature thermique.

37 La réaction de Maillard est l'ensemble des interactions résultant de la réaction initiale entre un sucre réducteur et un groupement aminé. Cette réaction a une importance énorme dans la chimie des aliments. Elle est la responsable principale de la production des odeurs, des arômes et des pigments caractéristiques des aliments cuits (brunissement non enzymatique typique des produits chauffés). Elle peut aussi donner naissance à des composés cancérigènes et également réduire la valeur nutritionnelle des aliments en dégradant des acides aminés essentiels.

Exemple d'isotherme de désorption de mangues à 30 °C. (présenté par Rivier *et al.*, 2009)



Source : J. Telis-Romero, M.N. Kohayakawa, JR.V. Silveira, M.A.M. Pedro et A.L. Gabas, « Enthalpy-Entropy compensation based on isotherms of mango », *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 25(2), 2005, pp. 297-303

Selon ces auteurs, cette courbe est donnée à titre d'exemple et toute différence de composition peut la modifier, notamment des différences de concentration et de composition en sucres (glucose, fructose) dans les fruits.

7.1.2. Principe du séchage

Le principe utilisé lors du séchage des fruits et servant à abaisser l'activité d'eau est de mettre un produit présentant une certaine humidité en **contact avec un courant d'air chaud plus sec** que le produit.

Bien sécher, c'est pouvoir maîtriser **trois paramètres fondamentaux**.

1. **La capacité de l'air environnant** (appelé aussi air d'entraînement) à **absorber la vapeur d'eau** dégagée par le produit. Cette capacité dépend du pourcentage de vapeur d'eau déjà contenue dans l'air avant son arrivée dans le séchoir et de la température à laquelle il a été porté. **L'humidité relative de l'air** est un paramètre important pour le séchage. Il s'agit d'un rapport entre la pression de vapeur d'eau contenue dans l'air et la quantité maximale que l'air peut contenir dans ces conditions (pression, température).

Autrement dit, pour que le processus de séchage ait lieu, il faut donc que l'humidité relative de l'air soit plus basse que l'activité d'eau en surface du produit. Il peut arriver que l'air atmosphérique soit trop humide pour effectuer le séchage, principalement pendant la saison des pluies où l'air est chargé en humidité. C'est l'une des raisons pour lesquelles il faut chauffer l'air pour réaliser le séchage.

Le fait de chauffer l'air **va permettre d'augmenter la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir**; à l'inverse, faire baisser la température va faire baisser cette quantité. Cette différence explique pourquoi, à une même humidité relative ou même niveau de saturation en eau, l'air froid est plus sec que l'air chaud.

2. **L'énergie thermique apportée** qui chauffe le produit et provoque la migration de l'eau vers la surface et sa transformation en vapeur d'eau. Durant le séchage, lorsque l'on chauffe l'air, cela permet de faire baisser l'humidité relative et d'augmenter le pouvoir évaporatoire de l'air en augmentant la quantité d'eau que l'air peut capter avant saturation.

La différence de gradient de pression entre le produit et l'air va induire un transfert d'eau (ou transfert de masse) à partir du produit vers l'air qui est plus sec.

Pour qu'il puisse avoir lieu, ce transfert de masse nécessite cependant un apport d'énergie sous forme d'un transfert de chaleur. Cet apport de chaleur peut provenir de différentes sources (rayonnement du soleil ou électromagnétique, surface chauffée, convection à partir d'un fluide).

Lorsque l'air chaud va passer sur les fruits placés dans le séchoir, ce dernier va transmettre une partie de sa chaleur au produit, il va donc y avoir un transfert de chaleur depuis l'air chaud vers le produit, qui va lui-même entraîner un transfert de masse depuis le produit vers l'air. Ce transfert de masse correspond en réalité au transfert d'eau du produit vers l'air plus sec.

Le produit va donc devenir de plus en plus sec et léger au cours du séchage. Ce mécanisme se déroulant dans les séchoirs est appelé « séchage par entraînement », l'eau étant évaporée sans qu'il n'y ait d'ébullition.

Le transfert d'eau du produit vers l'air se fait en périphérie du produit. Il y a donc un transfert interne de l'eau, depuis le milieu du produit vers la périphérie. Cependant, plus l'on avance dans le processus de séchage, plus l'épaisseur de la zone sèche en périphérie est importante. **Cela va donc demander de plus en plus de temps à l'eau pour arriver en périphérie** (la vitesse de séchage diminue avec le temps donc).

Au début du séchage, lorsque l'eau est disponible en périphérie, l'apport de chaleur par l'air disponible pour le transfert de chaleur est le facteur limitant du séchage. Mais à la fin du séchage, le temps de migration depuis le centre du produit devient le facteur limitant.

3. **La vitesse de cet air au niveau du produit qui, surtout en début de séchage, doit être élevée** (jusqu'à une certaine limite) de manière à accélérer l'entraînement de la vapeur d'eau. Il faut pouvoir sécher suffisamment rapidement (pour éviter le pourrissement du produit), mais pas trop vite (une croûte risque alors de se former en surface) ni à trop haute température (le produit se dénature, noircit).

Dans de nombreux modèles de séchoirs, aucun système de ventilation d'appoint n'est ajouté au séchoir. L'air s'écoule donc de manière naturelle sur les produits, on parle de « **convection naturelle** ».

Pour améliorer le transfert de chaleur de l'air vers le produit et le transfert d'eau du produit vers l'air, il peut être plus intéressant **d'utiliser un système permettant d'augmenter la vitesse d'écoulement de l'air (ventilateur)**.

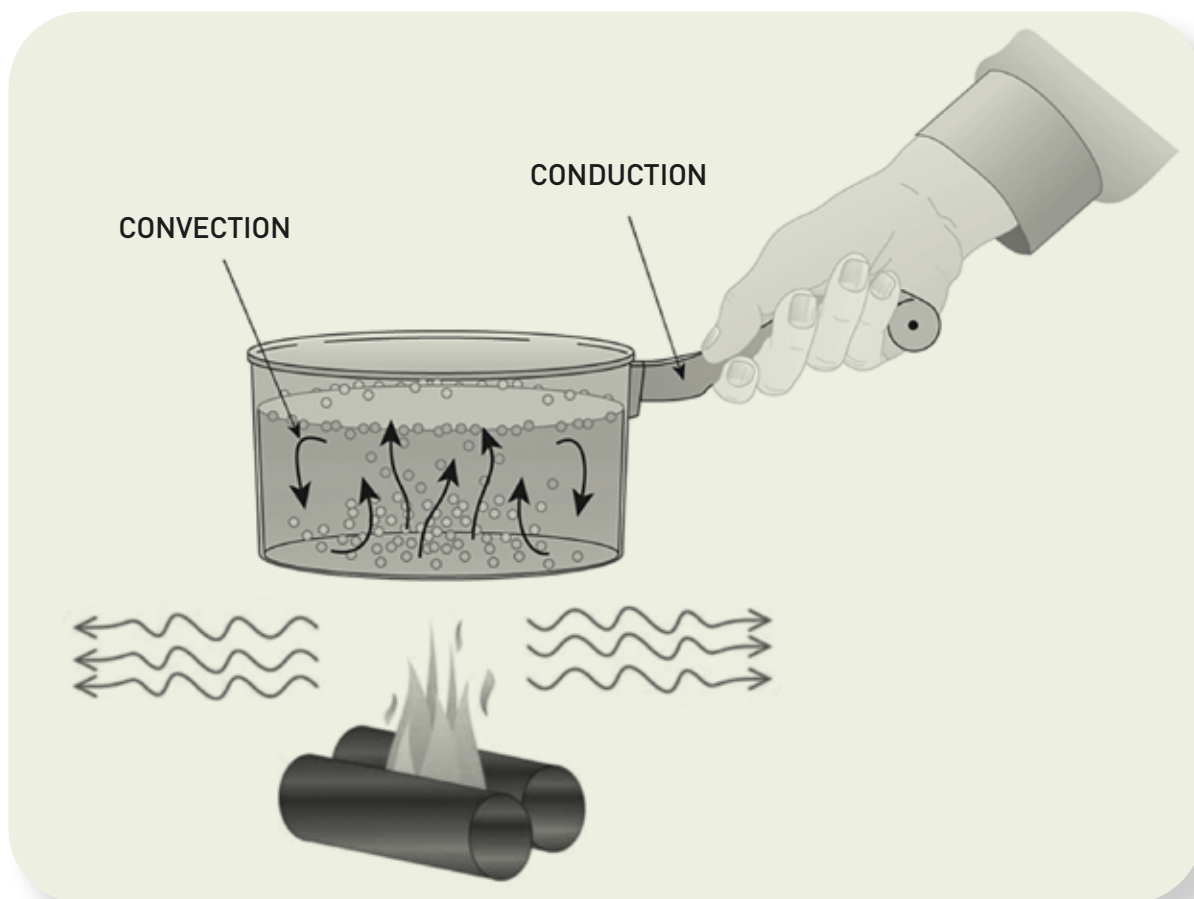
En effet, lorsque ce procédé n'est pas mis en place, l'écoulement est laminaire, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'effet de mélange. Les échanges ne se font donc que via la couche limite **par conduction**.

Or, lorsque l'on augmente la vitesse d'écoulement, par exemple, en utilisant un ventilateur, l'écoulement devient turbulent et les mécanismes d'échange se font par **convection**. Les transferts de chaleur réalisés par convection étant plus efficaces que par conduction, le ventilateur permet d'homogénéiser les flux d'air dans le séchoir, et par conséquent d'augmenter l'efficacité et l'homogénéité de ce séchoir.

CONDUCTION ET CONVECTION ?

La **conduction thermique**, également appelée diffusion, se produit dans un corps ou entre deux corps en contact.

La **convection thermique** dépend du mouvement de la masse d'une région de l'espace à une autre. La convection de la chaleur se produit lorsque le flux en vrac d'un fluide (gaz ou liquide) transporte de la chaleur avec le flux de matière dans le fluide.



7.1.3. Facteurs qui influencent le séchage

Le séchage sera conditionné par la quantité d'eau disponible dans le fruit, c'est-à-dire par son **Aw de base**. Le séchage sera ainsi de plus en plus long à réaliser à mesure que le séchage avance, que l'eau libre est évaporée et que l'on tente de retirer l'eau liée. Pour rappel, pour rompre les liaisons liant l'eau, il faut amener une énergie supérieure à ces liaisons, la quantité d'énergie nécessaire au séchage devient donc de plus en plus importante si l'on essaye de sécher fortement les produits.

Le schéma de séchage peut être divisé en **quatre phases** :

- **phase 0** : montée en température du produit jusqu'à la température d'évaporation en surface ;
- **phase 1** : évaporation de l'eau libre en surface à vitesse constante, migration de l'eau depuis le centre du produit ;
- **phase 2** : ralentissement du séchage, migration plus difficile de l'eau depuis le centre, car périphérie plus sèche ;
- **phase 3** : souvent couplée à la phase 2, évaporation de l'eau liée.

Pour les phases 2 et 3, on observe une montée en température du produit : cela peut causer l'apparition du phénomène de brunissement non enzymatique. Il est donc primordial de ne pas chauffer trop les produits durant ces phases. **Cela explique pourquoi la température doit être diminuée au cours du séchage**. En effet, lors d'une montée en température trop forte, les sucres réducteurs et les acides aminés qu'ils contiennent (ex. : lysine) réagissent (réaction de Maillard), ce qui entraîne la formation de composés bruns-noirs (mélanoidines) et le développement de molécules aromatiques. Le chauffage peut donc avoir un impact sur la couleur, l'odeur et le goût du produit³⁸.

Hormis les trois paramètres dont nous avons parlé, il faut aussi, pour bien conduire l'opération de séchage, **prendre en compte les caractéristiques du produit frais** (on ne sèche pas un poisson gras comme un légume-feuille), se demander quelles doivent être celles du produit final (texture, couleur, goût spécifique).

Bien maîtriser un processus de séchage, c'est aussi **contrôler la qualité des produits frais et secs, à l'amont et à l'aval du séchage lui-même** (approvisionnement en produits frais, tri de ces produits, parage, prétraitements, stockage aval, contrôle du produit sec, éventuelle incorporation d'agents de saveur et de conservation, conditionnement, stockage en amont, éventuellement chaîne de distribution...).

38 Cette formation de composés colorés et aromatiques peut être favorable pour certains aliments comme le pain, le café ou le cacao. Cependant, pour la production de fruits séchés, ces composés sont indésirables et il faut éviter que la réaction de Maillard puisse se produire.

7.1.4. La dégradation enzymatique due au séchage

La baisse de l'activité d'eau entre 0,60 et 0,65 empêche l'activité microbienne, mais ne suffit pas pour supprimer l'activité des enzymes.

Pour rappel, les enzymes sont **des protéines naturellement présentes** dans chaque être vivant. Certaines enzymes peuvent avoir un effet de dégradation sur certaines molécules présentes dans le produit. Si les enzymes sont laissées intactes dans le produit, un phénomène de dégradation enzymatique peut apparaître, c'est-à-dire une **détérioration organoleptique du produit** (principalement goût et couleur) due à l'activité des enzymes présentes et à leurs effets sur les composants du produit.

Pour supprimer cette activité enzymatique, le traitement le plus efficace est **le traitement par sulfitage au dioxyde de soufre** (déjà présenté dans ses principes et pour ses inconvénients dans un autre chapitre).

D'autres procédés peuvent être utilisés pour arrêter ou ralentir le processus de dégradation enzymatique.

- **Le blanchiment**, opération qui consiste à tremper les fruits dans de l'eau chaude pendant quelques minutes. Ce procédé permettrait en outre un séchage plus rapide des fruits. Toutefois, les fruits ne se prêtent pas toujours au blanchiment, car cela les rend moins manipulables, et entraîne des pertes de composés nutritionnels et aromatiques solubles dans l'eau (beaucoup plus nombreux dans les fruits que dans les légumes).
- **L'acidification**, souvent réalisée à l'aide d'acide citrique (pouvant provenir du jus de citron), mais son efficacité est moindre par rapport à la sulfuration ou au blanchiment, ce procédé ne permettant que de **ralentir le brunissement**, pas de l'empêcher. Ce procédé peut également être utilisé en complément du blanchiment.

7.2. LES TYPES DE PRODUITS

7.2.1. Présentation des produits

Pour les pays ACP, les fruits séchés dominent largement le marché par rapport aux légumes (alors qu'en Turquie et au Moyen Orient existe un large marché traditionnel de légumes séchés). Ces produits se différencient surtout **par la découpe subie** avant séchage. On pourra ainsi trouver des produits séchés (surtout des fruits) :

- entiers,
- en tranches,
- en morceaux.

Le choix entre ces différents formats dépendra principalement du type de fruit traité.

Il est à noter que, dans certains pays, **des compotes³⁹, ou des purées de fruits ou de légumes sont également séchées et appelées «cuirs»**. Une purée liquide homogène (avec ou sans ajout de sucre ou de miel) est étalée sur un plateau couvert d'un papier type Paraflexx (Teflon), déshydratée et séchée sous forme d'une galette aplatie. Celle-ci est découpée en lanières ou en morceaux. Le produit final a une épaisseur et une consistance semblables à celles des lanières de cuir (d'où l'appellation anglaise *fruit leather*).



Exemple de « cuir de fruit »
(ici une purée de fraises, déshydratée
et découpée en lanières qui sont roulées)



Tranches d'ananas séchées

39 On parle de « compote » quand les fruits sont coupés en quartiers ou écrasés, cuits avec de l'eau et du sucre. Quand les fruits sont simplement broyés à l'aide d'un mixeur, sans cuisson, on parle de « purée ». Quant au « ketchup » (le plus souvent de tomates), il contient, en plus des fruits, du vinaigre, du sucre, du sel, du piment, des clous de girofle et même de la cannelle (pour le goût américain) ou des oignons et du céleri (pour le goût méditerranéen) ; d'autres épices sont aussi fréquemment ajoutés au ketchup.

7.2.2. Sulfitage

L'un des moyens utilisés pour différencier les produits se fait également sur base du procédé de pré-séchage, et notamment sur la présence ou non d'un **procédé de sulfitage**. Ce traitement peut être appliqué de différentes manières, par immersion ou par exposition à des vapeurs de SO₂ (on brûle du soufre solide et les fumées font venir se déposer sur le fruit).

En effet, cette étape du processus aura un effet important sur la durée de conservation du produit. On considère que les produits n'ayant subi aucun traitement peuvent se conserver trois mois avant de présenter une détérioration du goût ou de la couleur. Pour des durées de conservation supérieures, il est nécessaire de mettre en place un procédé de conservation supplémentaire (ex. : produits séchés, comme les tomates confites dans l'huile).

Dans le cas des produits séchés, le sulfitage a **pour but premier de préserver la couleur** des fruits en **empêchant le brunissement enzymatique**, de **préserver la flaveur** en améliorant la rétention des composés aromatiques, et **d'éviter les pertes nutritionnelles**. Mais le sulfitage jouant également un **rôle de conservateur** envers les micro-organismes, une teneur en eau relativement haute peut être tolérée dans les produits séchés (ex. : tranches ou morceaux d'ananas séchés). Ces produits sont alors présentés comme étant des fruits à chair tendre ou à teneur en eau élevée.

Le tableau ci-dessous montre la différenciation des produits suivant le procédé de fabrication (avec et sans sulfitage) qui **impacte notamment la teneur en eau tolérée dans les produits séchés**.

	Teneur maximale en eau tolérée sans sulfitage	Teneur maximale en eau tolérée avec sulfitage
Mangues	15 %	15 à 35 %
Abricots	20 %	25 %
Papayes	18 %	18 à 25 %
Ananas	20 %	20 à 44 %

Mais le sulfitage laisse, sur et dans le produit, des **résidus de sulfites (SO₃²⁻) qui sont problématiques**, car ils sont considérés et classés comme un allergène. En réalité, les sulfites ne causent pas de véritables réactions allergiques, mais ils sont intégrés aux allergènes prioritaires parce que des symptômes semblables à ceux des allergies peuvent se manifester chez les personnes qui y sont sensibles. Pour cette raison, en Europe, la déclaration de la présence de sulfites (E220 à E228) dans les aliments est obligatoire dès lors que leur concentration atteint 10 mg/kg⁴⁰.

40 Des concentrations de sulfites dans les raisins secs, les abricots, les pruneaux, les bananes, les pommes ou les dattes séchées peuvent atteindre de 500 à 1 000 milligrammes par kilo.

7.3. SCHÉMA GÉNÉRAL DE PRÉPARATION DES PRODUITS SÉCHÉS

Bien que, pour chaque type de produit, des étapes particulières ou supplémentaires soient justifiées et nécessaires dans le processus (ex. : mûrissement des fruits, dénoyautage...), il est malgré tout possible de présenter un processus général pour la fabrication des différents types de fruits et légumes séchés. Des opérations annexes seront également envisagées pour traiter, par exemple, les écarts de tri ou les sous-produits (ex. : épluchures, noyaux), ou simplement pour traiter les eaux usées qui ont servi au lavage des fruits.

Les points d'attention aux principales étapes vont être rappelés brièvement.

Schéma général du processus



7.3.1. Étape de récolte

Une attention toute particulière doit être apportée aux fruits dès la récolte si l'on souhaite obtenir un produit de qualité. C'est lors de la période de récolte (qui change en fonction notamment des variétés) qu'a lieu la cueillette des fruits. Quel que soit le produit et quelle que soit sa provenance, le moment de la cueillette revêt une importance décisive. En effet, celle-ci s'opère au seuil de la maturité idéale des fruits. Lors de la récolte, il est donc important de **bien sélectionner les fruits** afin de choisir les fruits à **leur stade de maturité optimale, lorsque les taux de sucre et d'arômes sont au plus haut**, c'est-à-dire quand leurs propriétés nutritionnelles et gustatives sont optimales. Par exemple, dans le cas des mangues, il faut éviter de cueillir les fruits trop verts, ceux qui ne sont pas arrivés à maturité. Il faudra que le responsable des opérations de récolte mesure le degré de maturité du fruit (pour rappel, la couleur du fruit n'est pas nécessairement un critère objectif, car elle dépend aussi de la place du fruit dans l'ensemble des branches et donc de l'ensoleillement reçu). C'est pareil pour les figues, qui doivent également être récoltées très mûres. C'est pourquoi un premier tri a lieu sur place, au moment de la récolte et avant leur transport (de préférence en cagettes) vers la station de transformation.

7.3.1.1. Exemple de critères pour sélectionner des mangues destinées au séchage

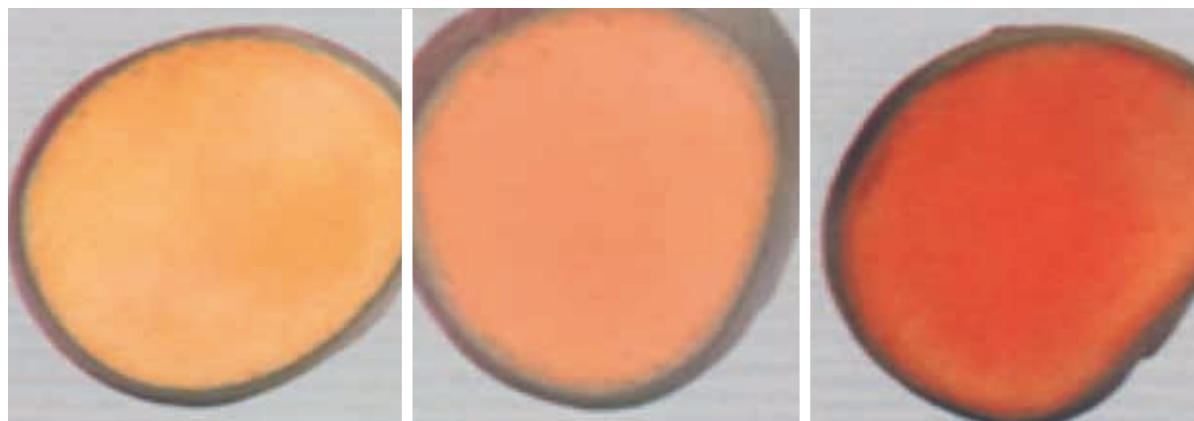
Les mangues à acheter pour le séchage doivent être triées au bord du champ après la cueillette. Seules les mangues à maturité doivent être retenues. Les mangues blessées, vertes, très mûres doivent être écartées. À maturité, les fruits sont bien pleins avec une peau lisse, saine et brillante, le pédoncule bien enfoncé dans la base du fruit. La coloration de la pulpe varie du jaune clair au jaune foncé en fonction des variétés. Les **critères d'appréciation de la maturité** de la mangue se présentent comme suit (avec des variations selon les variétés) :



M I : correspond au fruit vert immature

M II : correspond au stade d'enclenchement de la maturité

M III : stade où l'évolution de la maturité présente une coloration jaune clair de la chair



M IV : la coloration du fruit est jaune-orangée

M V : la coloration de la pulpe est jaune orange

M VI : correspond à des fruits mûrs

Source : « Le Guide du sécheur de la mangue » (version 3), PAFASP, Burkina Faso

D'après le guide du PAFASP, si les mangues doivent être stockées pour la production de fruits séchés plus d'une semaine, il est conseillé d'acheter des mangues aux stades M III à M V. La maturité du séchage correspond au degré de maturité M VI pour la variété Amélie⁴¹ et MV, M VI pour la variété Brooks (optimum de qualité). À ces stades, la mangue est bonne à manger. C'est aussi ces stades qui sont recommandés pour le séchage.

La **formation des responsables de récolte** (et leur expérience) et la sensibilisation des récolteuses ou récolteurs sont donc primordiales pour la sélection et la cueillette des fruits, notamment pour minimiser les dommages causés aux fruits. En effet, lors de la récolte, via la manipulation des fruits et la manutention des caisses, de nombreuses lésions peuvent être causées aux fruits. Ainsi, on pourra observer **l'apparition de blessures** (coupures et perforations) grâce auxquelles bactéries et champignons vont pouvoir entrer dans le fruit et s'y développer, causant notamment l'apparition du phénomène de pourriture ou l'apparition de taches brunâtres sur les fruits séchés.

LA MANGUE EST PARTICULIÈREMENT SENSIBLE.

La mangue étant un fruit peu acide (pH 4,5), toute blessure de la peau est rapidement colonisée par des levures et des moisissures engendrant une modification du goût par fermentation. La présence trop importante de levures et de moisissures peut également rendre les produits non conformes. Lors des chocs reçus, des enzymes sont libérés dans les cellules, engendrant une altération rapide des fruits (modification de la couleur et de la texture).



41 Pour cette variété, à ce stade on doit voir aussi de petites boules brillantes de sève sur la peau des fruits.

7.3.1.2. Critères généraux pour sélectionner des fruits destinés au séchage

Bien qu'il soit impossible de généraliser, chaque fruit ayant son acidité, sa maturation et sa texture au moment optimum pour la récolte, on peut quand même retenir quelques critères qui permettent de se faire une idée grâce à des observations et des mesures.

Indice de maturation	Observations
La coloration de l'épiderme	Généralement, la cueillette est réalisée en déterminant les changements de couleurs de la peau.
La fermeté de la pulpe	La fermeté peut être aussi utilisée comme indice de maturité de certaines variétés.
Mesure des sucres	Ce taux de sucre est mesuré à l'aide d'un réfractomètre.
Mesure de l'acidité	La détermination de l'acidité du fruit permet de donner une indication sur la maturité.
Mesure de l'amidon	L'amidon contenu dans un fruit est transformé en sucre au cours de la maturation. On considère que la date de récolte correspond à la disparition de l'amidon du fruit.

7.3.2. Tri post-récolte, préparation des lots et lavage

7.3.2.1. Réception et tri des produits

La réception des lots se fait après un transport depuis le champ ou le verger. Un bordereau de livraison contenant des informations sur la quantité, la variété et la provenance du produit permettra d'assurer la traçabilité des lots. L'utilisation de cagettes non seulement diminue les pertes dues à l'écrasement et aux chocs, mais facilite aussi le déchargement, le stockage au sein de l'unité de séchage et l'identification des lots. Les cagettes seront également pesées.

Dès l'arrivée des produits, un second triage visuel et au toucher est réalisé, d'après la couleur et la fermeté (des indices de maturité)⁴², le plus souvent en même temps que l'inspection visant à éliminer des matières étrangères et les fruits en mauvais état. Il est important d'écarter ceux qui présentent des traces de pourriture, de blessures, etc. En effet, des fruits abîmés, voire pourris, peuvent amener des défauts visuels ou gustatifs du produit final. Mais c'est également pour des questions d'ordre sanitaire qu'il est important de procéder à un second tri des fruits récoltés, car certaines moisissures, qui se développeraient pendant le stockage (nécessaire au mûrissement ou pour étaler la production), peuvent être responsables de la production de mycotoxines.

42 Un contrôle du goût est parfois aussi effectué. Dans le cas des mangues, il permet d'apprécier la saveur de la chair. La chair de la variété Amélie est acidulée tandis que celle de la variété Brooks est sucrée.

Les fruits qui sont écartés lors de ce tri peuvent ensuite être écoulés de différentes manières suivant le type de fruits dont il s'agit et éventuellement des causes de leur écartement (alimentation du bétail seulement s'ils ne présentent pas de risque sanitaire, compostage, biométhanisation, destruction...).

Dès la réception, **il est également très important de travailler dans de bonnes conditions d'hygiène** (propreté et désinfection des locaux; lavage régulier des sols; hygiène corporelle; nettoyage des caquettes; gestion des déchets; etc.).

7.3.2.2. Constitution de lots en vue du séchage (allotement)

Pour optimiser les étapes ultérieures et obtenir un **séchage uniforme**, il est également intéressant de trier, calibrer et **créer des lots homogènes**. Il s'agira de rassembler des fruits **de même calibre et de même niveau de mûrissement**, etc. (ex. : séparer les fruits trop mûrs, des fruits mûrs et des fruits non mûrs; constituer des lots de mangues provenant d'un même site et au même stade de mûrissement). Dans le cas de la mangue, les fruits qui ne sont pas assez mûrs (ex. : critères de maturité M III, M IV et M V) seront stockés séparément après un simple essuyage, dans un local bien ventilé (pour éviter l'accumulation des composés volatils émis dans le local), pour leur laisser le temps de mûrir.

Cette phase est particulièrement importante, car elle permet :

- un séchage uniforme ;
- un meilleur contrôle des traitements ultérieurs : blanchiment et éventuellement sulfitage ;
- une bonne valorisation du produit (les meilleurs lots se vendant plus cher) ;
- une présentation de produits exempts de défauts au consommateur.

Le calibrage s'effectue manuellement, sur une table, dans les petites installations, ou sur un tapis à rouleaux pour les grands volumes.

À la suite du calibrage il est possible d'utiliser les fruits ne répondant pas aux critères fixés pour d'autres préparations (ex. : confitures).

7.3.2.3. Lavage

Une fois triés, les fruits doivent être lavés, car leur surface porte naturellement des impuretés, des micro-organismes, des insectes, etc. Sans lavage, le couteau utilisé lors de l'étape suivante (le découpage) peut être contaminé par la surface puis contaminer la chair du fruit et des fruits suivants. Sans lavage, les mains et les vêtements du personnel seront également contaminés.



Lavage des mangues (source : « Guide d'exportation de la mangue fraîche du Burkina Faso », PAFASP)

Les fruits sont donc d'abord lavés à l'aide d'eau propre (donc pas nécessairement « potable ») pour retirer les impuretés présentes (poussières, terre, etc.), voire éliminer certains dépôts de résidus présents en surface. Il faut noter que ce lavage à l'eau ne permet pas de retirer les micro-organismes déjà présents.

Au stade familial, le matériel le plus employé reste le bac de lavage domestique. Au niveau artisanal, un bac muni de paniers en mousseline permet de récupérer facilement les produits propres. Dans les grandes entreprises, le lavage se fait dans de grands bacs.

Pour réduire la charge microbienne en surface des produits, il faut **les laver avec de l'eau javéalisée** (15 minutes de contact avec une eau préparée à raison de 4 ml de Javel à environ 10% de chlore actif par 10 litres d'eau). Il sera alors nécessaire de rincer de nouveau les fruits, avec de l'eau potable, pour retirer toute trace d'eau de Javel⁴³. À partir de ce moment, les fruits sont propres. Il convient de prendre les dispositions nécessaires pour **éviter toute recontamination par un manque d'hygiène** des lieux ou des personnes.

7.3.3. Préparation des produits en vue du séchage

En vue du séchage, trois opérations ont lieu successivement : **l'épluchage, le parage et le découpage**. Ces opérations préparatoires sont longues et mobilisent beaucoup de main-d'œuvre, car elles restent manuelles dans la majorité des cas.

7.3.3.1. L'épluchage

L'épluchage permet d'enlever la peau (au moyen d'un couteau⁴⁴) de certains légumes ou fruits qui freine l'évaporation de l'eau ou qui n'est pas comestible. L'épluchage et, éventuellement le dénoyautage, dépendent du type de fruit. Certains traitements permettent de faciliter l'épluchage manuel : le traitement des légumes à la chaleur humide (eau bouillante ou vapeur) permet de détacher la peau facilement après refroidissement. Une variante consiste à griller les légumes sur une flamme. Les vieux légumes sont beaucoup plus difficiles à éplucher, car leur peau se flétrit. D'où l'intérêt de travailler des produits dans un bon état de fraîcheur. Lors de l'épluchage, il est important de ne pas enlever trop d'épaisseur, car certains légumes concentrent les éléments nutritifs à la périphérie (cas de la pomme de terre). En outre, les pertes de matière sont plus importantes. Cette opération étant manuelle, les produits s'altèrent et brunissent en attente de l'épluchage. Il est donc souhaitable de conserver les légumes dans de l'eau salée (20 à 40 g de sel pour 1 litre d'eau) qu'il faut changer régulièrement afin d'éviter les contaminations microbiennes. D'autre part, ce trempage améliore la texture et facilite le séchage des légumes verts (épinard).

7.3.3.2. Le parage

Le parage, réalisé à la main à l'aide de couteaux, permet de retirer les parties non comestibles du produit (ex. : les tiges, les fibres, les racines, les noyaux...), ainsi que les parties abîmées ou pas assez mûres.

43 L'eau de Javel est un produit chimique qui est dilué et vendu pour usage domestique. C'est un mélange d'eau et d'hypochlorite de sodium. Pour l'utilisation domestique et dans de nombreux milieux de travail, elle est habituellement vendue avec des concentrations d'hypochlorite de sodium variant de 3% à 10%. L'eau de Javel est corrosive, ce qui veut dire qu'elle **peut irriter ou brûler la peau ou les yeux**. Elle peut aussi corroder (détruire) les métaux. Mélangée à d'autres produits chimiques ou nettoyants (ex. : produits à base d'ammoniac), **elle peut produire des gaz toxiques** qui peuvent endommager les poumons ou être mortels. Il faut toujours faire preuve de prudence lorsque l'on utilise ce produit, porter des lunettes, des gants et ventiler les locaux.

44 L'utilisation de couteaux en acier inoxydable s'impose. Les couteaux en fer provoquent une altération de la couleur en **favorisant l'oxydation**.

7.3.3.3. Le découpage

Selon le CIRAD, le **découpage** est indispensable pour les légumes et fruits épais (tomate, pomme de terre, mangue, ananas) qui, sans cette opération, sécheraient trop lentement et s'exposeraient aux attaques des micro-organismes. Il existe différentes formes de coupe: en tranches, en cubes, en rondelles, en lamelles. Un même produit peut se présenter sous plusieurs formes. Par exemple, on trouve des oignons séchés en rondelles ou en lamelles. Pour la mangue, il existe plusieurs sortes de coupes: la coupe galette, la coupe frite, la demi galette. En fait, la présentation du produit doit répondre aux habitudes locales et aux préférences des consommateurs.

Cependant, la forme et la taille des morceaux influencent la durée du séchage. La découpe (parfois le tranchage, comme dans le cas de l'ananas), si elle est nécessaire, **définit en effet la forme finale du produit** et est **déterminante pour l'étape de séchage**. En effet, le type de découpe **va déterminer la surface d'échange** possible entre l'eau du produit et l'air ainsi que le temps nécessaire pour extraire l'eau du centre du produit. Cette étape détermine donc le temps de séchage du produit. Ainsi, le produit séchera plus vite avec une grande surface d'échange et une épaisseur faible. Les produits avec une découpe mince auront tendance à **sécher plus vite, mais aussi plus fortement**, ce qui peut rendre le produit trop dur (surtout sur les bords plus minces). Les produits plus épais auront tendance à rester plus «souples», mais ils demanderont un temps de séchage beaucoup plus long. Il est donc important de trouver un compromis entre les deux.

LE DÉCOUPAGE EST CRUCIAL POUR LA QUALITÉ DU PRODUIT SÉCHÉ.

Pour un séchage homogène, il est important que les différents morceaux soient découpés de la manière la plus homogène possible (forme et épaisseur), mais il est important qu'un même morceau soit aussi découpé de façon homogène pour éviter d'obtenir un produit avec une partie plus mince, qui sera plus sèche, et une partie plus épaisse et insuffisamment sèche.



L'épluchage comme le découpage sont effectués sur une table prévue à cet effet. Les épluchures et les noyaux tombent sur la table et sont régulièrement poussés dans des seaux poubelles, à travers deux à trois trous pratiqués dans la table. Les produits épluchés sont déposés dans des plateaux en plastique pour l'opération suivante.

Les fruits clairs (ex. : banane) brunissent très rapidement durant cette opération. Pour limiter cette altération de la couleur, il est souhaitable de les **couper à la dernière minute** et de conserver les morceaux **dans l'eau propre avec un jus de citron** jusqu'à l'étape suivante qui doit intervenir rapidement.

7.3.4. Traitements de pré-séchage

Description, comme : le blanchiment, le sulfitage, l'apport d'acide, l'apport de sucre ou encore l'apport de produit gélifiant (ex. : pectine). Comme expliqué plus haut, le **principal objectif** de cette étape de traitement avant séchage est de détruire ou de stopper les enzymes responsables de la dégradation enzymatique. Ces traitements sont dits « optionnels », mais toutefois, sans traitement de pré-séchage, les produits finis auront une durée de conservation plus courte et devront présenter une teneur en eau plus basse.

7.3.4.1. Le blanchiment

Ce traitement est facultatif, mais recommandé. Il sert à **améliorer la qualité** des produits finis et à **faciliter le séchage**. Le blanchiment consiste à tremper les fruits dans de l'eau bouillante pour que les fruits atteignent une température de 80 à 100 °C pendant quelques minutes (la durée varie selon le produit et la taille des morceaux découpés). Pour les fruits plus délicats, le blanchiment peut être réalisé en les arrosant avec un filet d'eau chaude. Tous les légumes ne peuvent pas subir ce traitement. C'est le cas des oignons et de l'ail qui perdent leur saveur piquante lorsqu'ils sont chauffés. Pour les légumes à feuilles, ce traitement n'est pas nécessaire.

Avantages comparés du blanchiment à l'eau et à la vapeur

(source : P. Duzé, *Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes – Expériences et procédés*, GRET et CIRAD)

	Avec de l'eau	Avec de la vapeur
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Simplicité du matériel et coût d'achat peu élevé Traitement de grandes quantités facile. Il est aisé de trouver de grosses cuves Plus rapide que le blanchiment à la vapeur 	<ul style="list-style-type: none"> Eau réutilisable 5 à 6 fois Utilise beaucoup moins d'eau Évite les pertes de nutriments solubles
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Perte importante de nutriments solubles Forte consommation d'eau même si celle-ci est réutilisable plusieurs fois 	<ul style="list-style-type: none"> Le nettoyage des paniers métalliques est difficile Difficile d'obtenir un traitement uniforme Ne permet pas de traiter de grandes quantités parce que les couches de produits doivent être minces, ce qui demande beaucoup de place

Le blanchiment répond à plusieurs objectifs.

- Détruire une grande partie des micro-organismes présents dans le produit. Mais attention, de nouvelles contaminations sont fréquentes après le blanchiment si l'on ne respecte pas les règles d'hygiène.
- Rendre les cellules plus perméables, ce qui facilite l'élimination de l'eau lors du séchage.
- Ralentir la dégradation des aliments, en particulier de la couleur et de la valeur nutritionnelle (vitamine C et provitamine A, notamment).
- Améliorer la texture du produit à la réhydratation.

Plusieurs précautions doivent être prises pour cette opération si elle est effectuée (même source).

- Lorsque les légumes sont plongés dans la marmite, l'eau refroidit. Il faut alors attendre que l'eau bouille à nouveau, avant de chronométrer la durée de blanchiment.
- Veiller à l'homogénéité des lots. Si différentes tailles sont présentes, les plus petites seront trop bouillies, tandis que les plus grosses n'auront pas subi un traitement adéquat. La qualité du produit sera irrégulière.
- Ne pas prolonger excessivement la durée de trempage, sinon le légume perd de sa consistance, de ses vitamines et s'imbibe d'eau.
- Une fois le blanchiment terminé, refroidir rapidement dans l'eau froide pour ne pas trop cuire les légumes, puis les égoutter.
- Pour blanchir, la méthode la plus simple consiste à utiliser un filet en mousseline ou un panier en fil métallique que l'on trempe dans une marmite. Pour de plus grandes quantités, on peut utiliser un carré de gaze en liant les coins entre eux et en faisant une boucle. Pour manipuler la gaze, on passe un bâton dans la boucle

Il est connu qu'une **adjonction** dans la solution de blanchiment **d'acide citrique** ou même de **jus de citron** (des antioxydants) permet de mieux conserver la couleur du produit traité.

1 BLANCHIMENT À L'EAU BOUILLANTE



2 BLANCHIMENT À LA VAPEUR



3 REFROIDISSEMENT À L'EAU FROIDE



4 EGOUTTAGE



Le blanchiment à l'eau et à la vapeur (source : P. Dudez, *Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes - Expériences et procédés*, GRET et CIRAD)

Si la montée en température permet de détruire les enzymes responsables de la dégradation enzymatique, elle va également avoir un effet sur les cellules du fruit en provoquant une rupture des parois cellulaires, rendant les fruits plus difficiles à manipuler. Cet inconvénient est l'une des raisons principales pour lesquelles le sulfitage est préféré au blanchiment.

7.3.4.2. Le sulfitage

Le traitement de pré-séchage le plus couramment rencontré, car le plus efficace, est le **sulfitage**. Son principe et son intérêt a été expliqué plus haut. Le pré-traitement par sulfitage permet d'obtenir de bons résultats tant pour la conservation des qualités organoleptiques que nutritionnelles du produit. Toutefois, ce pré-traitement peut notamment entraîner des pertes de sucres et de vitamine C, et même entraîner l'apparition de goûts indésirables si le sulfitage est appliqué en excès.

Ce traitement peut être réalisé de deux façons.

- **Par immersion** (sulfitage humide): les fruits sont directement plongés dans une solution de **métabisulfite de potassium** ($K_2S_2O_5$), le produit le plus couramment utilisé. Ce composé, qui se présente sous la forme d'une poudre blanche cristallisée, est un agent conservateur qui doit être renseigné sur l'étiquette comme additif (code E224). Les fruits sont maintenus dans la solution cinq à dix minutes et ne sont séchés que 12 heures plus tard pour permettre aux sulfites de se répartir à l'intérieur du fruit.
- **Par fumigation** (sulfitage sec): elle est réalisée en chambre close, souvent après la mise sur claies, à l'aide de vapeurs soufrées (**dioxyde de soufre** ou SO_2 , dont la présence dans le produit fini doit également être indiquée sur l'étiquette: code E220).

Le soufrage dure entre 2 et 3 heures, voire plus. La fumigation est plus économique, mais il est plus compliqué d'estimer la quantité de sulfites réellement absorbées par le produit. La quantité de soufre à apporter dépend du mode de séchage utilisé (solaire ou non solaire)⁴⁵.

Les vapeurs sulfurées étant nocives pour la santé, il est nécessaire de prendre des mesures pour protéger les opérateurs et les personnes se trouvant aux alentours du site de traitement.

Les sulfites font également partie des allergènes alimentaires majeurs. Ils peuvent donc avoir un effet négatif important sur la santé des consommateurs sensibles et leur présence doit être signalée sur l'étiquette du produit si la concentration est supérieure à 10mg/kg.

45 Pour la fumigation de fruits séchés via des procédés non solaires, on considère généralement qu'il faut apporter 300 g de soufre par 100 kg de fruits pendant maximum 2 à 3 heures. Et presque 2 fois cette quantité quand le séchage est solaire.

7.3.4.3. Apport d'acide, de sucre ou de pectine

L'ajout d'acide citrique ou de jus de citron ralentit l'apparition du brunissement, mais il faut éviter les excès sous peine de dégrader la vitamine C et le fructose. Toutefois, contrairement au sulfitage ou au blanchiment, l'acidification ne permet pas de supprimer l'activité des enzymes sur le long terme; leur activité ne sera que freinée.

L'ajout de sucre diminue l'eau disponible et peut améliorer la couleur, la texture et le goût. Mais cette addition de sucre est compliquée à réaliser. Elle nécessite savoir-faire et équipements spécifiques.

L'ajout de 0,5 à 0,75% de pectine peut améliorer la texture (ex.: pour la mangue séchée), mais altère aussi le parfum du produit.

7.3.5. Mise sur claies

Une fois prêts à être séchés, les fruits sont disposés sur des «claies» propres et sèches. L'étape de la mise sur claies est **une étape primordiale** pour le bon déroulement et l'optimisation du séchage des fruits.

Les claies sont, par exemple, composées de cadres en bois tissés avec de la cordelette plastique de dimension 0,7 m x 1,2 m (0,84 m²). Une toile moustiquaire est tendue sur le cadre pour y étaler les tranches de mangues.

Les morceaux ou les tranches déposés ne doivent pas se toucher afin de permettre à l'air de circuler à travers les claies. La quantité de fruit sur les claies doit être maximale, pour ne pas baisser la productivité du procédé, mais il faut absolument éviter que les tranches ou les morceaux ne se chevauchent. Quand une partie repose sur une autre, le risque est grand d'avoir une zone insuffisamment séchée. Cette zone ayant une activité de l'eau importante risque ensuite de se détériorer et/ou de favoriser la multiplication de micro-organismes potentiellement dangereux. Pour contrebalancer cet effet, le temps de séchage peut être augmenté; cependant, cela risque non seulement de sécher excessivement d'autres parties du produit, mais aussi de nuire à la productivité.

7.3.6. Séchage

Une fois disposés sur les claies, les fruits peuvent être séchés. Les claies chargées sont introduites dans le séchoir pour le processus d'élimination de l'eau contenue dans le produit. Le processus de séchage s'effectue pendant une durée allant de 18 à 24 heures, selon un régime bien défini. L'objectif est d'atteindre une valeur de A_w proche de 0,6.

Le principe du séchage a été décrit. Il existe différents **types et modèles de séchoirs** qui sont présentés ci-après. Le poste le plus coûteux est **l'énergie consommée** pour extraire l'eau du produit (ce poste représente 15 à 20% du coût de revient). On comprend dès lors l'importance du choix d'un type de séchoir dont le rendement énergétique varie.

7.3.7. Conditionnement

Après le séchage, les produits sont immédiatement décalqués et les morceaux sont décollés rapidement (dans l'heure) pour éviter que les fruits restent collés au tissu. Ils sont mis à refroidir et **un tri est ensuite réalisé**. En effet, les différences entre fruits, celles pouvant apparaître pendant le pré-traitement ou le traitement, etc., font que les produits obtenus après séchage ne sont pas tous de la même qualité. En séparant les produits finis en différentes «classes», on peut déterminer la finalité des produits et choisir le type de conditionnement adapté au marché ciblé.

Les produits **insuffisamment secs** seront de nouveau amenés au séchoir pour subir un séchage complémentaire.

Pour les produits dont **le séchage est terminé**, le tri permettra, par exemple, de distinguer trois classes de produits finis.

- **1^{er} choix ou qualité supérieure** : souvent destiné à l'export et conditionné en petits formats (sachets de 100 g à 5 kg). Le produit doit avoir une couleur proche du produit frais, sans brunissement, avec un goût préservé et une découpe homogène. Pour les mangues, la forme standard est de 6 à 8 cm x 3 à 5 cm pour une épaisseur de 2 à 4 mm. La valeur de ces produits est de plus du double de celle des deux autres classes.
- **2^e choix** : souvent de même qualité que le premier choix, mais avec des problèmes de taille ou de forme des morceaux. Il est destiné au marché local, souvent conditionné en vrac et emballé à la demande.
- **3^e choix** : fruits présentant des défauts, fruits trop secs, fruits bruns à la suite d'un séchage trop poussé, etc. Il est destiné au marché local, souvent conditionné en vrac et emballé à la demande.

Pour un produit de qualité, un conditionnement adapté est indispensable. En effet, le conditionnement va avoir un impact sur la qualité du produit tant organoleptique que sanitaire ou nutritionnelle. Il est donc primordial de bien choisir le conditionnement pour les fruits séchés. Ce dernier doit **empêcher les réactions d'oxydation, la reprise d'humidité et conserver les produits à l'abri de la lumière**.

Pour le **conditionnement primaire**, les produits séchés sont emballés en portions de format plus ou moins grand (100 g, 500 g, 1 kg...), souvent dans des emballages en polyéthylène (PE). Mais le sachet bicouche (polyéthylène/polyamide) est conseillé parce qu'il empêche le passage de l'humidité et de l'odeur.

Le **conditionnement secondaire** s'effectue dans des cartons. Il permet de regrouper les emballages primaires, de protéger l'emballage primaire ainsi que le produit de l'environnement extérieur, contre les chocs mécaniques, les déprédateurs, la poussière, et la lumière éventuellement. Il doit donc être rigide. Son gabarit et le nombre d'emballage primaire qu'il doit contenir, peut être défini par le client.

Le **conditionnement tertiaire** est la mise en palette ou en container des emballages secondaires, facilitant ainsi la manutention et le transport.

Les sachets et les cartons sont étiquetés manuellement. Le contenu des étiquettes peut être fourni par le client, mais de commun accord avec l'exportateur. L'opérateur doit éviter de surcharger l'étiquette et de la salir. Les écritures doivent être visibles et lisibles. L'étiquette doit permettre de connaître :

- la dénomination du produit,
- la date de fabrication ou date limite de consommation (DLC),
- le pays d'origine,
- le poids du produit,
- la composition du produit,
- le nom et l'adresse du producteur (le fabricant),
- le code d'enregistrement du lot de production (n° de lot).

Les sachets mis en carton sont ensuite stockés sur des palettes dans un local frais (température inférieure ou égale à 25° C), sans lumière vive et aéré, et à l'abri de l'humidité avant l'expédition. Le local de stockage doit être étanche aux insectes, ravageurs et tout autre parasite susceptible de contaminer le produit, à la poussière, régulièrement nettoyé et désinfecté.

Après plusieurs mois de stockage, les mangues peuvent perdre leur couleur. Elles pâlisent avec une tendance au brunissement. Cela peut être favorisé par les conditions de stockage (température et humidité élevées, très vive luminosité, etc.). Un contrôle de qualité de chaque lot est nécessaire avant l'expédition.

7.3.8. Critères d'appréciation de la qualité

Les normes à respecter pendant le contrôle dépendent généralement de ce cahier de charges qui, en plus de la qualité organoleptique et hygiénique, peut prendre en compte le respect de certains critères commerciaux.

7.3.8.1. Contrôles sur le conditionnement

On vérifiera systématiquement sur chaque lot :

- la qualité de l'emballage (type de sachet, propreté, soudure, absence de trous, absence de corps étrangers, volume d'air) ;
- l'étiquetage, s'il est déjà réalisé (exactitude des données, propreté, emplacement et position de l'étiquette, collage) ;
- la qualité du produit (taille des morceaux, degré de séchage, consistance et degré d'agglomération, couleur) ;
- le poids ;
- le contrôle des sachets fermés est complété par le contrôle complémentaire d'un échantillon de sachets qui sont ouverts pour vérifier l'homogénéité du contenu.

7.3.8.2. Stabilité microbiologique du produit sec

Pour une bonne conservation, il est nécessaire que les différents morceaux de mangues et les différentes parties d'un même morceau aient une activité de l'eau suffisamment basse: une humidité du produit qui lui confère une stabilité dans le temps. Par ailleurs, les conditions que subit le produit au cours du séchage doivent limiter l'apport de micro-organismes exogènes et la croissance de ceux présents en surface. Pour cela, la période de séchage pendant laquelle la surface des produits est saturée en eau doit être particulièrement bien maîtrisée.

Un échantillonnage de 100 g pour 100 kg est, par exemple, prélevé pour analyse physico-chimique (pH; activité de l'eau A_w ; taux d'humidité résiduelle; éventuellement recherche de résidus de pesticides et de mycotoxines) et microbiologique (indicateurs d'hygiène générale; indicateurs de contamination d'origine fécale; indicateurs d'altération).

7.3.8.3. Qualité organoleptique des produits

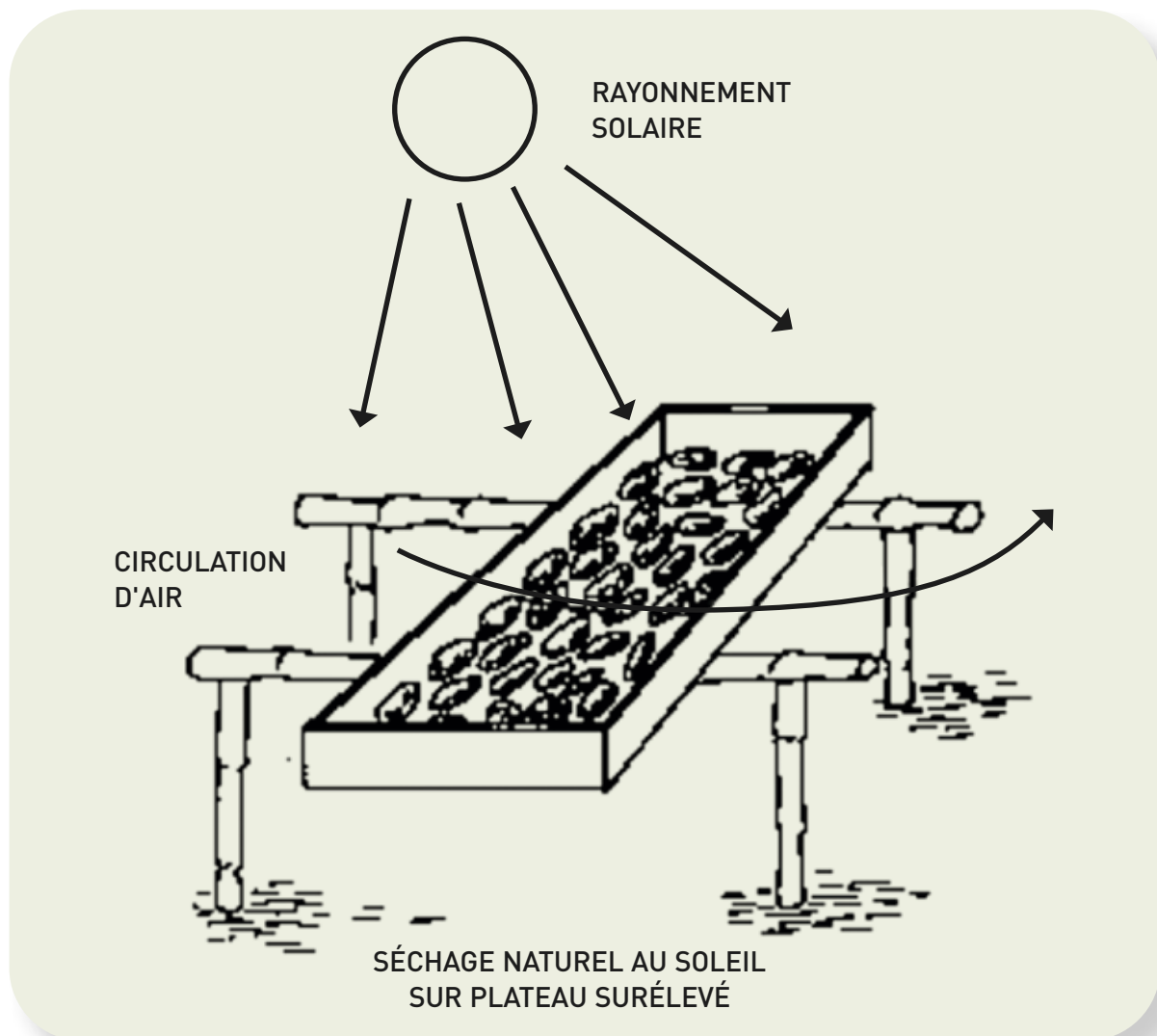
Des modifications d'aspect et d'arômes peuvent avoir lieu ou être provoquées par le séchage: réactions enzymatiques en début de séchage, réaction de brunissement non enzymatique (type «réaction de Maillard») en fin de séchage. Les caractéristiques organoleptiques dépendent de la variété. Par exemple, voici celles pour la mangue séchée.

Caractéristiques organoleptiques		Caractéristiques physico-chimiques	
Amélie	Brooks	Amélie	Brooks
Goût: doux légèrement acidulé	Goût: doux, sucré	Sucre: 76- 78 %	Sucre: 78- 82 %
Couleur: orange clair	Couleur: jaune orangée	Humidité: 12-18 %	
Consistance: séché souple	Consistance: séché, souple et plus ou moins mœlleux ou croquant.	Eau résiduelle: 0,55- 0,65 A_w à 20 °C	
Odeur: fruitée, typiquement mangue		Acidité: 2,5-3 %	
		pH: 3- 4	
		Fibre: 2-3 %	

Source: «Guide d'exportation de la mangue fraîche du Burkina Faso», PAFASP

7.4. CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS SÉCHOIRS

7.4.1. Séchoir solaire



Les séchoirs solaires peuvent être de différents types.

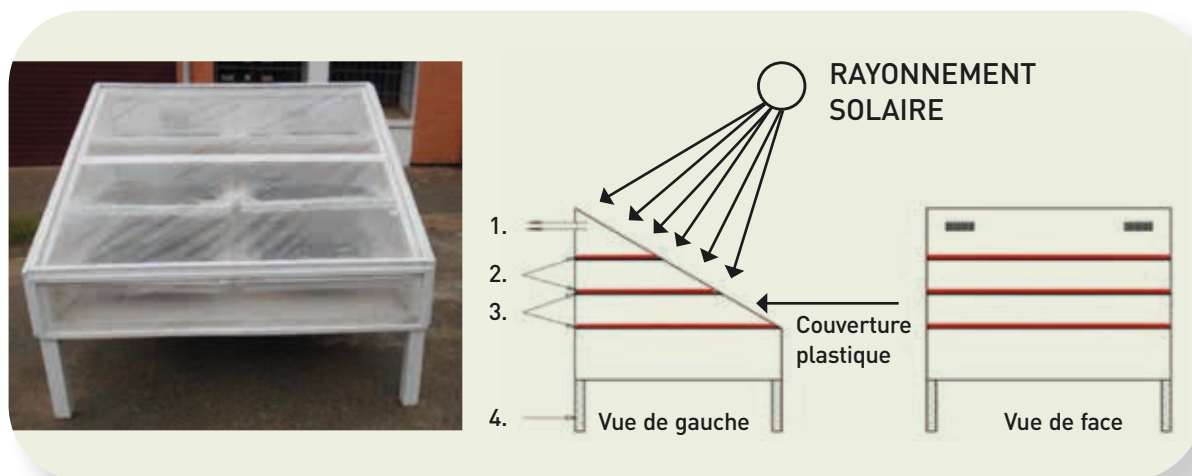
On retrouvera ainsi dans cette catégorie de séchoir **le séchage traditionnel**, qui consiste à placer les fruits sur des claies, des nattes ou des pierres et à les soumettre directement au rayonnement solaire.

Cette technique peut être améliorée assez simplement, en plaçant les fruits sur des plateaux surélevés pour favoriser la circulation de l'air.

Les coûts d'investissement sont très faibles pour ce genre de séchoir et cela peut convenir pour une petite production familiale. Toutefois, ces séchoirs traditionnels ne permettent **aucune maîtrise du processus**, la conduite du séchage dépendant exclusivement des **conditions climatiques**.

Ce type de séchage est long, demande de la main-d'œuvre pour retourner régulièrement les fruits, et les produits peuvent subir une dégradation de leur qualité (organoleptique ou nutritionnelle) à la suite de leur exposition directe au soleil. Il est d'ailleurs également possible de rencontrer un phénomène de réhumidification nocturne, en absence du soleil, ce qui va avoir tendance à allonger considérablement le séchage.

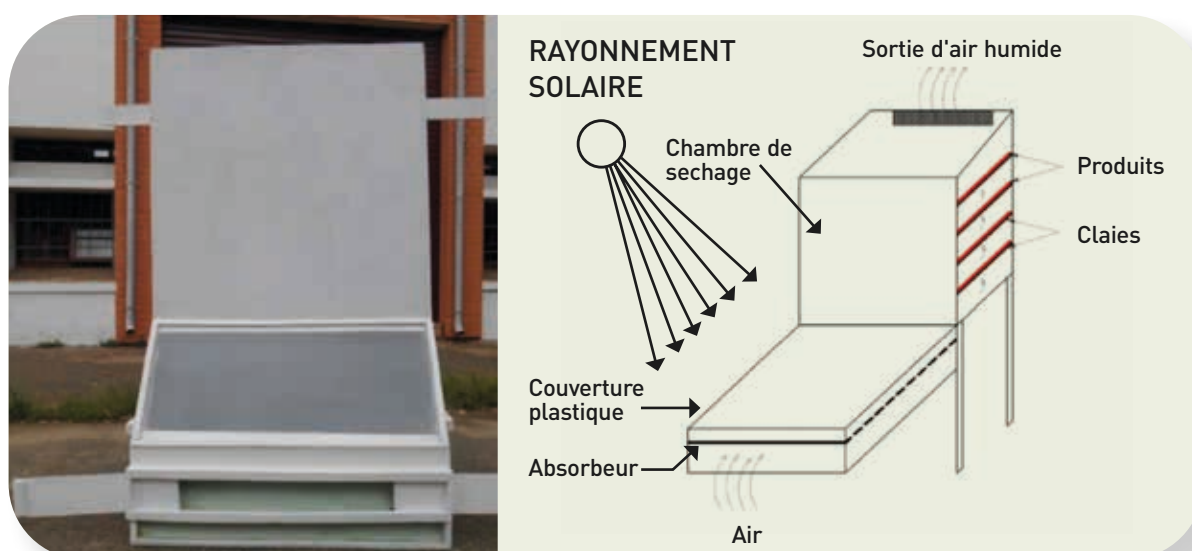
Pour éviter que des nuisibles, comme des insectes, ne viennent en contact avec le produit, ce qui est également l'un des plus gros désavantages des séchoirs traditionnels, il est possible d'ajouter une vitre ou une feuille de plastique transparent pour fermer le séchoir : on parle alors de **séchoirs solaires directs**.



Séchoir solaire direct (température dans le séchoir : 27 à 50 °C)
1. Sortie d'air humide - 2. Produits - 3. Claies - 4. Support

Outre la protection apportée par le verre ou la feuille de plastique, un effet de serre va se développer dans le séchoir, ce qui augmente la température à l'intérieur du séchoir. Toutefois, ces modèles de séchoirs limitent la circulation d'air, ce qui entraîne un séchage moins efficace, et l'exposition directe au soleil est également responsable d'une baisse de qualité du produit.

Pour éviter une exposition directe au rayonnement du soleil et donc une baisse de qualité, il existe également des **modèles de séchoirs solaires indirects**. Ces modèles sont constitués d'un collecteur dans lequel rentre l'air qui va être chauffé grâce aux rayons du soleil. Cet air va ensuite monter par convection naturelle vers la chambre de séchage où sont disposés les fruits sur des claies.



Séchoir solaire indirect (température dans le séchoir : 24 à 37 °C)

Les **séchoirs solaires** bénéficient d'une **énergie gratuite et renouvelable**, ce qui permet de diminuer le prix de revient des produits. Toutefois, les différents modèles de séchoirs solaires présentent tous le désavantage d'être tributaires des conditions climatiques.

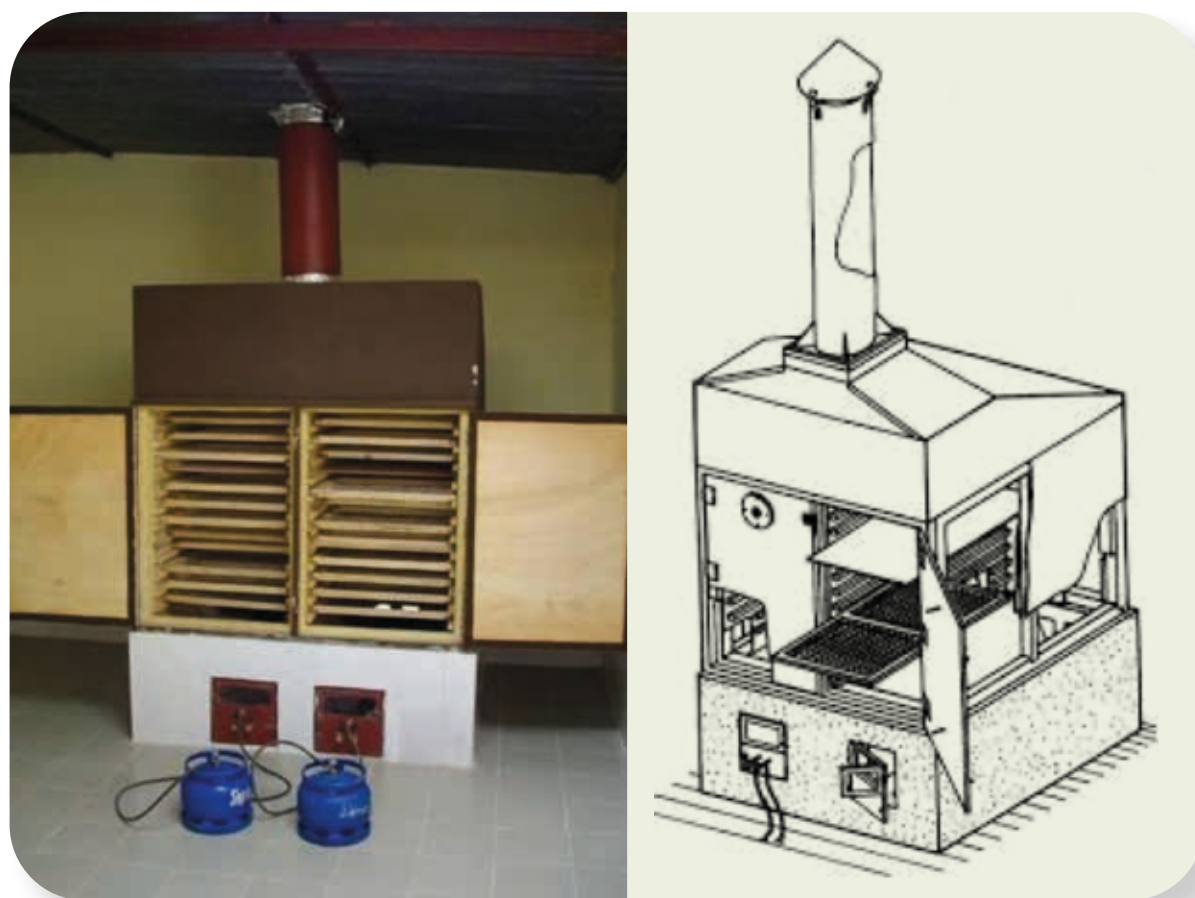
Leur efficacité dépendra ainsi de la quantité d'ensoleillement et de l'humidité de l'air. En région tropicale, ils ne peuvent souvent être **utilisés qu'en dehors de la saison des pluies**.

7.4.2. Séchoir au gaz

Les séchoirs au gaz utilisent donc le gaz, **généralement du butane**, comme source d'énergie pour chauffer l'air et permettre le séchage.

Ces séchoirs utilisant des bonbonnes de gaz, des mesures de précautions doivent être prises pour éviter tout risque d'explosion ou d'incendie. Ces types de séchoirs (ex. : séchoir de type Céas Atesta – cf. Annexes) sont ceux le plus couramment rencontrés en Afrique de l'Ouest. Pour la plupart, ce sont des séchoirs à convection naturelle fonctionnant en lots (*batches*).

Un brûleur sert à réchauffer l'air qui va ensuite passer à travers le (ou les) compartiment(s) supportant les claies avec les fruits séchés. Cet air va se refroidir et se charger en humidité au contact des fruits, il sera ensuite évacué par une cheminée.



Séchoir de type ATESTA

À noter que **des séchoirs hybrides existent**. Il est ainsi possible de chauffer l'air uniquement au gaz ou d'utiliser un collecteur d'air identique à celui utilisé dans les séchoirs solaires : **l'air sera ainsi préchauffé grâce au rayonnement solaire avant d'être chauffé au gaz**. La quantité de gaz nécessaire pour atteindre la température cible est donc réduite, tout comme les coûts.

La circulation d'air sur ce type de séchoir se faisant du bas vers le haut, les claies situées dans la partie haute sont donc en contact avec un air plus froid et plus humide que les claies situées dans la partie basse.

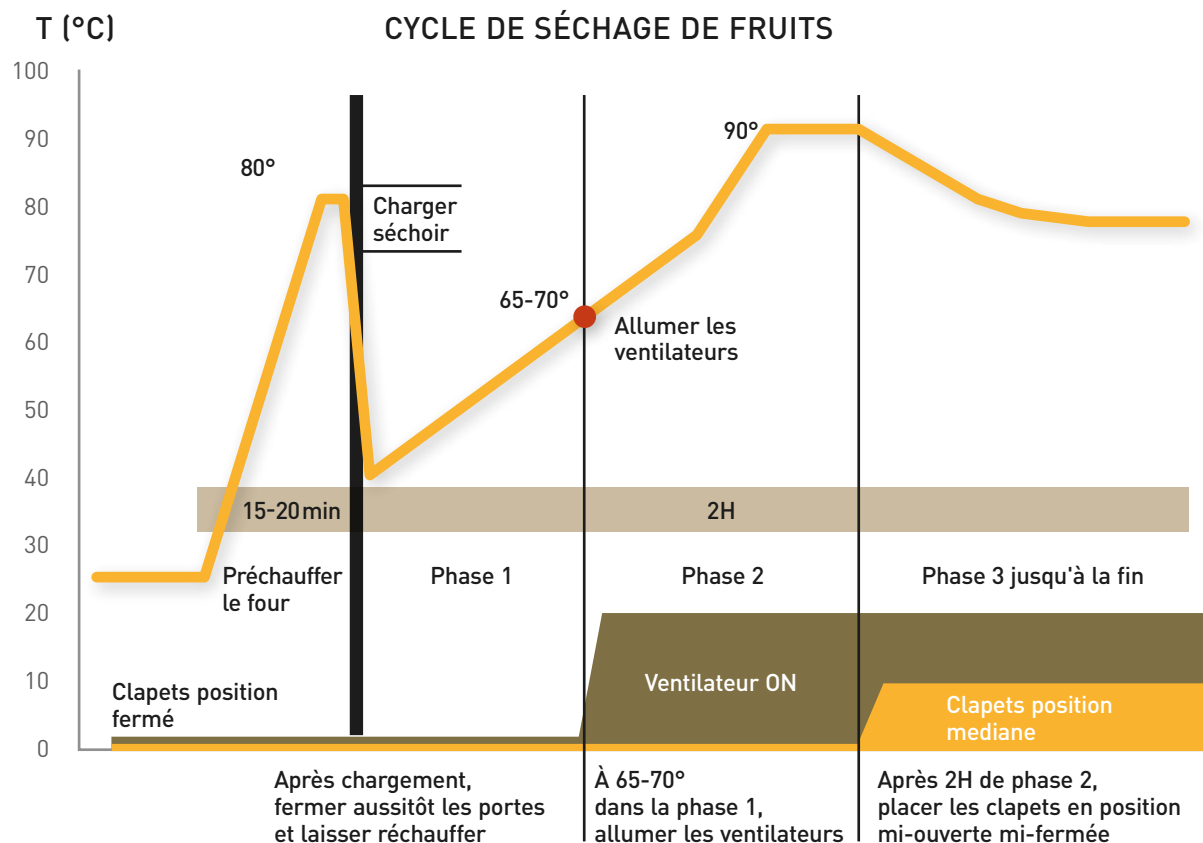
Pour éviter des différences trop importantes de séchage entre les deux parties, **les claies doivent être permutées périodiquement** (p. ex., toutes les deux heures) pour permettre un séchage homogène.

Par exemple, avec ce type de séchoirs, le séchage des mangues est réalisé sur 20 à 24 heures et est conduit en deux phases. La première phase dure de 10 à 12 heures à 80 °C et permet d'extraire l'eau libre contenue dans le fruit. Une seconde phase se déroule à une température comprise entre 40 et 50 °C et permet d'extraire une partie de l'eau liée (à noter que cette deuxième phase se déroule à une température inférieure pour éviter l'apparition du phénomène de brunissement non enzymatique ou réaction de Maillard).

Pour améliorer ce système de séchage, il est possible de passer dans un système à **convection forcée grâce à une ventilation**. Toutefois, ce système consommera plus de gaz et le risque d'extinction de la flamme sera plus grand.



Vue d'un séchoir ATESTA amélioré



Cycle de séchage dans un séchoir ATESTA amélioré

7.4.3. Séchoir industriel

Les séchoirs couramment utilisés dans l'industrie fonctionnent selon le même principe que les séchoirs au gaz. Ces séchoirs utilisent le principe du séchage par entraînement. Cependant, ces derniers utilisent généralement l'électricité comme source d'énergie permettant de réchauffer l'air.

De nombreux séchoirs industriels ont également été développés pour permettre de **travailler en continu** et éviter l'effet *batch*, responsable d'une baisse de la productivité.

D'autres types de séchoirs industriels sont développés en reposant sur un autre type de séchage : **le séchage par ébullition**. Le principe consiste à enlever l'eau contenue dans le produit en lui transmettant suffisamment d'énergie pour s'évaporer. Les séchoirs utilisant ce mécanisme de séchage fonctionnent **généralement sous vide** pour permettre d'abaisser le point d'ébullition. Un apport de chaleur réduit est ainsi suffisant, l'eau contenue dans le produit pouvant s'évaporer dès 40 °C. D'autres modèles ont également été développés en utilisant les **micro-ondes** pour permettre l'évaporation de l'eau.

Ces nouvelles méthodes de séchage doivent permettre de diminuer grandement les temps de séchage et d'obtenir des produits séchés uniformément.

7.5. LES VÉRIFICATIONS À RÉALISER PENDANT LE PROCESSUS

Dans cette partie, **seuls les dangers qui sont pertinents à considérer lors de la production de fruits séchés et les spécificités de ce type de production seront abordés**. Cependant, pour produire des produits sains, il est bien entendu nécessaire de travailler dans des conditions respectant les Bonnes Pratiques d'Hygiène (BPH). Les prérequis liés à l'application de ces BPH ne seront donc pas redétaillés ici (hygiène du personnel, lutte contre les nuisibles, opérations de nettoyage/désinfection, etc.).

Ces spécificités ne sont bien entendu pas une liste exhaustive et peuvent varier en fonction du type de fruits ou de légumes préparés ou en fonction du type de technique ou de matériel utilisé.

7.5.1. Risques avant récolte liés aux contaminants chimiques

Une attention particulière doit être apportée aux fruits et légumes durant toutes les opérations culturales, et **spécialement en ce qui concerne la protection des cultures**. Il faudra veiller à éviter la présence de contaminants chimiques en concentrations qui dépasseraient les normes (valeurs limites autorisées par la législation pour : les métaux lourds présents dans les sols ou apportés par des engrais ; les nitrates ; les résidus de pesticides...).

Si des **produits phytopharmaceutiques** (« pesticides ») sont utilisés sur les cultures avant la récolte, il est nécessaire de respecter les Bonnes Pratiques d'utilisation de ces produits (BPA et BPP). Le type de produit, la dose utilisée et le délai avant récolte sont des paramètres fondamentaux pour éviter une contamination du consommateur. Une mauvaise utilisation de ces produits ou l'emploi d'un produit non autorisé sur la culture peuvent induire un **dépassement des LMR dans le produit final, conduire à une non-conformité du produit** (retrait/rappel), voire – selon les cas – présenter un risque réel pour le consommateur. Les LMR à respecter sont celles des fruits et légumes au moment de la récolte, donc avant transformation (ex. : à la réception).

Même si le lavage pourrait éventuellement éliminer certains dépôts résiduels, dans la majorité des cas, il n'aura aucun impact sur les concentrations en résidus. Au contraire, le fait d'extraire une partie de l'eau par déshydratation pourrait indirectement augmenter artificiellement ces concentrations, puisque la masse initiale se réduit.

C'est identique pour la concentration en métaux lourds (Cd, Pb, p. ex., dans les légumes séchés), en nitrates (dans les légumes) ou en mycotoxines⁴⁶ (fruits ou

46 Les mycotoxines sont des composés chimiques toxiques produites via le métabolisme de différentes espèces de champignons telles que les moisissures (*Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium*, etc.), lorsque les différentes conditions favorables à leur croissance sont réunies. On les retrouve tout au long de la chaîne alimentaire, notamment dans les animaux ayant consommé du fourrage ainsi que dans les produits issus d'aliments contaminés. Les mycotoxines sont des contaminants naturels de nombreuses denrées d'origine végétale, comme les céréales, les fruits et les fruits secs. Cette contamination peut se produire sur les plantes au champ, mais aussi pendant leur conservation (stockage). Les mycotoxines sont des molécules thermostables, elles ne sont pas détruites par traitement thermique. Il est donc important d'effectuer des contrôles réguliers afin de s'assurer de la qualité des produits.

légumes). Il faut donc mesurer ces paramètres dans la matière première, et **faire de la réception un CCP** par rapport à ces paramètres (vérifier le respect de valeurs limites qui tiennent compte de cette réduction ultérieure de masse).

7.5.2. Risques au tri et en post-récolte

Comme cela a été décrit précédemment, une attention particulière doit également être apportée aux fruits au moment de la récolte, comme lors du premier et du second tri, grâce à un contrôle visuel rigoureux.

Les fruits qui seront séchés doivent être sains pour éviter toute contamination par des micro-organismes pathogènes ou par des métabolites indésirables. Ainsi, les fruits présentant des coups, des blessures ou des traces de moisissures doivent être éliminés lors de la phase de tri. Cela doit notamment permettre d'éviter la présence d'organismes pathogènes ou même de certaines mycotoxines dans le produit final, du moins s'il y a un stockage avant transformation. En effet, les champignons produisent ces «toxines» (des métabolites secondaires) pendant la durée du stockage, et plus rarement au champ ou au verger pour ce qui concerne les fruits ou les légumes (à la différence des céréales). Pour les produits séchés, le risque de développement de mycotoxines est plus à considérer pour le stockage des produits finis (séchés) que pour la période avant la récolte.

Au-delà de l'aspect sanitaire, les blessures et autres traces présentes sur les fruits abîmés (ex. : taches brunâtres) pourront également être visibles sur le produit final, ce qui risque de déplaire au consommateur.

7.5.3. Risques liés à la lutte contre les nuisibles

Après l'étape de préparation des fruits (découpage, pelage et dénoyautage), la présence de fruits coupés risque d'attirer de nombreux nuisibles, et notamment les mouches et certains rongeurs. Si aucune mesure n'est prise, des insectes risquent de venir sur les fruits, voire d'y pondre. C'est pourquoi il est nécessaire de mettre en place **un plan de prévention et de lutte contre les nuisibles** et de mettre en place des mesures empêchant les nuisibles de pénétrer à l'intérieur des locaux de production (ex. : installation de sas ; fermeture des portes par des bandes plastiques ; grillages ; lampes UV ; pièges à phéromones ou à glu ; etc.).

7.5.4. Risques liés à l'opération de sulfitage

D'un point de vue sanitaire, il est important d'apporter une attention toute particulière au procédé de sulfitage si ce dernier est utilisé comme pré-traitement. Au-delà du risque, déjà évoqué, pour l'opérateur. Il existe également un véritable risque sanitaire lié à un mauvais dosage des sulfites, tant d'un point de vue du sous-dosage que du surdosage.

Si l'action des sulfites est insuffisante à cause d'un sous-dosage, le risque de voir apparaître un développement de micro-organismes potentiellement pathogènes est donc réel.

Au contraire, un surdosage peut également avoir des effets néfastes sur le consommateur. Des teneurs maximales en sulfites existent pour les fruits séchés et il est important de les respecter pour prévenir une intoxication du consommateur.

Pour s'assurer que ces derniers soient mis au courant de la présence de sulfites, leur présence doit être clairement mentionnée sur l'étiquette si la concentration dépasse les 10 mg/kg.

7.5.5. Risques lors de la mise sur claies

Comme expliqué plus haut, si les fruits sont mal disposés sur les claies et qu'il se chevauchent, le séchage risque d'être mal réalisé. Cette zone de chevauchement où le séchage est mal réalisé présentera donc une activité de l'eau plus élevée que dans le reste du produit, et des micro-organismes peuvent s'y développer. Il est donc important d'effectuer un contrôle visuel après la mise sur claies pour s'assurer que les fruits ne se chevauchent pas.

7.5.6. Contrôle du temps de séchage

Le procédé de conservation utilisé dans la production de fruits séchés est le séchage. Il est donc primordial que cette étape se déroule correctement.

Il faut donc respecter le temps de séjour des fruits dans le séchoir et atteindre les températures prévues pour s'assurer que la teneur en eau des produits en fin de production soit bien égale à celle attendue.

Si le produit n'est pas suffisamment séché, cela induira une activité de l'eau trop élevée et entraînera donc un risque de développement de micro-organismes, notamment des moisissures ou même des microbes pathogènes.

7.5.7. Contrôle lors du stockage des produits finis

Les conditions de **stockage des produits finis sont primordiales** pour s'assurer de la qualité sanitaire de ceux-ci. En effet, si les fruits séchés sont stockés dans des lieux clos et humides, le risque d'une reprise d'humidité est grand. Si la teneur en eau du produit remonte, il est probable que l'aliment ne soit plus stabilisé et qu'un développement de micro-organismes potentiellement pathogènes advienne.

Les moisissures, notamment, sont les organismes susceptibles de se développer en premier lieu sur des fruits séchés stockés dans des conditions trop humides. Cela devra être évité au maximum, car certaines moisissures sont responsables de la production de mycotoxines qui peuvent avoir un impact négatif sur la santé du consommateur.

Les produits séchés doivent donc être stockés dans des lieux secs et aérés.

Danger	Étape	Nature du danger	Niveau acceptable	Mesures préventives
Résidus de pesticides	Récolte	Chimique	Résidus de pesticides inférieurs à la LMR définie par substance et par type de fruit	Respect des consignes d'utilisation (BPA et BPP)
Présence de mycotoxines (ex. : OTA ou ochratoxine A)	Récolte	Chimique	Concentration maximale définie par substance	Tri des fruits, élimination des fruits pourris ou abîmés, éviter de ramasser les fruits tombés au sol
Présence de nuisibles sur les fruits non séchés	Découpe	Biologique	Absence de nuisible dans les locaux de production	Plan de lutte efficace Mesure empêchant l'entrée (moustiquaire, etc.)
Teneur en sulfites excessive	Sulfitage	Chimique	Défini par les normes du <i>Codex Alimentarius</i> ou par la réglementation nationale	Suivre les recommandations dispensées par le fabricant
Teneur en sulfites trop basse	Sulfitage	Biologique	Si le produit présente une activité d'eau >0,65, alors les sulfites doivent être amenés en quantité suffisante pour empêcher le développement de micro-organismes	Suivre les recommandations dispensées par le fabricant
Caractère allergène des sulfites	Sulfitage	Chimique	Teneur en sulfites réduite au minimum possible	Indiquer la présence de sulfites si la concentration > 10mg/kg
Fruits mal disposés sur les claies	Mise sur claies	Biologique	Pas de chevauchement des fruits	Contrôle visuel

Séchage insuffisant	Séchage	Biologique	Teneur en humidité inférieure à la limite prévue et définie en fonction du fruit et de la méthode utilisée	Respect des temps et température de séchage Prévoir des mesures de la teneur en eau dans le plan de maîtrise/de contrôle
Mycotoxines dans le produit fini (ex. : aflatoxines B1, B2; G1 & G2; OTA)	Stockage	Chimique	Concentration maximale définie par substance (entre 2,0 et 4,0 µg/kg pour les aflatoxines; 10 µg/kg pour OTA)	Stocker les produits finis dans des lieux clos et aérés

Remarque : Il faudrait aussi être attentif à éviter la contamination par des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), particulièrement toxiques, en cas de production de fumées lors du chauffage de l'air des séchoirs ou du séchage au-dessus d'un feu.

7.6. ANNEXES TECHNIQUES

Fiche technique du séchoir à gaz ATESTA

Ce type de séchoir est le plus répandu. Le PAFASP (Burkina Faso) a édité dans son guide une fiche technique que nous reproduisons ici.

Énergie : séchoir à gaz à convection naturelle

Capacité : 5 kg de tranches de mangue fraîche par claie, soit 100 kg par séchoir.

Consommation en gaz : 0,6 à 0,8 kg de gaz pour obtenir 1 kg de mangue séchée

Temps de séchage : 18 à 24 heures, selon la période de séchage

Fonctionnement : après allumage des brûleurs et chargement du séchoir, suivre la température de séchage recommandée selon les variétés. Assurer une permutation des claies toutes les deux heures afin que toutes puissent bénéficier de la chaleur des brûleurs.

Conditions optimales de séchage de la mangue : les séchoirs doivent être nettoyés et préchauffés 30 minutes à une heure de temps avant l'introduction des claies contenant les produits à sécher. Les mangues ainsi mises dans les séchoirs pour séchage y restent pendant 18 à 24 heures. On permute les claies toutes les deux heures afin que chacune passe en bas dans la zone la plus chaude pour qu'un séchage rapide et homogène s'y produise. La température est maintenue à 75-80 °C sur les trois premières claies.

Entretien du séchoir : nettoyer les tamis avant chaque cycle de séchage. Ils servent à retenir les insectes. Nettoyer régulièrement les brûleurs pour obtenir une flamme bleue. Après la campagne, chauffer jusqu'à 90 °C pendant 30 à 45 minutes deux fois par semaine, afin d'éviter l'attaque par les termites.

Attention : le gaz utilisé est du butane, qui est très inflammable. Il est très dangereux. Les manipulations doivent se faire avec précaution. Mettre les bouteilles de gaz dehors en les protégeant et prévoir au minimum deux extincteurs.

Estimation des besoins

Ces estimations sont importantes parce qu'elles vous permettent d'évaluer la production (pertes, gains). Supposons une **commande d'une tonne de mangue séchée** et conditionnée en sachets de 100 g.

Estimation de la matière première : il vous faut une moyenne de 15 kg de mangues fraîches pour obtenir 1 kg de mangue séchée. Il suffit de faire le calcul suivant : $1\ 000\ \text{kg} \times 15\ \text{kg} = 15\ 000\ \text{kg}$ de mangues fraîches.

Estimation du gaz : il vous faut en moyenne 0,80 kg de gaz pour obtenir 1 kg de mangue séchée. Il suffit de faire le calcul suivant : $1\ 000\ \text{kg} \times 0,80\ \text{kg} = 800\ \text{kg}$ de gaz. Une bouteille de gaz pèse 12 kg, donc vous avez besoin de : $800\ \text{kg} / 12\ \text{kg} = 67$ bouteilles de gaz.

Estimation des emballages : le client demande des sachets de 100 g (emballage primaire) rangés par 100 dans un carton (emballage secondaire de 10 kg) :

- nombre de sachets de 100 g : $1\ 000 / 0,100 = 10\ 000$ sachets
- nombre de cartons de 10 kg : $1\ 000 / 10 = 100$ cartons



Chapitre 8

Préparation des produits congelés

8.1. Réfrigération et congélation : définitions	234
8.2. Principes physiques du procédé de congélation	237
8.3. Congélation et risques de détérioration	244
8.4. Procédés de préparation des produits congelés	248

8.1. RÉFRIGÉRATION ET CONGÉLATION : DÉFINITIONS

8.1.1. La conservation par le froid

La **congélation** et la **réfrigération** font appel à l'abaissement de température pour prolonger la durée de conservation des aliments. Le froid doit son pouvoir de conservation des denrées alimentaires à deux effets.

- **Un effet thermique** d'abaissement des vitesses de réactions biologiques de développement (métabolisme des micro-organismes) et des réactions biochimiques et enzymatiques qui peuvent aussi nuire à la conservation des aliments.

Il faut retenir toutefois trois températures clés :

- + 3 °C : fin des risques dus aux bactéries pathogènes et toxigènes ;
- - 10 °C : arrêt de toute multiplication bactérienne ;
- - 18 °C : arrêt de toute multiplication microbienne (y compris levures et moisissures).
- **Un second effet, encore plus puissant, mais qui n'existe qu'en congélation et surgélation : l'abaissement de l'activité de l'eau.** En effet, l'eau cristallisée devient indisponible pour toutes les réactions (biologiques, chimiques et enzymatiques) ; ceci explique pourquoi la congélation/surgélation permet des durées de conservation beaucoup plus longues que la réfrigération !

8.1.2. Quelle différence entre la réfrigération et la congélation ?

Pour la congélation, les températures employées sont bien plus basses que pour la réfrigération, mais **la différence essentielle entre les deux procédés est la formation de cristaux de glace.**

- **Un produit «réfrigéré» est simplement refroidi et conservé dans un frigo ou une chambre frigorifique.** Tant qu'on reste à l'état réfrigéré, les cellules des tissus végétaux ne se détériorent pas. Elles restent en vie, au moins pendant un certain temps (qui dépend de l'espèce végétale), même si le métabolisme général (ex. : respiration) est très fortement ralenti à cause des basses températures. Le métabolisme est ralenti, mais pas complètement à l'arrêt. C'est pourquoi les produits flétrissent en perdant leur eau, et certains micro-organismes peuvent continuer à se développer même avec des températures < 10 °C. Ainsi, les bactéries du genre campylobacter (ex. : *C. jejuni*) survivent bien aux températures de réfrigération (de 0 °C. à 10 °C). On a observé des taux de multiplication de bactéries d'un facteur 10 dans des carottes râpées conservées 24 heures au frigo. De manière générale, plus les produits sont «travaillés», plus ils sont potentiellement contaminés et moins longtemps ils se conservent dans un simple frigo.

Dans **les frigos**, un réfrigérateur, un compartiment principal maintient une température moyenne < 5 °C (au milieu), mais dans tous les cas > 0 °C et idéalement entre + 4 °C et + 7 °C selon leur position (milieu, haut ou en bas, dans le bac réservé aux fruits et légumes sensibles aux trop basses

températures). Cependant, des températures de + 10 °C ne sont pas rares dans certains frigos domestiques, faute de dégivrage en temps voulu ou à cause de joints défectueux.

- **On appelle congélation toute technique visant à faire passer un produit à l'état solide par des techniques de refroidissement forcé.** Quand on atteint l'état de congélation, toute activité métabolique cesse et de manière non réversible. On parle de congélation principalement pour l'eau et les produits qui en contiennent.

Cette technique consiste à abaisser la température du produit et à la maintenir, dans un congélateur, en dessous de la température de fusion de la glace (0 °C) afin de supprimer toute activité biologique (qui dépend de la présence d'eau sous forme liquide), voire chimique et enzymatique (pour les très basses températures). Elle associe donc les effets favorables des basses températures et la transformation de l'eau en glace. Il s'agit de la technique la moins destructrice de toutes, à condition d'être conduite convenablement: la congélation doit être rapide, et la température de conservation doit être suffisamment basse. Après décongélation, l'objectif est d'obtenir un produit d'une qualité aussi proche que possible de celle du produit original.

Sous forme de bahut ou d'armoire, intégrée ou non au frigo, le congélateur est présent dans bon nombre de ménages. Les **congélateurs domestiques** descendent en général à - 18 °C, voire une température de - 26 °C (congélateurs domestiques quatre étoiles), ce qui suffit pour une production artisanale. Dans ce type de congélateur, les fruits et légumes se conservent environ un an (contre 2-3 mois pour une viande hachée).

Par contre, la technique de **surgélation utilisée par les industriels** de l'alimentation repose sur des températures d'exposition allant de - 35 °C à - 196 °C, ce qui allonge encore les durées prévues de conservation.

Qu'ils soient congelés ou surgelés, les produits doivent être maintenus à une température de stockage de - 18 °C.

8.1.3. Avantages et inconvénients de la congélation

Aujourd'hui, en Europe, on estime que 50% au moins de notre nourriture a subi un traitement frigorifique. Le froid est donc un composant essentiel de l'industrie agro-alimentaire: en stockage des matières premières (lait cru maintenu en tank réfrigéré à 3 ou 4 °C), lors de la fabrication des produits (blocage du processus d'acidification par le froid vers 3 °C pour la fabrication des yaourts), pour la conservation (stockage des denrées fraîches en chambres froides), le transport (véhicules frigorifiques) et la distribution (meubles de réfrigération ou de congélation). Pourtant, à côté de certains avantages indéniables, le procédé de congélation/surgélation présente de nombreux inconvénients dans le cas des fruits et légumes.

8.1.3.1. Avantages

- Aucun micro-organisme n'est capable de se développer à en-dessous de - 10 °C. La conservation à - 18 °C empêche toute activité microbienne (mais ne les tue pas!).
- La transformation de l'eau en glace fige les tissus et isole l'eau qui n'est plus disponible comme solvant ni comme réactif.
- La valeur nutritionnelle des denrées est préservée.

8.1.3.2. Inconvénients

- La formation des cristaux de glace peut entraîner une **détérioration mécanique** de la texture du tissu végétal (surtout lorsqu'il y a beaucoup d'eau et peu de cellulose). Il faut donc bien maîtriser cette technique si l'on veut garder au produit décongelé ses caractéristiques sensorielles (principalement couleur, saveur et texture).
- **Augmentation du volume**, qui sera fonction de la quantité d'eau présente. Lorsque l'eau se transforme en glace, le volume augmente d'environ 9%. Par la suite, en se refroidissant, la glace subit une légère contraction. Les autres constituants, les lipides notamment, se contractent lors de la congélation. Ces variations de volume provoquent des tensions internes pouvant atteindre plusieurs centaines de bars. **Dans le cas des fruits et légumes, il se produit un déchirement des cellules et des tissus, et une exsudation à la décongélation** (ex. : à - 18 °C : + 9% pour de l'eau ; + 8,3% pour un jus de pomme ; + 4% pour de la framboise entière). Le fruit peut parfois éclater complètement lorsque l'expansion de l'intérieur intervient après la formation d'une coque congelée externe.

L'augmentation de volume est en général proportionnelle à la teneur en eau de l'aliment. La faible augmentation de volume des fruits entiers s'explique par la présence de gaz dans les vacuoles : ces gaz sont comprimés et en partie expulsés lors de la congélation.

- **Dégradation des pigments** colorés par protéolyse⁴⁷ : on conseille donc le blanchiment (ébullition rapide pour détruire les enzymes) sur les légumes sensibles (légumes verts en général).
- **Apparition de saveurs désagréables** par oxydation, comme le goût de « foin » remarquable sur les légumes verts. On conseille alors l'ajout d'antioxydant tel que l'acide ascorbique (vitamine C) pour limiter le phénomène. Cette réaction est sous le contrôle d'enzymes oxydatives ou par réaction spontanée avec l'oxygène dissous.
- **Apparition de taches brunes** sur certains végétaux : il s'agit d'un brunissement oxydatif enzymatique (ou « brunissement enzymatique ») qui correspond à une défense du végétal face à l'agression que représente le choc thermique. La parade est le blanchiment de certains légumes avant de les congeler.

⁴⁷ Protéolyse : la protéolyse est la segmentation des protéines en ses fragments de base (acides aminés) via l'hydrolyse catalysée par des enzymes dits « protéolytiques » (protéases ou hydrolases).

- **Dessiccation de la surface** : le froid dessèche, d'où l'obligation de bien emballer les produits stockés au froid. La dessiccation peut aussi être une réaction vive de sublimation de la glace formée en surface (passage de l'eau solide en vapeur, sans passer par l'état liquide).
- **Formation de givre sur les emballages** : c'est un phénomène périodique de lyophilisation qui résulte des fluctuations de températures. Quand la température extérieure diminue et devient inférieure à la température à la surface du produit, il y a migration de la vapeur d'eau par sublimation sur les parois de l'emballage (ou de la chambre froide) et dépôt sur la surface plus froide sous forme de givre. Le phénomène peut aussi se dérouler à l'inverse. Ceci est important sur les produits emballés et est un signe de fonctionnement intermittent en cycles longs ou de rupture importante de la chaîne du froid.
- **Procédé énergivore**, lors de la congélation, mais aussi pour la conservation à long terme des aliments.

8.2. PRINCIPES PHYSIQUES DU PROCÉDÉ DE CONGÉLATION

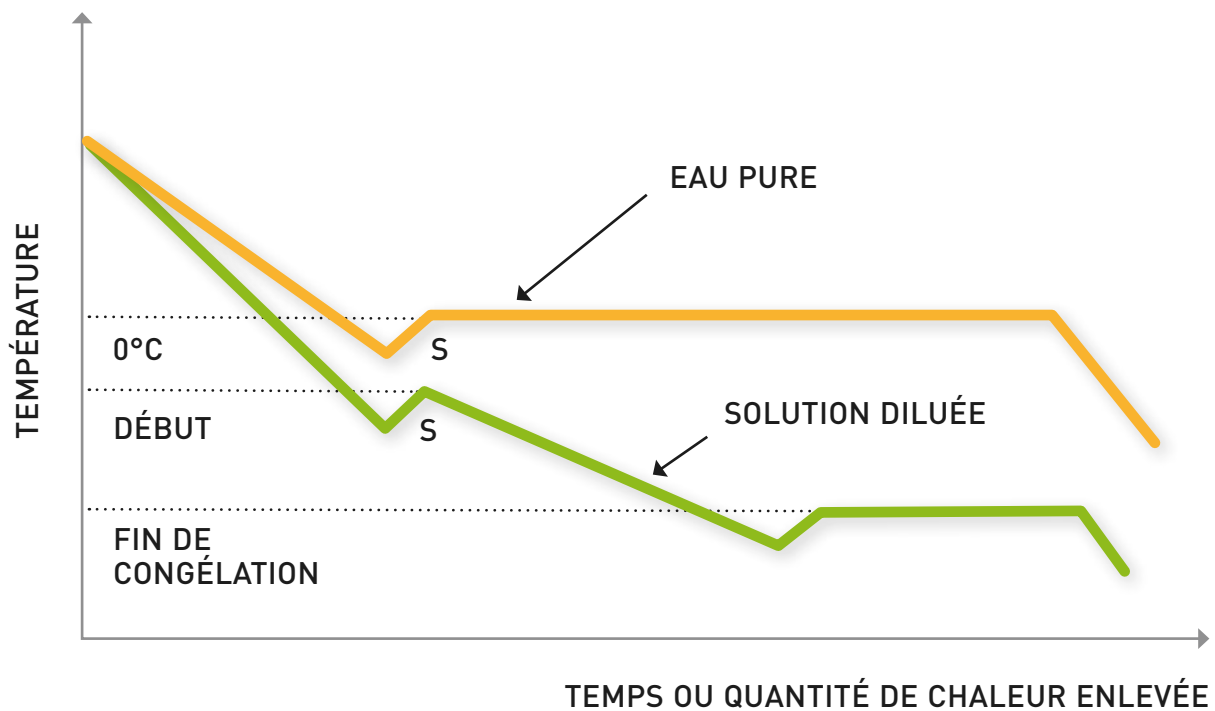
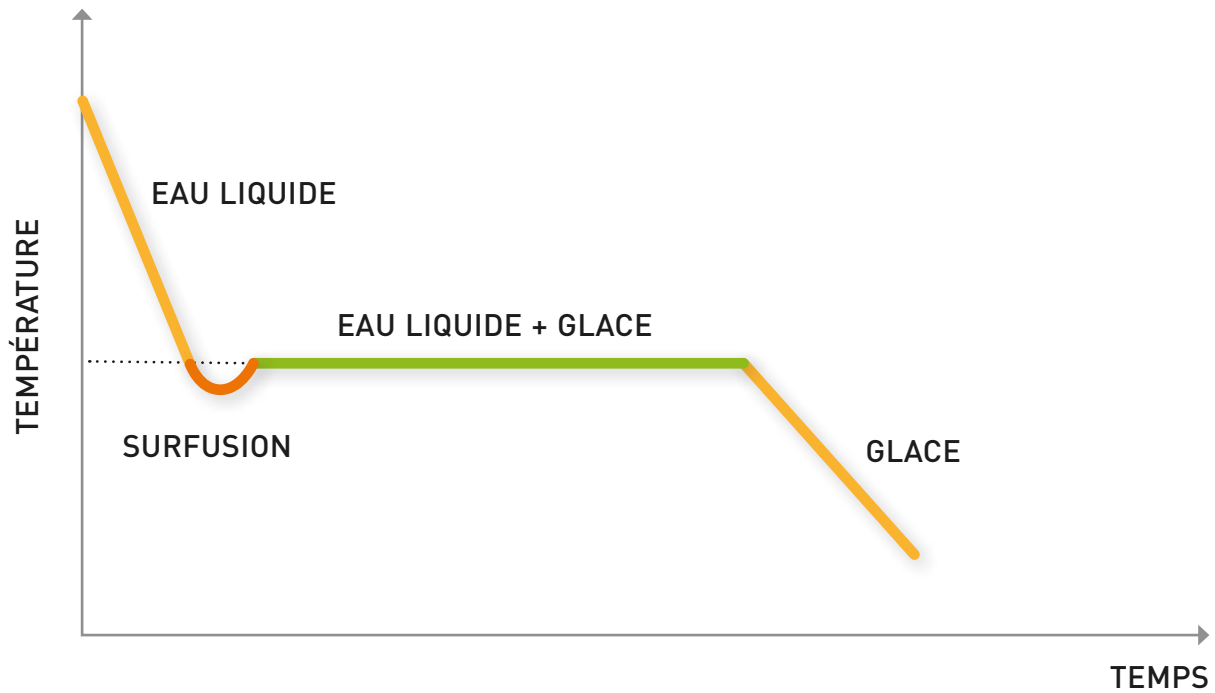
8.2.1. Étapes de la formation des cristaux de glace

8.2.1.1. *Petit rappel de la théorie du changement d'état*

Quand on refroidit l'eau liquide, l'agitation thermique des molécules d'eau diminue et les liaisons hydrogènes se raidissent progressivement. Les molécules d'eau forment alors une structure rigide très organisée : l'eau s'est transformée en glace. À la pression atmosphérique normale (1 atmosphère ou 1013,25 hPa), c'est quand on abaisse la température de l'eau liquide en dessous de 0° Celsius (soit 273,15 K) que l'eau se transforme en glace.

La température de fusion de la glace à pression ordinaire est 0 °C. Mais lorsque l'eau pure est refroidie progressivement, **la congélation ne se produit pas dès que la température atteint 0 °C**. La formation des cristaux de glace (nucléation) est toujours précédée d'une « surfusion ». Cet état se produit lorsque l'on refroidit l'eau rapidement, et l'on peut alors dépasser le point de congélation (dû à un mécanisme d'obstruction à la formation d'un réseau cristallin), puis, par apport d'énergie (choc ou impureté), un dégagement de chaleur va se produire, qui fait remonter la température au voisinage de 0 °C et la solidification a alors lieu. La surfusion est donc « l'état d'une matière qui demeure en phase liquide alors que sa température est plus basse que son point de solidification » ; ainsi, **l'eau reste un certain temps liquide à une température inférieure à 0 °C**. Une petite perturbation (ex. : présence de poussières, de cristaux) peut alors suffire pour déclencher abruptement le changement du liquide vers la phase solide.

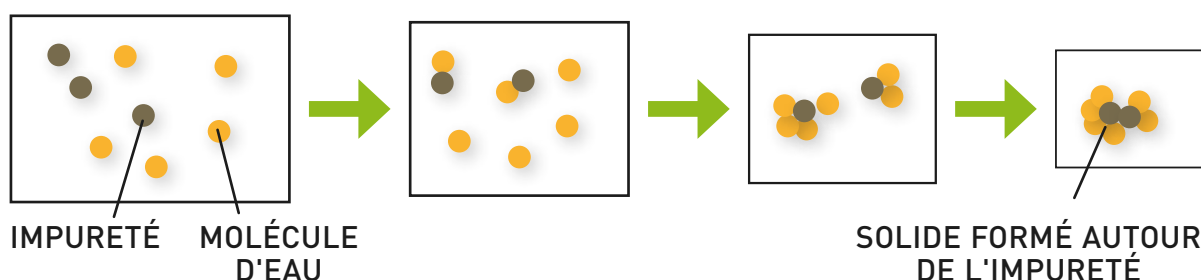
Ce phénomène est surtout important dans le cas de petits volumes (gouttes < 1 mm), ceci explique la difficulté de nucléation de l'eau dans les cellules et en particulier dans les micro-organismes.



Représentation du passage de l'eau en glace et du phénomène de surfusion :
courbes de congélation de l'eau et d'une solution aqueuse

Pendant la surfusion, les agrégats cristallins de molécules d'eau seraient dans un état dynamique: formation très rapide suivie de destruction. Ce n'est qu'au-dessus d'une taille critique que **le cristal serait stable et pourrait servir de germe à la croissance cristalline (nucléation)**. Cette taille critique semble dépendre de la température et serait d'autant plus petite que la température est basse. La nucléation est très peu probable à la température de fusion, mais sa probabilité atteint une valeur maximale à - 41 °C.

La «nucléation»⁴⁸ est **favorisée par la présence de cristaux de divers sels insolubles** ou de particules solides de natures variées (poussières). Dans les aliments, la nucléation est hétérogène et la surfusion faible.



8.2.1.2. Croissance des cristaux

La forme des cristaux de glace (sphérulites, rosettes, dendrites, plaquettes ou étoiles hexagonales) **dépend de la vitesse de croissance, donc de la température de congélation**. La croissance des cristaux résulte du fait que les molécules d'eau migrent dans le milieu et viennent s'agréger à un germe existant. Elle peut avoir lieu à une température proche du point de congélation. En pratique, dans les aliments, **la vitesse de croissance des cristaux dépend de la vitesse d'enlèvement de chaleur** avec un maximum lorsque la température du milieu est inférieure à - 80 °C.

- **La congélation rapide ou surgélation**, au cours de laquelle les denrées sont stabilisées par abaissement rapide de la température jusqu'à - 18 °C à cœur. Cette technique permet la formation de nombreux petits cristaux de glace qui ne détériorent pas l'aliment. Par conséquent, seul un faible exsudat se produit lors de la décongélation.
- **La congélation lente** s'applique à des produits qui, par leur aspect ou leur mode de récolte, ne peuvent satisfaire à certaines exigences, par exemple, vitesse de congélation à laquelle sont soumis les produits surgelés. Le refroidissement de l'aliment s'effectue lentement, ce qui entraîne la formation de cristaux de glace de taille relativement importante par rapport à celle des cellules du produit.

Dans le cas de produits solides ou de viscosité élevée, la taille des cristaux peut varier. À la périphérie, les cristaux se forment rapidement et sont de petite taille ; à l'intérieur, ils croissent plus lentement et atteignent une taille plus grande, car le transfert de chaleur est plus difficile. Les barrières cellulaires ralentissent également la croissance des cristaux.

Aux très basses températures, c'est le transfert de masse qui est un facteur limitant, car la viscosité ralentit le déplacement des molécules d'eau. La concentration agit de même, des substances en solution (sels, alcools, sucres, protéines...) ralentissent la croissance des cristaux de glace.

⁴⁸ La nucléation est un phénomène d'amorçage (ou démarrage) d'un processus spontané d'auto-assemblage à partir d'un noyau ou d'un «germe». Dans le cas du gel d'une goutte : phénomène suivant lequel apparaît le premier germe cristallin, c'est l'agrégation des premiers germes cristallin pour former la glace.

Vitesses de croissance des cristaux de glace (d'après Cheftel)

Liquide	Température	Vitesse de croissance du cristal (en mm/seconde)
Eau	- 9,1 °C	61
NaCl 0,1 M	- 9,1 °C	41
Ethanol 0,1 M	- 9,1 °C	29
Saccharose 0,1 M	- 9,1 °C	6,6

8.2.1.3. Dimension des cristaux

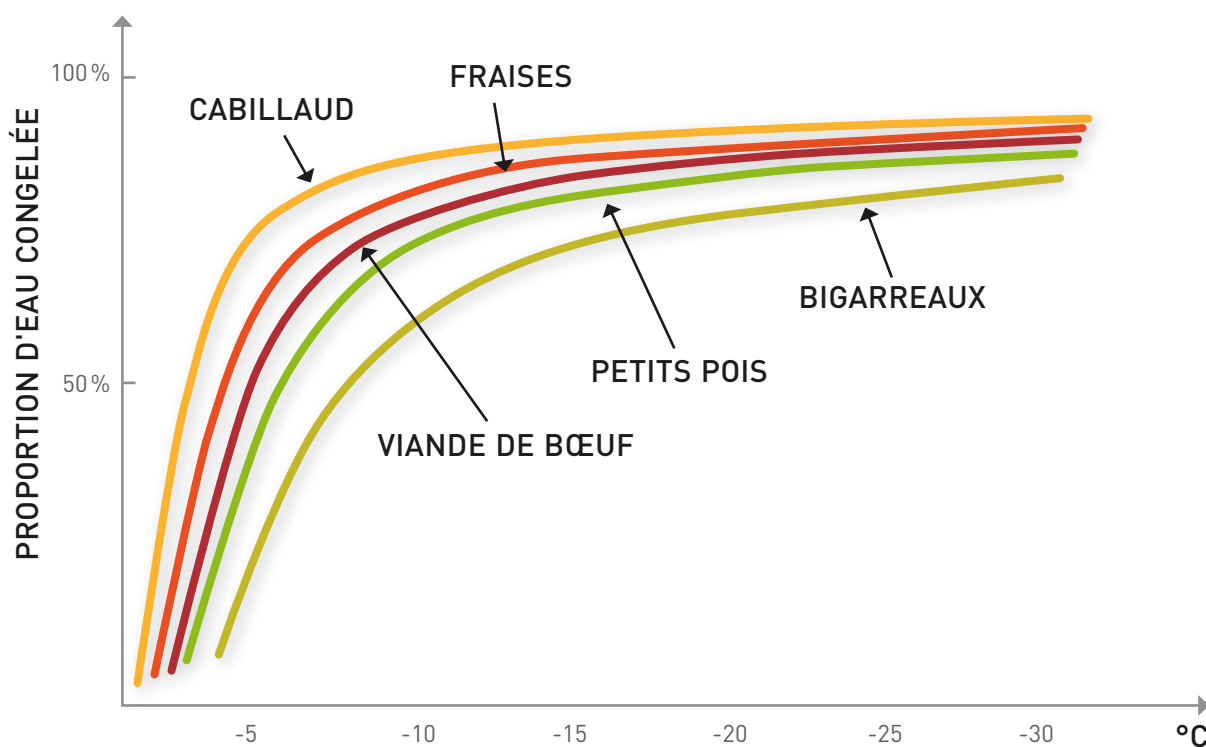
Elle dépend du **nombre de germes cristallins** formés à l'origine dans le milieu liquide. La régulation de la nucléation par la température permet d'obtenir des cristaux de taille souhaitée. À **basse température**, la nucléation est rapide et les nombreux germes donnent naissance à de nombreux **cristaux de petite taille**. À une **température proche du point de fusion**, la nucléation est lente, les noyaux sont peu nombreux et les **cristaux de grande taille**.

8.2.1.4. Recristallisation

Au cours de l'entreposage à l'état congelé, le système cristallin évolue à cause de phénomènes de recristallisation : **certains cristaux de glace s'agrandissent aux dépens de cristaux plus petits qui disparaissent**. Ce phénomène est d'autant plus rapide que la température est proche du point de fusion. Même à - 60 °C, le système aqueux congelé peut subir des remaniements perceptibles.

8.2.2. Influence de la proportion d'eau congelée dans les aliments

Le diagramme ci-dessous représente, en fonction de la température, la proportion d'eau qui est à l'état congelé dans divers aliments dont la teneur en matière sèche soluble varie d'environ 10% (cabillaud) à environ 20% (cerises bigarreaux). À la température habituelle d'entreposage des aliments congelés (- 18 °C), une partie non négligeable de l'eau congelable est encore liquide (2 à 5%) et possède des propriétés de solvant et de réactif. Certaines des réactions de détérioration qui se poursuivent sont dues à **l'existence d'espaces liquides résiduels** à concentration élevée en solutés. Dans bien des cas, il serait plus intéressant d'utiliser des températures de stockage inférieures à - 18 °C, mais le coût deviendrait prohibitif dans ce cas.



Proportion d'eau congelée dans différents aliments en fonction de la température de stockage

Une des conséquences de la congélation est **d'augmenter la concentration des solutés** présents dans les espaces liquides des aliments, avec plusieurs conséquences.

- Lorsqu'on a affaire à des solutés capables de réagir entre eux, on observe, malgré la diminution de température, une augmentation de la vitesse de réaction au cours de la congélation, et cela, jusqu'à environ -15 °C . Cette accélération débute à partir de -5 °C ; au-delà de -15 °C , la vitesse des réactions diminue. Les vitesses les plus élevées ont été observées pour les réactions d'oxydation, d'hydrolyse, d'insolubilisation des protéines. Les réactions enzymatiques ne sont en général pas accélérées.
- L'augmentation de la concentration en solutés entraîne aussi la modification d'autres caractéristiques du milieu : le pH, la pression osmotique⁴⁹, le potentiel d'oxydo-réduction⁵⁰, la tension superficielle⁵¹... L'action de ces facteurs associés à la disparition de l'eau provoquent des changements défavorables dans l'aliment. Par exemple, une baisse de pH, une augmentation de la force ionique ou le seul départ de l'eau peuvent entraîner l'agrégation des protéines (caséines du lait, lipoprotéines du jaune d'œuf).

49 Pression osmotique : pression qui empêche un solvant de passer au travers d'une membrane semi-perméable, une force déterminée par une différence de concentration entre deux solutions situées de part et d'autre de cette membrane.

50 Potentiel d'oxydoréduction – en abrégé potentiel rédox : c'est une grandeur thermodynamique qui mesure le pouvoir oxydant ou réducteur d'un système rédox. Plus un système est oxydant, c'est-à-dire plus il est apte à se réduire en captant des électrons, et plus son potentiel d'oxydoréduction est élevé. Plus il est réducteur et a tendance à céder des électrons, et plus son potentiel rédox est bas.

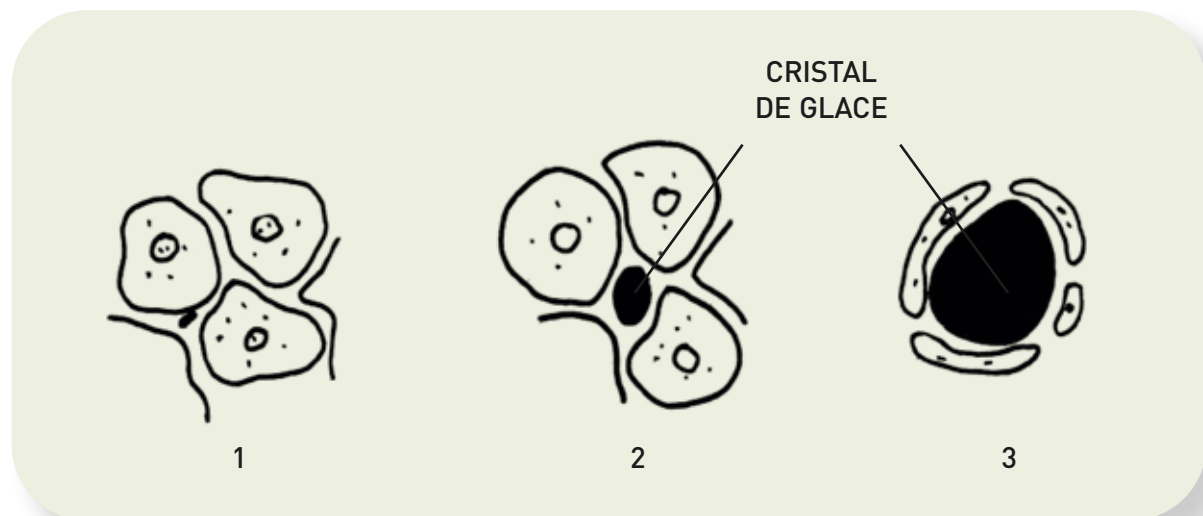
51 Tension superficielle : phénomène physico-chimique lié aux interactions moléculaires qui consiste à améliorer l'adhérence d'un corps à la surface d'un liquide.

Tous ces effets sont limités lorsque la congélation est rapide et la température d'entreposage très basse.

8.2.3. Cristallisation et vitesse de congélation

La congélation d'un tissu débute par la cristallisation de l'eau des espaces extracellulaires (car la concentration en solutés est moindre que dans les cellules).

- **Lorsque la congélation est lente** ($< 1 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{minute}$), la cristallisation extracellulaire (qui accroît la concentration locale en solutés) provoque la déshydratation progressive des cellules par osmose. De **gros cristaux de glace se forment et élargissent** les espaces extracellulaires, tandis que les cellules plasmolysées⁵² diminuent considérablement de volume. Cette déshydratation abaisse encore la probabilité de nucléation intracellulaire. Dans les suspensions de cellules congelées lentement, on n'observe pas de cristaux intracellulaires sauf dans les cellules de plantes non résistantes au gel, dans les légumes congelés après blanchiment, ou dans les tissus congelés une deuxième fois. Ce **déplacement d'eau**, qui peut devenir irréversible s'il dépasse un certain niveau, explique en grande partie la baisse de turgescence, l'exsudation que l'on observe à la décongélation de nombreux aliments. **Il est la cause principale de l'amollissement des tissus végétaux.**



L'observation au microscope montre que les gros cristaux extracellulaires séparent les fibres et les cellules dont les parois sont souvent déchirées. Développement progressif de cristaux de glace dans les tissus lors de la congélation lente.

L'expulsion d'une partie du contenu des cellules a pour effet de mettre en contact des enzymes et leur substrat, notamment les polyphénols oxydases et des polyphénols situés normalement dans des compartiments cellulaires séparés.

52 Plasmolyse : c'est un état cellulaire de la cellule végétale où, à la suite d'une perte d'eau, la membrane se décolle de la paroi pecto-cellulosique. La diminution de pression qui s'ensuit provoque l'affaissement des parties molles.

- Lorsque la congélation est rapide, la cristallisation se produit à peu près simultanément dans les espaces extracellulaires et à l'intérieur des cellules (par nucléation autour d'organites cellulaires et peut être par pénétration de cristaux extracellulaires au travers des parois des cellules). Le déplacement d'eau est faible et il se produit un grand nombre de petits cristaux; les modifications de texture liées à la sortie d'eau des cellules par osmose sont nettement moins importantes. Au microscope, on observe que les membranes végétales sont moins endommagées. Il faut noter que la formation de cristaux intracellulaires, quelle que soit leur taille, détruit dans tous les cas l'organisation interne des cellules (cytoplasme, organites), arrête ou modifie profondément le métabolisme, et provoque la mort des cellules et du tissu.

CONGÉLATION LENTE OU CONGÉLATION RAPIDE ?

Pour les fruits en général, la congélation rapide conserve mieux la texture.

Pour les légumes blanchis, ce n'est pas le cas !



8.2.4. La décongélation des produits

La décongélation d'un aliment est **plus lente que la congélation**, car il se forme à la surface, puis dans les couches externes du produit, une couche aqueuse; or, la conductivité thermique de l'eau est environ quatre fois moindre que celle de la glace qui conduit d'autant mieux la chaleur qu'elle est froide.

Lors de la décongélation, la masse est rapidement portée à une température légèrement inférieure au point de fusion, mais ensuite la quantité de chaleur nécessaire à la fusion est transmise lentement à travers la couche aqueuse extérieure. Le produit reste longtemps à une température proche de 0 °C, engendrant un risque de développement des micro-organismes, dont les pathogènes.

Il est donc préférable de décongeler rapidement.

Les légumes peuvent être plongés directement dans l'eau bouillante.

Les fruits sont généralement décongelés à température ambiante.



En industrie, il existe divers procédés.

- **Décongélation à air pulsé** : en début d'opération, l'air est ventilé avec une humidité élevée (environ 90%) de manière à améliorer le coefficient de convection et éviter la dessiccation du produit. Lorsque la zone superficielle est décongelée, on pulse de l'air à + 4 °C avec une humidité d'environ 70%.
- **Décongélation sous vide** : elle consiste à condenser de la vapeur d'eau à 18-20 °C sur la surface du produit à décongeler dans un caisson sous vide.
- **Décongélation dans l'eau** : cette technique est très répandue malgré son manque d'hygiène ! Afin de limiter les développements microbiens, l'eau doit être à une température inférieure à 20 °C. L'eau circule de manière à augmenter le coefficient de convection.
- **Décongélation par micro-ondes** : cette technique est nettement plus rapide que les procédés classiques. Malheureusement, les micro-ondes étant beaucoup plus rapidement absorbées par l'eau que par la glace, le front de congélation périphérique qui se développe fait écran à la pénétration des micro-ondes dans la zone centrale encore congelée, si bien que la surface du produit peut être cuite avant même que sa partie centrale ne soit décongelée. Cet effet peut être limité par une exposition intermittente des micro-ondes alternée avec des périodes de repos.

8.3. CONGÉLATION ET RISQUES DE DÉTÉRIORATION

Même congelé, un produit alimentaire peut se détériorer pour diverses raisons : réactions enzymatiques, oxydations, croissance des cristaux, prolifération des micro-organismes lors de phases répétées de gel/dégel (ex. : pannes électriques à répétition, fréquentes dans certains pays du sud).

8.3.1. Réactions de détérioration

- Réactions enzymatiques : brunissement enzymatique des fruits congelés à l'état cru. Solutions :
 - addition d'acide ascorbique, de sucre ou d'anhydride sulfureux ;
 - blanchiment : la plupart des légumes doivent être blanchis avant congélation, car certains enzymes conservent une activité même à très basse température.
- Réactions non enzymatiques : oxydation des lipides (ex. : petits pois), de la vitamine C (fraise), de pigments caroténoïdes, d'arômes. La dégradation des pigments anthocyaniques (fraise) ou de la chlorophylle (épinards, haricots verts, choux de Bruxelles) constitue également un facteur limitant la durée d'entreposage.
- Flocculation des matières en suspension : dans les jus de fruits, les pectines peuvent subir une déstabilisation.
- Recristallisation des cristaux de glace, avec une augmentation de leur taille qui entraîne une modification de la texture de divers aliments.

- Dessiccation partielle due aux fluctuations : l'emballage peut constituer une bonne protection s'il est imperméable à la vapeur d'eau et s'il adhère au produit (emballage sous vide ou rétractable). Si l'emballage n'adhère pas au produit, il peut y avoir une dessiccation superficielle de la denrée et une condensation de l'eau sur la face intérieure de l'emballage (givrage). L'emballage doit aussi être imperméable à l'oxygène et à la lumière.

8.3.2. Effets sur les micro-organismes

De ce qui précède, nous avons compris que la congélation agit de plusieurs manières sur la flore microbienne :

- l'abaissement de la température réduit la vitesse de multiplication des germes ;
- la transformation de l'eau en glace diminuant la quantité d'eau disponible pour les micro-organismes, la congélation inhibe complètement leur multiplication ;
- le changement d'état eau/glace provoque des altérations de structure et du métabolisme des germes susceptibles de provoquer la mort de certains micro-organismes.

En effet, la cristallisation de l'eau **modifie les structures microbiennes** tant par ses effets mécaniques que physico-chimiques. Les lésions de membranes (perforation, dénaturation des protéines) agissent sur la perméabilité cellulaire et s'accompagnent de la sortie de composés vitaux tels que nucléotides, acides nucléiques, peptides, ions minéraux..., entraînant une perte de viabilité des cellules.

On peut retenir les points suivants.

- **La congélation n'a pas d'effet bactéricide.** La congélation agit sur le métabolisme des germes. Elle réduit la population microbienne initiale, mais dans une faible proportion. Pour les micro-organismes les plus sensibles (Gram-)⁵³ la population est réduite de 90 % par la congélation. La plupart des bactéries Gram- perdent leur aptitude à utiliser l'azote minéral pour leurs synthèses protéiques et utilisent des peptides déjà élaborés pour leur croissance. Certaines souches de pseudomonas perdent leur aptitude à produire leur pigment.
- **Les températures de congélation faiblement négatives sont plus létales que les températures fortement négatives :** entre - 4 °C et - 10 °C, un plus grand nombre de micro-organismes sont inactivés qu'à - 15 °C et à - 30 °C, température à laquelle l'inactivation est pratiquement nulle.
- **La congélation lente a un effet plus néfaste** que la congélation rapide sur la survie des bactéries, car les cellules sont exposées pendant un temps plus long à la cryoconcentration et les cristaux de glace sont plus gros.
- La destruction des micro-organismes est d'autant plus grande que le stockage est plus long.

53

Bactéries Gram- : les bactéries à Gram négatif sont mises en évidence par une technique de coloration appelée coloration de Gram. Les bactéries à Gram négatif apparaissent alors roses au microscope. La technique de coloration repose sur les caractéristiques membranaires et de paroi de la bactérie (structure bimembranée).

8.3.3. Pourquoi ne pas recongeler un produit décongelé ?

Il est fréquent d'entendre les recommandations selon lesquelles il ne faut pas recongeler un produit qui a été décongelé. La multiplication des micro-organismes et des bactéries est souvent mise en cause. La recongélation est pourtant réalisée par les industriels. Chez soi, cette pratique est à éviter, et ceci, pour différentes raisons.

8.3.3.1. Congélation et bactéries

Lorsqu'un aliment est congelé, des cristaux de glace se forment dans les cellules qui peuvent être plus ou moins être détruites selon sa nature. Il en va de même pour certaines des bactéries qu'il renferme. Au contraire, d'autres bactéries sont en latence et reprennent leur prolifération une fois que le produit est décongelé. En effet, les cellules détruites constituent des obstacles en moins à franchir et de la nourriture en plus pour ces bactéries qui ont résisté au froid.

8.3.3.2. Congélation et toxines

Lorsqu'un produit qui a été congelé est décongelé puis recongelé, **le nombre de micro-organismes pathogènes augmente**. Or, ces **micro-organismes génèrent des toxines** qui, une fois libérées, ont des effets néfastes sur la santé. Concrètement, plus les micro-organismes sont nombreux, plus les risques de provoquer une intoxication alimentaire sont élevés et fréquents.

8.3.3.3. Le processus décongélation/recongélation

Lorsque vous décongelez un **aliment en le laissant à l'air libre**, ce processus se fait à une température ambiante, et prend donc plus de temps. Ce délai est **favorable à la multiplication des bactéries**. Il en va de même si vous optez pour une cuisson rapide à feu doux.

La recongélation, lorsque vous le faites chez vous, avec un congélateur à usage domestique, prend également du temps. Jusqu'à ce que le processus de recongélation soit effectif, un certain délai est nécessaire. Pendant cet intervalle, les bactéries ont largement plus de temps pour s'accroître de manière exponentielle.



Concrètement, les phases de congélation, de décongélation et de recongélation finissent par rendre les aliments très dangereux pour la santé. En effet, entre la première congélation et la première recongélation, il y a près d'un millier de bactéries en plus.

Ces micro-organismes, notamment ceux qui sont pathogènes, peuvent cependant être éliminés. Pour cela, la cuisson constitue un bon moyen si elle a **une certaine durée à une température d'au moins 125 °C**. Donc, décongeler puis cuire un produit à 100 °C, par exemple, ne pourra pas suffire pour éliminer les micro-organismes. Il en va de même pour le bain-marie.

8.3.3.4. *Du goût en moins*

Comme les cellules sont détruites, **la texture du produit est également dénaturée** et le goût des aliments se retrouve ainsi transformé. Pour avoir une meilleure idée de ce qui se produit, il suffit de procéder à une expérience. Lorsque des framboises fraîches sont congelées, elles conservent leur forme, leurs cellules sont juste «cristallisées». Par contre, lorsqu'elles sont laissées à l'air libre pendant un certain temps, elles sont de plus en plus écrasées. Elles n'ont plus le même goût qu'elles avaient à l'origine. C'est exactement le même phénomène qui se produit pour les autres produits alimentaires.

8.3.4. **Quelle est la durée de conservation d'un produit congelé ?**

La durée de conservation dépend énormément de la température. Par exemple, une température de - 30 °C est parfois utilisée pour le stockage du poisson pendant 6 à 8 mois. On fait de même pour les crèmes glacées, afin d'éviter la formation de trop gros cristaux de glace. Ces températures très basses sont très coûteuses et difficiles à maintenir pendant le transport et surtout dans les points de vente.

En pratique, la température de - 18 °C a été retenue pour la plupart des aliments.

Le terme «surgelé» sur le produit garantit qu'il a été congelé le plus rapidement possible à une température égale ou inférieure à - 18 °C, puis maintenu à cette température pendant toute la durée de stockage.



8.4. PROCÉDÉS DE PRÉPARATION DES PRODUITS CONGELÉS

8.4.1. La congélation de fruits et légumes à petite échelle

Quoi de plus facile que de congeler ses aliments pour bien les conserver ? Il suffit d'avoir un congélateur dont la température descend sous - 18 °C. On peut facilement congeler des fruits, des légumes ou même des feuilles, des herbes aromatiques, etc. La congélation est une façon très simple pour bien conserver les aliments, mais **il faut suivre quelques règles.**

1. Utiliser des aliments frais ou bien secs et qui supportent bien la congélation.
 - L'idéal est de **congeler des produits très frais, si possible immédiatement après la récolte**, pour en conserver les vitamines. Plus on est rapide, mieux c'est. On évite de les laisser traîner plusieurs jours, même dans le frigo, avant de procéder. On peut congeler des fruits ou des légumes récoltés à pleine maturité et sains.
 - On évite par contre de congeler des pommes de terre crues et des légumes à consommer crus. La texture des salades, concombres, tomates et autres changent lors de la congélation. Il n'y a aucun souci si on les destine à la cuisson.
 - On peut aussi congeler des feuilles fraîches (ex. : en rouleaux, comme au Sierra Leone) ou feuilles et herbes bien séchées.

2. Préparer avant de congeler.
 - Légumes : avant de les placer au congélateur, **on lave et nettoie soigneusement les légumes. On doit blanchir la plupart d'entre eux** pour inactiver les enzymes et détruire une bonne partie des micro-organismes. Éliminer ces sources d'altérations garantit alors une meilleure conservation des couleurs, saveurs et textures. Blanchir permet aussi de conserver une certaine quantité de vitamines, surtout si on compte conserver les légumes pendant longtemps au congélateur. Attention : **on ne congèle que des aliments froids**, sous peine de voir apparaître du givre !
 - Fruits : avant de congeler, on vérifie l'état des fruits. S'ils présentent des signes de maladies ou d'attaques de nuisibles, on préfère leur éviter la congélation. Ensuite, on essuie les fruits sains sans les laver. On congèle les fruits de petit calibre entiers, les plus gros en morceaux et les fruits à noyaux dénoyautés. Les fruits prennent moins de place si on les congèle sous forme de compotes, coulis, marmelades, sirops...

Pour les fruits destinés à être mangés crus, il faut les sucrer pour conserver leur saveur, leur couleur et leur teneur en vitamine C. Pour enrober les fruits, on mélange dans un plat :

 - 200 g de sucre par kilo de fruits acides ;
 - 100 g de sucre suffisent par kilo de fruits sucrés.

On peut citronner (apport de vitamine C) les fruits qui noircissent et sucrer les fruits rouges (fraises, framboises, groseilles...). Ils se gardent alors mieux et on sucre moins la préparation finale.

3. Découper et préparer de petites portions.

On découpe et congèle de préférence des petites portions. Le froid les saisit plus vite : cela évite de réchauffer la température du congélateur, ce qui pourrait se produire si on introduit trop d'aliments tempérés en une fois. Surtout, ne pas introduire de produits encore chauds dans le congélateur. On peut les refroidir au frigo avant congélation.

4. Choisir les bons contenants.

- Les contenants sont importants pour la congélation. On les préfère lavables et réutilisables pour réduire ses déchets. Pour la congélation vous pouvez utiliser comme emballages :
 - des sacs en plastique non réutilisables, que vous prendrez soin d'aplatir pour chasser l'air ; on veille aussi à ce que l'emballage contiennent le moins d'air possible ; une bonne solution est d'utiliser des sachets sous vide ;
 - du papier aluminium épais (pour éviter les déchirures) ou du film plastique ;
 - des barquettes en aluminium, réutilisables, à condition d'avoir été impeccablement nettoyées ;
 - des boîtes en plastiques (ne pas les remplir jusqu'à ras bord, mais laisser au moins 1 cm d'espace sous le couvercle : en se congelant, les aliments augmentent de volume).

Sachets plastiques, boîtes ou bocal en verre doivent être fermés hermétiquement. On évite ainsi que l'air froid déshydrate et oxyde les aliments. On peut laisser les emballages d'origine (s'il y en a), qui ont l'intérêt de comporter des conseils d'utilisation et une date limite de consommation, des indications toujours utiles.

- Pour congeler vos produits, vous devez les emballer de façon parfaitement hermétique. L'emballage doit être étanche et vide d'air, ce qui évitera une perte d'humidité.
- Les liquides gonflent lors de la congélation. Pour éviter aux contenants en verre d'éclater sous la pression, on les choisit plus grands que leur contenu alimentaire : on laisse un espace de 3 cm vide sous le couvercle des bocaux.
- Pour éviter que les fruits et légumes s'agglutinent pendant la congélation, on les étale sur une plaque garnie d'un papier de cuisson en laissant de l'espace entre chaque pièce. On place au congélateur. Une fois pris, il ne reste qu'à les transférer dans leur contenant final.

5. Étiqueter.

Quand on place les aliments au congélateur, on pense à étiqueter les contenants. On indiquera au moins :

- le contenu, car certains aliments sont difficiles à reconnaître une fois congelés ;
- le nombre de portions comprises dans le contenant ;
- la date de mise au congélateur : cela permet de reconnaître les aliments congelés et de les consommer par ordre chronologique ; ils se conservent de quelques mois jusqu'à un an (pour les légumes) ;
- idéalement, la date limite de conservation (selon le type de congélateur).

6. Bien décongeler et éviter de recongeler.

La décongélation suit des règles toutes simples. On décongèle les aliments lentement dans un plat au frigo, au four à micro-ondes ou dans de l'eau froide. On s'abstient de décongeler à température ambiante pour éviter aux bactéries de proliférer. Quand on décongèle un produit, on l'utilise toujours dans les 24 heures. Un aliment décongelé puis recongelé contient donc un plus grand nombre de bactéries, ce qui augmente le risque d'intoxication alimentaire. Recongeler un aliment altère aussi son goût et sa texture.

7. Travailler proprement et méthodiquement.

Même pour une production artisanale, les règles élémentaires d'hygiène doivent être scrupuleusement respectées, car vous congèlerez aussi vos microbes ! Voici les précautions à prendre :

- nettoyage des mains, hygiène corporelle ;
- nettoyage des plans de travail ;
- nettoyage des casseroles, outils, couteaux, spatules, etc. ;
- nettoyage régulier du congélateur : le congélateur doit rester propre et les produits rangés.

Dans un congélateur « bahut » (ou coffre), il n'est pas toujours évident de ranger ses produits en suivant la règle « FIFO » (*first in – first out*), puisque les produits sont déposés les uns sur les autres, les plus vieux se retrouvant forcément dans le fond. Il arrive même d'« oublier » certains produits dans le fond du congélateur, pris dans la glace. Les congélateurs « armoires » facilitent la gestion et le rangement des produits : ils sont plus chers, mais moins volumineux en général.



Congélateur bahut ou coffre



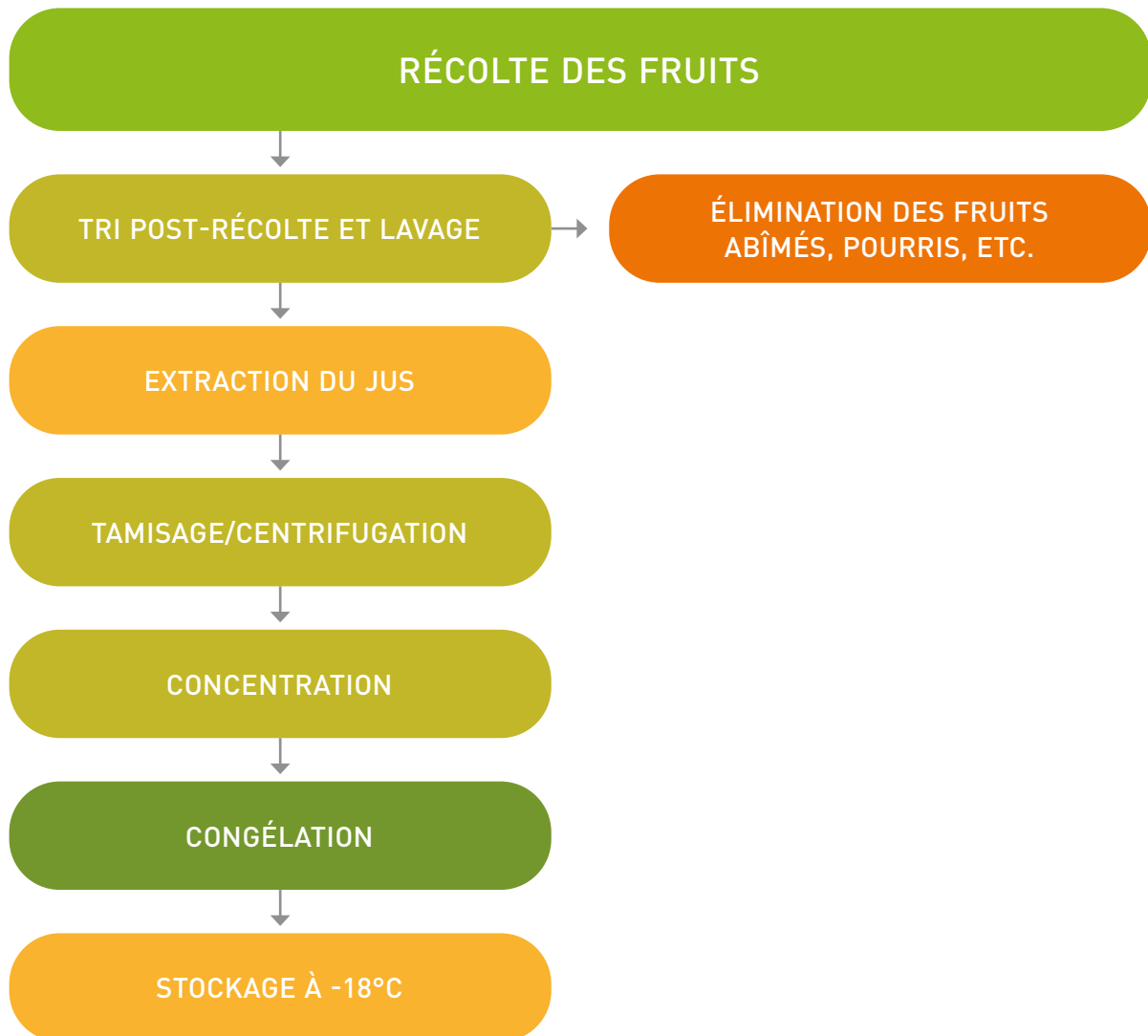
Congélateur armoire

8.4.2. Processus industriel de préparation des produits congelés

Une grande variété de produits végétaux ou à base de végétaux peuvent être congelés (ex. : légumes, fruits...), et, par exemple, vendus en fûts métalliques de 190 kg pour la vente de jus de fruits, purée de fruits, etc. (ex. : purées non sucrées de fruits ou jus de fruits comme le litchi ou l'ananas préparés par SCRIMAD à Madagascar).

Le processus de base ne change guère.

Par exemple, pour produire des jus de fruits concentrés qui seront congelés :



Pour de la purée de fruits, on remplacera les opérations d'extraction de jus par la réalisation de la purée.

Nous nous limiterons donc à parler de l'opération qui est au centre du processus : la congélation.

8.4.3. Facteurs qui peuvent influencer la durée de congélation/surgélation

La durée de congélation est une caractéristique importante à connaître, car elle va permettre :

- de déterminer le temps de séjour ou le débit du produit à congeler (tunnel continu) ;
- de dimensionner le matériel lors d'un achat.

La durée de congélation va dépendre des **caractéristiques du produit**, mais aussi de celle **du matériel utilisé**.

a. Caractéristiques du produit à congeler

- Quantité : masse de produit à congeler.
- Température initiale et finale.
- Humidité : l'énergie à fournir augmente avec l'humidité.
- Chaleur spécifique (C_p en kcal/kg/°C) : quantité de chaleur à enlever pour diminuer de 1 °C la température de 1 kg de produit. Par exemple, le C_p de l'eau (1 kcal/kg/°C) est supérieur à tous les autres ingrédients des aliments (ex. : lipide = 0,5 kcal/kg/°C). **Conséquence : plus l'aliment est riche en eau, plus il faudra de l'énergie pour le congeler !**
- Conductivité thermique (en kcal/m.°C)⁵⁴ : glace (1,9 kcal/m.°C) > aliment congelé > eau (0,51) > aliment non congelé > lipides (0,05) > air (0,02).
- Masse volumique (air = isolant thermique).
- Géométrie : forme et épaisseur.

b. Caractéristiques du matériel

- Température du fluide frigorigène et différence de température entre produit et fluide frigorigène ou air.
- Les caractéristiques du fluide réfrigérant : l'eau, l'air, les gaz cryogéniques n'ont pas les mêmes coefficients d'échange de chaleur.
- Puissance frigorifique disponible (en kW ou kcal/h ou frigorie).
- Coefficient de transfert de chaleur (fonction du type de contact entre le produit et le milieu réfrigérant).

8.4.4. Procédés de congélation des produits végétaux

Les procédés de congélation courants dans les industries agro-alimentaires utilisent des sources frigorifiques, soit mécaniques, soit cryogéniques, soit par association des deux. Les congélateurs à froid mécanique sont largement répandus à l'échelle industrielle. Il existe plusieurs méthodes dont :

- la congélation par air : parmi les techniques employées, on distinguera les congélateurs à tunnels, les congélateurs à plaques et les systèmes de congélation directe (congélation cryogénique) ;
- la congélation par contact direct sur une surface pré-refroidie ;
- la congélation cryogénique par aspersion d'un liquide (azote ou CO₂ liquide) qui s'évapore au contact du produit.

54

La conductivité thermique ou conductibilité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Elle représente l'énergie (quantité de chaleur) transférée par unité de surface et de temps sous un gradient de température de 1 degré Celsius par mètre.

8.4.4.1. Procédés de congélation utilisant l'air

Ce procédé de congélation existe en discontinu (chambre ou tunnel dit statique) et en continu (tunnel à bande porteuse ou dynamique).

- **Chambres statiques de congélation (avec un air statique) :**

Le produit est placé dans l'air stagnant maintenu à - 20 ou - 30 °C. Une épaisseur de 0,2 cm de produit est congelée par heure (durée de congélation: de quelques heures à plusieurs jours). Ce sont des conditions peu favorables pour la qualité, aussi ce procédé est-il très peu employé.

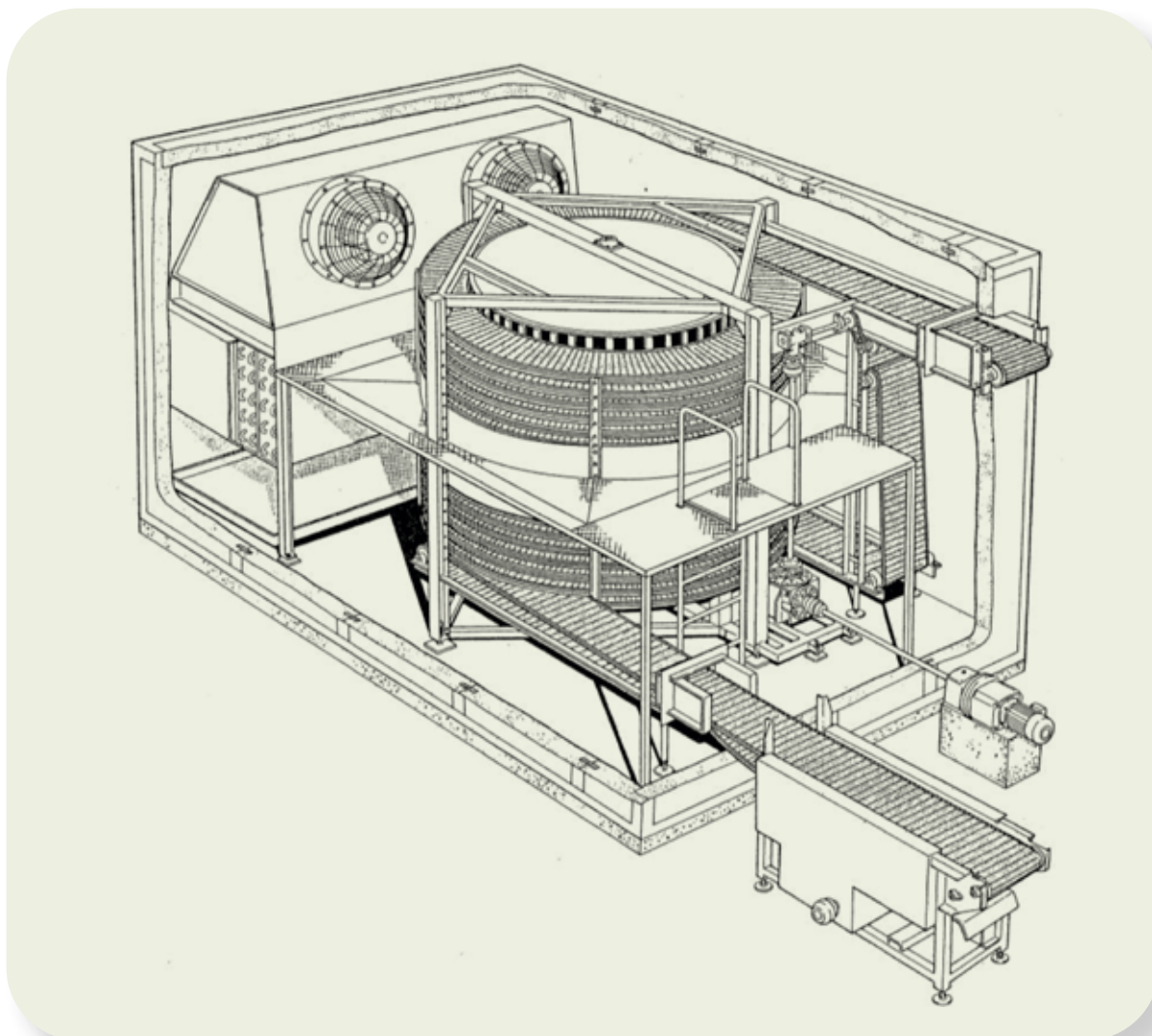
Les appareils **fonctionnent en discontinu**. Ce sont de simples chambres calorifugées et thermostatées. Afin d'éviter les dégagements de chaleur dans l'enceinte, les moteurs des ventilateurs se trouvent à l'extérieur. Les produits sont entreposés **sur des chariots ou des palettes**. Ce type de matériel convient pour les entreprises qui ont une large gamme de produits à traiter (viandes, volaille, plats cuisinés, crème glacée en petits pots...).

- **Tunnels (avec un air en mouvement)**

Dans les congélateurs tunnels, l'air est refroidi à - 20 à - 45 °C en passant à travers l'évaporateur de la machine frigorifique. Il est pulsé sur le produit par un ventilateur, à une vitesse de 50 km/h. Puis, il est recyclé pour être refroidi de nouveau. L'épaisseur de produit congelé est de 3 cm par heure. L'avantage des tunnels de congélation réside dans leur souplesse d'utilisation. Ils sont recommandés lorsqu'on est amené à congeler plusieurs types de produits, de forme et de taille différente. Les inconvénients tiennent à l'air, employé comme fluide frigorigène, qui est très coûteux et qui a tendance à dessécher le produit en surface, entraînant une perte de qualité et de rendement.

Les appareils de congélation fonctionnent en continu :

- **tunnels à cartons** : les produits sont placés dans des cartons d'emballage ouverts qui cheminent en continu ;
- **tunnels à bande transporteuse** : un tapis transporteur assure le cheminement du produit ; les plus classiques sont des appareils linéaires qui présentent l'inconvénient d'être encombrants au sol ;
- **appareils à spirales** : qui utilisent un tapis qui effectue un parcours hélicoïdal ascendant à l'intérieur de la chambre calorifugée ; la bande est auto-empilable ; ce système est particulièrement efficace : la circulation d'air est dirigée du haut vers le bas à contre-courant de l'avance des produits ; le système est très compact, il peut être pourvu d'un système de nettoyage et de désinfection automatique.

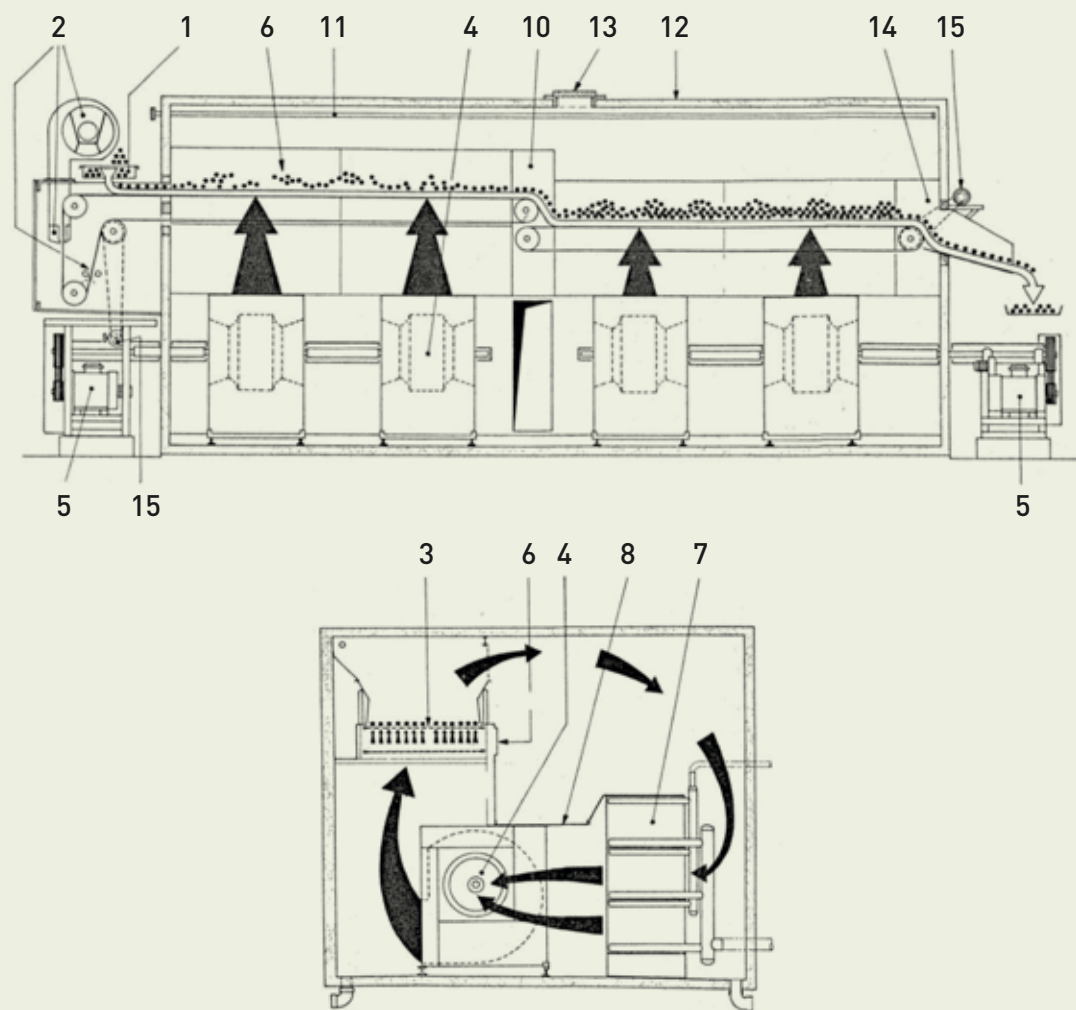


Congélateur à spirales (document Samifi-Babcock) Mafart

- **Tunnels à lit fluidisé (avec un air en mouvement)**

Ce type de congélateur est équipé d'une bande transporteuse perforée. Lorsque le produit à congeler est constitué de particules assez petites, il est disposé en couche d'environ 15 cm d'épaisseur. L'air froid traverse cette couche de bas en haut à une vitesse telle que le produit est soulevé et agité, c'est-à-dire fluidisé. Des petits pois, des haricots verts coupés, des frites, des fraises, des crevettes... peuvent ainsi être congelés en 6 à 15 minutes dans de l'air à -35 °C sans risque de voir les morceaux se coller les uns aux autres.

En raison de la grande vitesse de congélation, la déshydratation est faible. Chaque particule est en contact avec l'air par toute sa surface, c'est pourquoi ce système a été appelé *Individual Quick Freezing (IQF)*, c'est-à-dire congélation rapide individuelle.



1. Distributeur en acier inox, avec fréquence de vibration réglable en fonction du produit
2. Dispositif automatique de lavage-séchage du tapis
3. Tapis en acier inox à mailles spéciales
4. Ventilateurs centrifuges à débit variable
5. Moteurs d'entraînement des ventilateurs
6. Portillon de contrôle et d'inspection des tapis
7. Batteries d'évaporateurs en tubes d'acier à ailette planes, à pas dégressif, galvanisées à chaud
8. Passerelle d'inspection
9. Produit en cours de surgélation
10. Station de transfert entre les deux zones
11. Rampe de dégivrage à la vapeur
12. Cabine isolante
13. Portillon de contrôle du processus de surgélation. Emplacement au choix du client
14. Station de déchargement avec goulotte en acier inox
15. Moto-réducteur pour l'avancement des tapis avec variation de la vitesse réglable en fonction du produit.

Congélateur à lit fluidisé (document Samifi-Babcock)

8.4.4.2. Procédés de congélation utilisant le contact

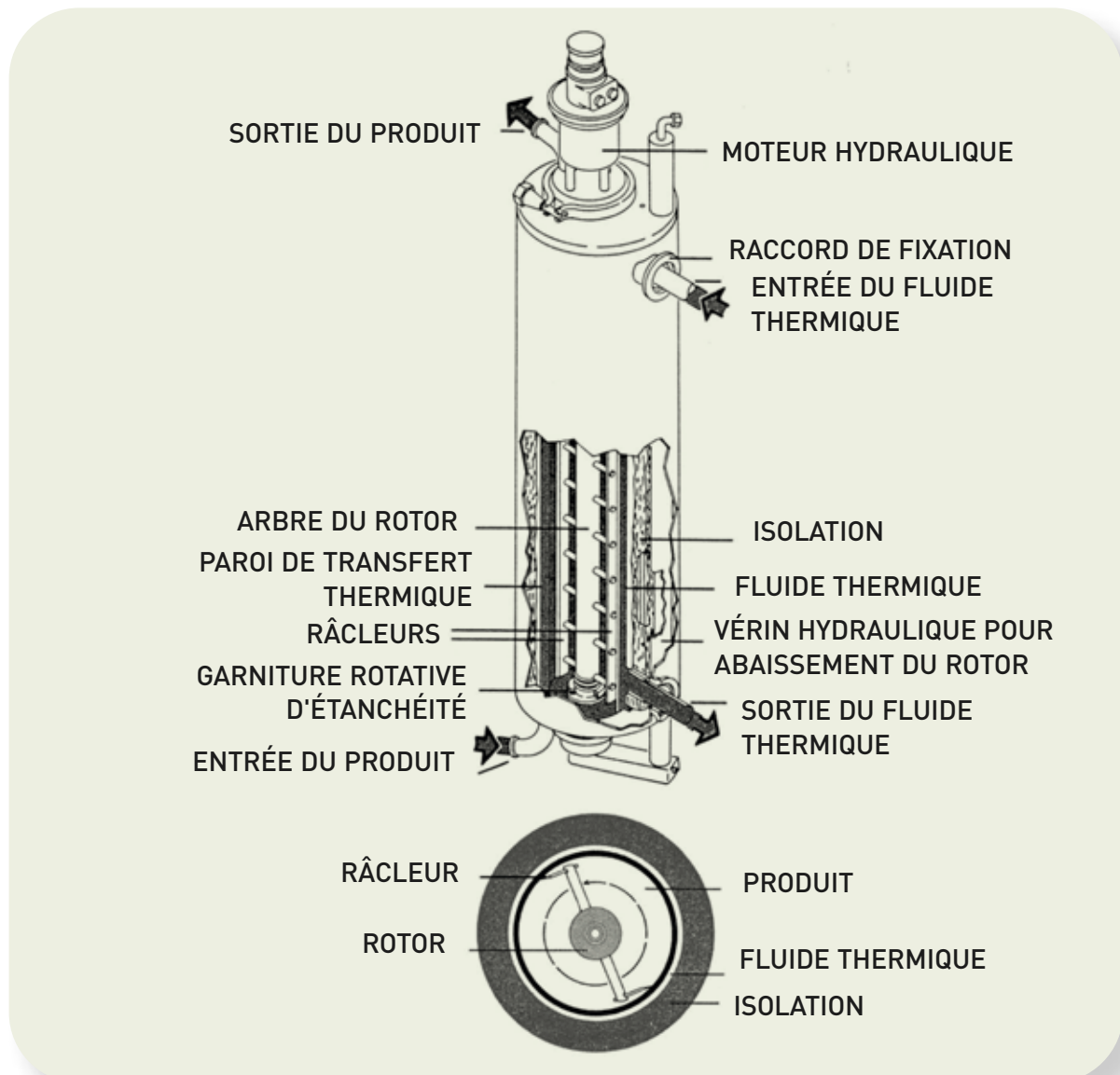
Le principe de fonctionnement est basé sur le contact entre le produit et une surface suffisamment refroidie grâce à un liquide réfrigérant.

- **Congélateurs par contact indirect : congélateur à plaques**

Le produit emballé ou non est congelé par contact avec une surface métallique maintenue froide par circulation d'un fluide réfrigérant (saumure, ammoniac, fréons...). L'avantage de cette technique est qu'il y a très peu de déshydratation du produit.

- **Congélateur tubulaire**

Il s'agit d'un échangeur de chaleur tubulaire dont la surface interne est constamment raclée et refroidie par un fluide réfrigérant. Le produit n'est congelé que jusqu'à l'obtention d'une consistance pâteuse, de façon à pouvoir être pompé et conditionné, après quoi un refroidissement supplémentaire en complète le durcissement.



Vue éclatée et coupe transversale d'un échangeur de chaleur à surface raclée (document Alfa-Laval)

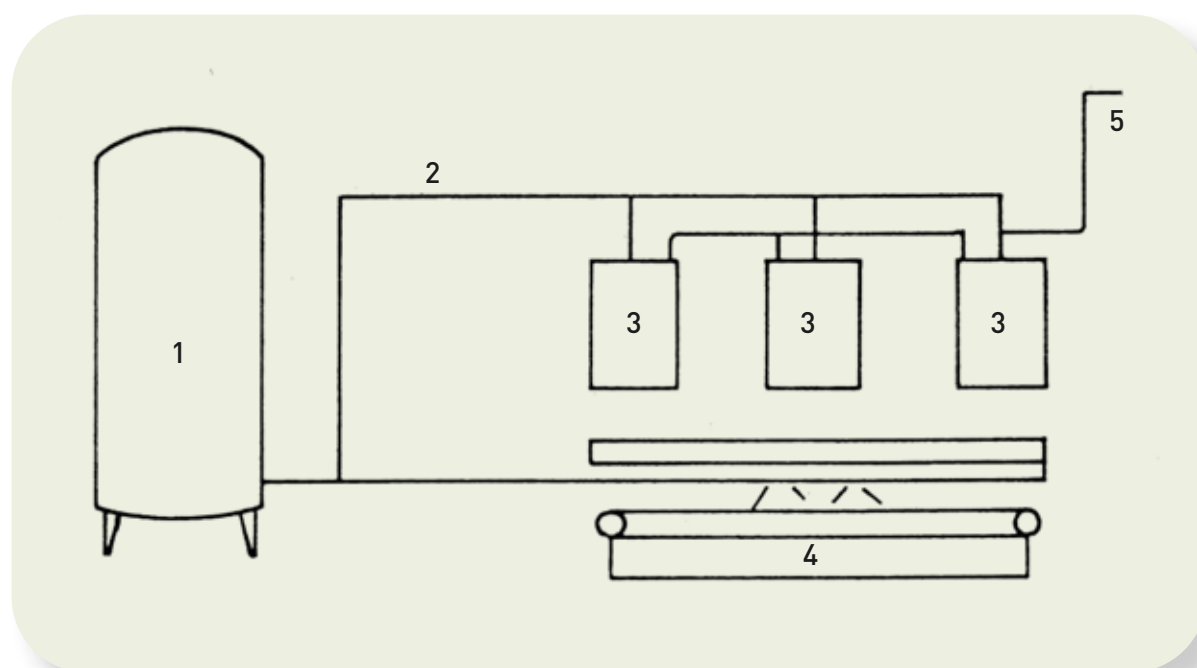
8.4.4.3. Procédés de congélation par cryogénie

La congélation cryogénique (ou directe) consiste à **mettre le produit directement en contact avec une source de froid, par aspersion d'un liquide**, comme l'azote liquide ou le CO₂ liquide, qui s'évaporent au contact du produit. Le refroidissement est intense grâce aux coefficients de transfert de chaleur importants et à la possibilité d'utiliser des températures très basses : - 196 °C pour l'azote liquide. Dans ce cas, l'apport frigorifique est apporté par la chaleur latente d'évaporation du liquide en contact avec le produit (l'azote liquide s'évapore à - 196 °C et le CO₂ liquide s'évapore à - 54 °C). En raison du contact avec l'aliment, le fluide doit présenter diverses propriétés : absence de toxicité, absence d'odeur et de saveur, faible pénétration dans l'aliment, absence de réactivité avec ce dernier, faible viscosité, capacité thermique élevée, faible corrosivité vis à vis des appareils.

Ce système de congélation a l'avantage d'être rapide, réduit les pertes de poids et ne nécessite pas une installation frigorifique proprement dite. Toutefois, il est assez coûteux et ne peut être donc utilisé que pour les produits alimentaires à haute valeur marchande. Cette technique permet aussi d'obtenir des produits surgelés de manière individuelle (sans se coller) ou procédé « IQF » (*Individually Quick Frozen*, c'est-à-dire congélation rapide individuelle).

Les surgélateurs sont constitués d'un tunnel où le gaz est vaporisé par des buses d'aspersion munies d'électrovannes, commandées par un thermostat. Un ventilateur permet d'homogénéiser la distribution du fluide.

En raison du coût élevé de fonctionnement (consommation élevée de gaz, 1 à 1,5 kg de CO₂ ou 1 à 1,5 l d'azote par kg de produit congelé), ce procédé est surtout utilisé pour des produits en cours de mise au point ou pour des produits fragiles à valeur ajoutée importante.



Principe de fonctionnement d'un surgélateur par cryogénie :
 1. Stockage azote liquide ; 2. Température d'alimentation ; 3. Armoires de surgélation ;
 4. Tunnel de surgélation ; 5. Tuyauterie d'évacuation



Chapitre 9

Conditionnement et marquage des produits

9.1. Le conditionnement	260
9.2. Installations de conditionnement	263
9.3. Opérations de conditionnement	269
9.4. Les emballages	279
9.5. Les matériaux d'emballage	290
9.6. Palettisation des emballages	305
9.7. Le marquage des produits	308

9.1. LE CONDITIONNEMENT

9.1.1. Définition et cadre réglementaire

Le conditionnement des produits alimentaires, frais ou transformés, comprend plusieurs éléments.

1. **Un ensemble d'opérations unitaires** qui sont réalisées en post-production ou après transformation, manuellement ou sur une chaîne (semi-)automatisée de conditionnement en fonction des volumes, pour faciliter leur stockage, leur transport, leur distribution et leur mise en vente sur le marché (ex. : mise en rayons dans les supermarchés).

Toutes ces opérations, de la plus simple à la plus sophistiquée, peuvent être selon les cas et la taille de l'entreprise, réalisées sur l'exploitation agricole (déjà sur le lieu de récolte), dans des stations fruitières et légumières, en atelier, en usine, au sein de coopératives ou dans des centrales d'achats.

2. **Les emballages** qui sont les moyens de contenir et protéger les produits alimentaires de la contamination ou des pertes et dommages causés, par exemple, par les chocs, la compression, les nuisibles ou simplement par les conditions du milieu (température, humidité relative de l'air ou même odeurs présentes dans l'air).

Les matériaux d'emballage doivent **assurer une protection efficace** des produits afin de réduire au minimum la détérioration, la contamination, empêcher les dégâts et **permettre un étiquetage adéquat**. Les matériaux d'emballage et, le cas échéant, les gaz utilisés dans le conditionnement, ne doivent ni être toxiques ni représenter une menace pour la sécurité (ex. : éviter la migration de substances chimiques dans le produit emballé) et la salubrité des aliments (ex. : garantir l'hygiène) dans les conditions d'entreposage et d'utilisation stipulées.

Les emballages peuvent être à usage unique (recyclables ou non) ou réutilisables, mais ils devront alors être suffisamment durables, faciles à nettoyer et, au besoin, à désinfecter.

3. **Le marquage des produits**, qui comprend «l'étiquetage», permet d'identifier un produit et de donner des informations au consommateur. Il constitue donc la «carte d'identité» d'un produit.

Le marquage comporte deux parties (un marquage informatif et un marquage nutritionnel) et **comporte un certain nombre de mentions obligatoires** répondant à des normes de commercialisation, qui précisent notamment les exigences réglementaires de marquage. Les normes de commercialisation applicables dépendent du produit végétal (de l'espèce). La majorité des fruits et légumes sont soit soumis à la **norme générale**, soit à **une norme spécifique**, soit à une **norme particulière** (ex. : la pomme de terre). Il existe différentes normes : normes CEE-ONU et norme *Codex* de l'espèce considérée ; en l'absence de normes, des dispositions particulières s'appliqueront, notamment le respect de décrets ou d'arrêtés ministériels.

L'étiquette, qui est apposée sur l'emballage, permet la « traçabilité » des produits (grâce au numéro de lot notamment, au code à barres, etc.) et elle reprend de nombreuses informations, dont certaines sont obligatoires. Mais les informations apposées sur les denrées alimentaires ne peuvent pas induire le consommateur en erreur. Elles doivent être précises, claires et aisément compréhensibles.

C'est pourquoi l'étiquetage fait généralement **l'objet d'un contrôle officiel** par les autorités compétentes.

Le conditionnement, l'emballage et le marquage, des fruits et légumes frais ou transformés, sont **des aspects étroitement liés**. En effet, le choix d'un procédé de conditionnement implique le choix d'un emballage alimentaire adéquat et vice-versa, et ce, afin d'assurer la compatibilité contenant/contenu et la bonne conservation des fruits et légumes emballés. L'emballage/conditionnement demeure un maillon essentiel de la chaîne de production qui relie le produit brut au consommateur final.

Les réglementations – internationale et nationale – encadrent le conditionnement, imposant des règles, des normes et des directives⁵⁵ qui ne répondent pas seulement aux exigences en matière d'hygiène et de sécurité des aliments. Citons à titre d'exemples :

- la norme générale pour l'étiquetage des denrées alimentaires préemballées (Codex STAN 1-1985) ;
- les directives concernant la production, la transformation, l'étiquetage et la commercialisation des aliments issus de l'agriculture biologique (CXG 32-1999) ;
- les directives concernant l'étiquetage nutritionnel (CXG 2-1985).

Il est aussi conseillé de se référer également au document du *Codex Alimentarius*, *Étiquetage des denrées alimentaires* (5^e éd., 2007) et, pour les produits expédiés vers l'Union européenne, au règlement (UE) n°1169/2011 concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires.

Nous allons donc passer maintenant en revue successivement chacun de ces trois aspects : le processus de conditionnement, les divers emballages, et leurs propriétés et intérêts respectifs, pour des produits frais ou des produits transformés ; enfin, nous aborderons plus en détail le marquage et l'étiquetage des produits alimentaires⁵⁶.

55 Consulter : www.fao.org/3/a-a1389f.pdf, et <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/fr/>

56 Voir aussi le manuel du COLEACP consacré à la traçabilité des produits.

9.1.2. Fonctions du conditionnement

Selon la FAO, le conditionnement remplit des fonctions essentielles : des fonctions techniques (logistique et protection) et des fonctions commerciales (information et marketing). On peut aussi distinguer les fonctions suivantes.

9.1.2.1. Des fonctions traditionnelles

- Fonction logistique : elle sert à contenir, transporter et vendre. L'emballage doit faciliter les opérations de manutention, de stockage, de transport et de distribution des marchandises.
- Fonction de protection : l'emballage doit protéger le produit qu'il contient, le consommateur/utilisateur qui va le recevoir, et l'environnement dans lequel le produit sera utilisé. Exemples : bouteilles, boîtes de conserve...
- Fonction d'information : l'emballage doit fournir une réponse à toutes les questions envisageables **sur l'origine, la composition, la manutention, le transport et l'utilisation du produit**. C'est pourquoi **différents types de marquages** sont retrouvés sur les emballages : le marquage commercial, le marquage de sécurité, le mode d'emploi et les mentions légales obligatoires.
- Fonction marketing : l'emballage, unique lien entre le consommateur/utilisateur et le fabricant, doit attirer le client, l'inviter à s'intéresser au produit. La fonction «vente» (marketing) sous-entend cinq fonctions : alerte, attribution, service, information et positionnement.

9.1.2.2. Des fonctions modernes

- Une fonction régulatrice, par la liberté de choix qu'il doit offrir au consommateur, les devoirs du producteur et du distributeur qu'il entraîne en fonction des multiples situations de consommation et de libre circulation des produits.
- Une fonction économique et écologique concernant sa deuxième vie après usage : réutilisation et remplissage, revalorisation par recyclage des matières et la valorisation thermique. Cette dernière fonction est la priorité choisie par les pays industrialisés.

9.1.3. Problématiques liées au conditionnement

Pour être complets, rappelons que le développement de l'emballage pose aussi des problèmes environnementaux, renvoyant à l'analyse du cycle de vie (ACV) des produits comme :

- le recyclage (métal, plastique, papiers, cartons),
- la réutilisation des emballages (parfois à risque quand les emballages alimentaires sont utilisés comme contenants pour des pesticides avec un risque évident d'accident par confusion),
- les aspects de biodégradabilité des emballages,
- les aspects liés à l'éducation et à la vulgarisation du recyclage, par exemple.

9.2. INSTALLATIONS DE CONDITIONNEMENT

Pour être réalisées dans de bonnes conditions (hygiène et sécurité), ces opérations nécessitent de disposer d'installations adaptées au volume de produit à conditionner. La taille, mais aussi la conception de l'atelier d'emballage ainsi que le matériel et les installations dont il disposera dépendront de la nature et du volume du produit, des exigences du marché, des infrastructures locales, de sa durée d'existence prévue et de son coût estimatif.

9.2.1. Installations de conditionnement pour des entreprises artisanales (de petites ou très petites tailles)

Tant que l'entreprise reste à un niveau de production artisanale, avec un volume limité adressé au marché local, des locaux simples, mais propres suffisent. Le point crucial dans ce genre d'installations rudimentaires (qui tiennent plus de la cuisine que de l'atelier) est la maîtrise de l'hygiène, souvent aléatoire, faute d'information, de ressources et de discipline du personnel. **Il est très compliqué d'éviter les pertes et d'assurer une hygiène de base dans des locaux exigus, mal conçus, mal éclairés, dont le sol et les murs ne sont pas aisés à nettoyer.**



Deux exemples d'installations rudimentaires observées dans de très petites entreprises (Photos B. Schiffers)



Quand l'entreprise manque de place, il n'est pas rare de voir alors les activités s'étendre en extérieur, avec tous les risques que cela comporte pour les produits (Photo B. Schiffers).

Pour ce genre d'entreprises, les matériaux de construction et le type de bâtiment dépendront des produits à manipuler, des volumes prévus, du marché à desservir et des moyens financiers. **Les opérations de faible envergure peuvent s'accommoder de bâtiments relativement simples et peu coûteux.** Quelques conditions seront toutefois à réunir :

- une bonne protection contre le soleil et la pluie sera assurée par une vaste toiture débordant d'au moins un mètre de tous côtés ;
- une bonne ventilation, mais aussi la protection contre les rafales de pluie et la poussière seront normalement assurées par des parois ménageant pour l'aération un espace suffisant sous la toiture ;
- un sol plan, en dur, permettra aux personnes et aux produits de se mouvoir facilement et en toute sécurité.

Cependant, il est inutile également de surdimensionner les installations de conditionnement, spécialement si le produit est peu sensible aux contaminations et peu périssable (ex. : produits à base d'alcool ; produits très salés ou très sucrés ; produits secs). Une structure en bois avec toiture et parois en tôle ondulée peut suffire (attention à bien ventiler à cause de la chaleur sous le toit !).

9.2.2. Installations de conditionnement pour des entreprises de grande taille

Pour les installations de grande taille, le choix d'un site est également important. Selon la FAO, le site doit au moins répondre aux critères suivants :

- le site doit être en terrain plat et, si possible, abrité des vents violents ;
- s'il doit s'agir d'un établissement d'emballage permanent, les agrandissements nécessaires devront être possibles ;
- il convient de prévoir une aire suffisante pour les mouvements et le stationnement des véhicules attendus sur le site en période de pointe ; les chaussées d'accès doivent avoir au moins 3,5 m de large ;
- le système d'égouts doit être suffisant pour assurer l'évacuation des eaux pluviales et de l'eau destinée aux opérations d'emballage ;
- le site doit se prêter aux mesures de sécurité : clôture, gardiennage, etc.

Avant de choisir une implantation, il convient de vérifier la qualité de l'eau qui servira à laver les produits, surtout si elle est puisée dans des rivières ou des plans d'eau, afin de s'assurer qu'elle n'est pas polluée par les égouts, les effluents industriels, les pesticides, les herbicides ou les engrais.

Quand l'entreprise grandit, l'atelier de conditionnement doit impérativement être réfléchi et bien organisé en différentes « zones » de travail. Voici quelques exemples.

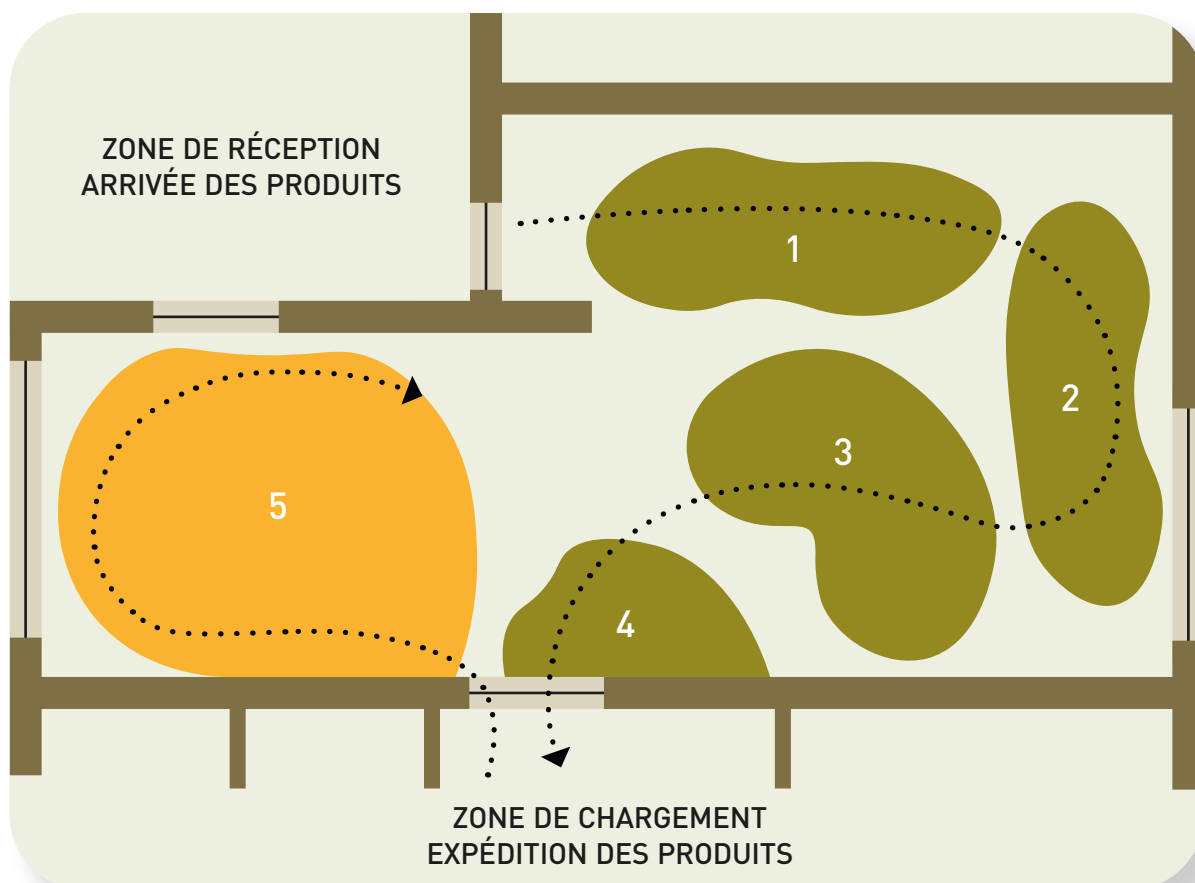
- **Une zone de réception** organisée de telle sorte que les produits subissent les diverses opérations d'emballage dans l'ordre des arrivages : le premier entré doit être le premier sorti. Cette zone assure la réception, le triage et le nettoyage des produits, y compris le lavage, le cas échéant. Il faut s'attendre à ce qu'elle soit souillée de terre, de poussière et de débris végétaux en décomposition. Pour bien faire, elle devrait être séparée (par des portes, par exemple) des autres activités, de manière à limiter la contamination des produits nettoyés, triés et emballés.
- **Une zone d'entreposage des emballages vides** (cartons) pour les garder au sec et à l'abri des poussières, des fientes d'oiseaux, des nuisibles en général.



Exemple de zone de stockage des cartons (Photo B. Schiffers)

- **Une zone d'emballage et de marquage.** Elle comprendra les installations destinées aux traitements spéciaux, y compris les installations de séchage des produits lavés et/ou traités, ou des deux. La principale activité sera l'emballage des produits nettoyés, avec installations de tri et de calibrage, si nécessaire.
- **Une zone de vérification** avant stockage et expédition.
- **Une zone de stockage des produits emballés.** Les produits emballés seront protégés du soleil et de la pluie, de la chaleur et de l'eau qui peuvent détériorer rapidement les produits et endommager sérieusement les cartons d'emballage et décoller les étiquettes.
- **Une zone de chargement des produits.** Cette zone doit être implantée à proximité des opérations d'emballage, mais doit être strictement exempte de tout équipement fixe. La zone doit être suffisamment spacieuse pour permettre l'entreposage temporaire des produits emballés, sans que les mouvements des employés et des produits manutentionnés soient aucunement gênés. La zone d'expédition doit être propre et bien aérée. C'est là que pourrait être situé, le cas échéant, le local à usage de bureau ou de contrôle de la qualité.

La distribution des locaux doit être pensée avec le souci de respecter le principe dit «de la marche en avant». La zone de réception sera donc d'un côté et la zone d'expédition sera du côté opposé. Ainsi, le produit traverse les installations (en général disposées sur un seul niveau par commodité), en passant des zones sales aux zones de plus en plus propres.



1. Nettoyage/lavage - 2. Production/transformation - 3. Emballage/marquage
4. Vérification/stockage - 5. Emballages vides et propres/étiquettes; bureaux

Les ateliers d'emballage permanents doivent comporter des sols en béton antidérapants, dotés de rigoles d'évacuation pour faciliter le nettoyage. Il serait avantageux de prévoir un traitement superficiel anti-poussière du béton.



Exemple d'un vaste atelier de conditionnement, avec chambres frigorifiques, au Sénégal
(Photos B. Schiffers)

9.3. OPÉRATIONS DE CONDITIONNEMENT

9.3.1. Rappel des principales opérations de conditionnement

Dans un des chapitres précédents, nous avons déjà présenté la plupart des opérations qui suivent la récolte. Elles ont également été reprises dans les schémas des processus de production des divers produits transformés (jus, confitures, marmelades, purées, etc.). En gros, la plupart de ces opérations poursuivent les mêmes objectifs, suivent la même logique et sont donc pratiquement toujours les mêmes :

- réception des lots de matières premières : déchargement, vérifications, enregistrement ;
- tri des produits à la réception (pour éliminer les éléments invendables et les corps étrangers comme : débris végétaux, terre ou pierre) et évacuation des déchets ;
- nettoyage ou parfois lavage (en principe, seulement en cas d'absolue nécessité), suivi d'un égouttage ;
- immersion dans un bain ou pulvérisation avec un antifongique (surtout en cas de stockage prolongé, d'expédition lointaine) ; application de cire pour limiter la déperdition d'eau ou d'une autre substance si nécessaire ;
- sélection et calibrage des produits (trilage selon la qualité et la grosseur) ;
- emballage et marquage des produits ;
- vérification après emballage (vérification du volume ou poids ; échantillonnage ; certification éventuelle, après traitement phytosanitaire le cas échéant) ;
- parfois, traitements spéciaux (déverdisage, déclenchement du mûrissement au moyen de l'éthylène) ;
- stockage et refroidissement ;
- groupage et préparation pour l'expédition.

9.3.2. Conditionnement de très petites quantités

Dans les petits établissements, quand le produit n'est pas commercialisé en vrac, le conditionnement consiste à **remplir à la main les emballages** dans lesquels se fera la commercialisation. Beaucoup de produits étant encore achetés et vendus au poids, la plupart des ateliers d'emballage devront disposer de moyens de pesage. Il existe de nombreux types de balances (balances à fléaux, trébuchets électroniques).



Voici les étapes d'emballage et stockage de produits à petite échelle selon AGRODOK (CTA).

- Emballez les légumes et les fruits secs dans des sachets noirs en plastique, hermétiques et étanches.
- Scellez les sacs à la flamme d'une bougie. Vous pouvez également employer une machine à sceller (thermoscelleuse).
- Indiquez sur les sacs la date de fabrication et celle de péremption du produit (après six mois).
- Placez les sachets dans un carton pour éviter l'altération par la lumière.
- Stockez les cartons dans un endroit sec et frais.

9.3.3. Opérations de conditionnement des fruits et légumes frais

De façon générale, les opérations de conditionnement pour ce type de produit commercialisé frais sont les suivantes.

- **Déchargement des chariots de récolte :** des modules standard permettent l'enlèvement automatique des piles de caisses pleines à partir des chariots de récolte et leur distribution à l'unité vers des postes de mise à poids, de calibrage automatique ou de la palettisation.



- **Poste de tri et de mise au poids :** lignes de tri, de conditionnement, de mise au poids des caisses de produits. Ergonomie et fonctionnalité sont les critères retenus pour l'étude de ces postes. Ils sont personnalisés en fonction des produits travaillés et des cadences souhaitées.



- **Alimentation des calibreuses automatiques :** déversement cadencé et souple permettant le respect du produit et l'alimentation en continu des calibreuses rotatives ou en ligne. Gestion des caisses vides pour l'alimentation des postes de mise en emballage.



- **Contrôle et tri des emballages (caisse en cartons, bois, plastique) en fonction des produits, calibres et couleurs :** l'usage de capteurs permet de faire la reconnaissance des différents calibres et des couleurs des produits. Ce système de contrôle permet le tri des produits pour faciliter la palettisation ou le stockage.



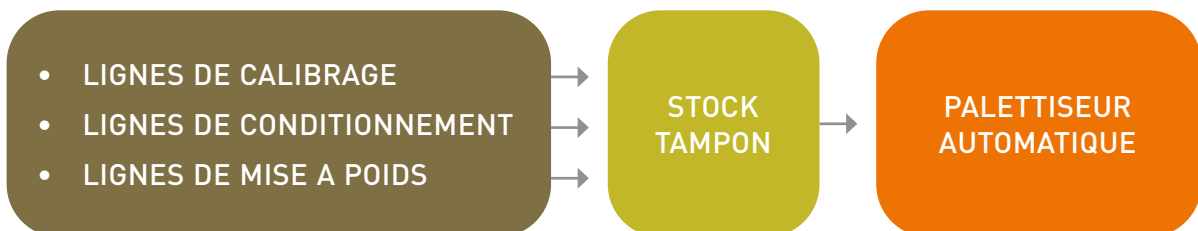
- **Stockage avant palettisation :** des systèmes de stockage en vertical ou en ligne permettent d'optimiser l'utilisation d'un seul palettiseur automatique à partir d'un flux de caisses contenant plusieurs références de produits.



- **Automatisme/supervision** : les systèmes de supervision par écran tactile, associés à l'automatisme, permettent le contrôle et le paramétrage des installations ; le diagnostic des défauts et une mini-gestion de production d'atelier se font selon le schéma global de conditionnement.



SCHÉMA DE CONDITIONNEMENT AUTOMATISÉ



- Lieux de conditionnement des fruits et légumes frais
 - **Conditionnement au champ**: les produits sont placés dans des caisses en carton, en matière plastique ou en bois au moment de la récolte. Certains produits sont emballés séparément. Si possible, les caisses ou cartons ainsi remplis sont acheminés vers une installation de pré-refroidissement pour éliminer la chaleur de la récolte.



Conditionnement sur place, juste après la récolte : le tri
(Photo B. Schiffers)



Conditionnement au champ, sous abri (Photo B. Schiffers)

- **Conditionnement en station** : les produits sont transformés ou emballés dans un local fermé ou sous abri dans un point central. Les produits sont acheminés des champs vers la station d'emballage en vrac dans des caisses à claire-voie, des bacs ou des camions. Si possible, les produits, selon leur nature, devraient être pré-refroidis soit avant, soit après leur emballage pour l'expédition.



Conditionnement en station

- **Reconditionnement** : les produits sont retirés d'un premier emballage, recalibrés et placés dans un deuxième emballage. Il s'agit souvent d'un conditionnement en emballages plus petits destinés au commerce de détail ou aux consommateurs.
- **Traitements spéciaux après conditionnement**
Des traitements spéciaux après conditionnement et emballage sont appliqués à certains produits, surtout dans les grands établissements qui travaillent pour les marchés urbains et l'exportation. Voici les trois principaux traitements.
 - Le traitement phytosanitaire (ex. : fumigation ; pulvérisation) est destiné à lutter contre les insectes nuisibles réglementés, tels que la mouche des fruits. Il est obligatoire pour l'importation des produits dans de nombreux pays, et suppose un équipement spécial et un personnel entraîné. À noter que les palettes et emballages en bois doivent aussi être exempts d'organismes nuisibles. Ils peuvent devoir être traités par la chaleur avant emploi.
 - Le déclenchement du mûrissement des fruits : il prend plusieurs jours et suppose le traitement des fruits emballés au gaz éthylène dans des entrepôts isolés à atmosphère contrôlée. Le coût de l'opération est élevé et elle ne peut donc concerner que les grands établissements.

- Le déverdissement des agrumes : il permet de donner aux agrumes leur couleur naturelle. Les agrumes cultivés dans les régions tropicales restent verts lorsqu'ils sont mûrs, sauf s'ils sont soumis à des températures nocturnes basses. En revanche, ils prendront leur couleur naturelle normale s'ils sont artificiellement déverdis au moyen d'un traitement à l'éthylène semblable à celui qui sert à déclencher le mûrissement. Ce traitement est rarement pratiqué dans les petits établissements.

- **Entreposage des produits frais conditionnés avant expédition**

Le temps joue un rôle important dans la commercialisation des produits frais. Les retards augmentent les pertes. Une fois emballés, les produits doivent être expédiés sur le marché dans les meilleurs délais. En conséquence, la direction doit accorder un rang de priorité élevé aux dispositions relatives au transport.

Dans les petits établissements, toutefois, il faut parfois du temps avant de pouvoir réaliser un chargement complet ; aussi, lorsqu'un certain temps est nécessaire pour accumuler suffisamment de produits emballés, tout doit être fait pour empêcher qu'ils ne se détériorent.

On veillera notamment aux points suivants.

- Les récipients emballés seront protégés du soleil et de la pluie ; la chaleur et l'eau peuvent détériorer rapidement les produits et endommager sérieusement les cartons d'emballage.
- Les caisses emballées doivent être maniées avec précaution lorsqu'elles sont empilées pour éviter d'endommager le contenu ; un contenu endommagé est sujet à la déperdition d'eau et à la décomposition.
- Les récipients emballés en attente de transport doivent être empilés de manière à être suffisamment ventilés ; un produit surchauffé se détériore rapidement.

On pourra réduire au minimum les pertes de produits frais au cours des opérations d'emballage si le produit est :

- maintenu au frais autant que possible,
- tenu au sec,
- protégé des chocs,
- rapidement acheminé sur les marchés.

9.3.4. Opérations de conditionnement des produits transformés

En ce qui concerne les fruits et légumes transformés, il n'existe pas un schéma unique de référence. En effet, **le conditionnement est adapté en fonction de la nature du produit final et de l'emballage qui est utilisé** (conserves, bocaux, bouteilles, sachets...). Aussi, nous décrivons de préférence les opérations de conditionnement en présentant les différentes techniques de transformation des fruits et des légumes.

Pour chaque type de produit (ex. : solide, semi-liquide, liquide, pâteux, poudreux...), le conditionnement utilisera une **technologie adaptée pour garantir les caractéristiques nutritionnelles, organoleptiques et l'état sanitaire** des fruits et légumes transformés, depuis leur fabrication jusqu'à leur utilisation finale par le consommateur.

Les premières opérations, de la réception au lavage, **sont en général identiques** à celles des produits vendus frais. Toutefois, aucun traitement antifongique ne sera bien entendu réalisé avant la transformation. Viennent ensuite les opérations de transformation, variées selon le produit fabriqué, et enfin le produit est prêt pour le conditionnement.

Le conditionnement après transformation, qu'il soit artisanal ou industriel, consiste le plus souvent à remplir des «contenants» divers (ex. : boîtes de conserve, bouteilles ou bocaux) avec le produit refroidi ou non (ex. : s'il a été chauffé pour la pasteurisation), éventuellement à l'additionner de liquide (ex. : saumure, vinaigre, alcool, sirop).



Ainsi, conditionner un **liquide alimentaire** consiste à **prélever une certaine quantité de ce liquide et à la loger dans une «enceinte» qui sera hermétiquement close après remplissage**. Cette enceinte peut être :

- des bouteilles à col étroit ;
- des flacons à col large ;
- des bocaux et des boîtes boisson métalliques ;
- des briques en matériaux composites (Tetra Brik ®).



Le soutirage met en œuvre deux modes de remplissage : le remplissage à niveau, qui implique un contact étroit entre le récipient et l'organe de remplissage, et le remplissage à jet libre, limité dans ses applications aux liquides plats. Quant au bouchage des bouteilles, il met en œuvre différents procédés qui exigent un profil spécifique de bagues des récipients. Le sertissage des boîtes est une opération délicate qui implique souvent une conception de la soutireuse différente de celle utilisée pour les bouteilles.

Les risques relevant des opérations de remplissage **viennent surtout** des facteurs suivants.

- **La manipulation du verre.** Ils varient selon que les bouteilles destinées au lavage sont neuves ou recyclées. Ils dépendent aussi des produits utilisés (eau et détergents) et des techniques mises en œuvre (lavage à la main ou mécanique, voire une combinaison des deux). Ils sont déterminés par la forme de la bouteille, la méthode de remplissage (manuelle ou sophistiquée, avec addition de dioxyde de carbone), le procédé de bouchage, la complexité du système d'empilement ou d'emballage dans des cartons ou des caisses après l'étiquetage, et enfin par les dernières opérations effectuées.
- **L'hygiène des contenants.** Ils doivent être propres et si possible stérilisés avant usage. Ainsi, le lavage des bouteilles ou des bords met en œuvre des machines importantes dans lesquelles les récipients subissent des trempages et des injections successives de solutions détergentes et d'eau. Pour le rinçage, des solutions antiseptiques sont injectées en plus de l'eau et suivies d'un égouttage.

9.4. LES EMBALLAGES

9.4.1. Généralités sur l'emballage

La mise au point et le développement de produits et de techniques d'emballage susceptibles de réduire les pertes alimentaires sont des enjeux mondiaux majeurs, car ces pertes concernent tout à la fois les petits producteurs vivriers pauvres et les consommateurs en situation d'insécurité alimentaire. À l'échelle mondiale, l'emballage est le troisième secteur, devancé uniquement par les secteurs de l'alimentation et de la pétrochimie. Au niveau national, il compte également parmi les cinq premiers secteurs dans presque tous les pays, avec un taux annuel de croissance compris entre 3 et 5% (supérieur à celui de la quasi-totalité des PIB nationaux).

Les innovations et les réponses apportées aujourd'hui à l'évolution des préférences et des demandes des consommateurs ont ajouté à la fonction de simple protection des fonctions de promotion, d'information, de commodité, d'éducation et de manipulation.

L'emballage devient le cinquième pilier de la commercialisation (avec le produit, le prix, la distribution et la promotion), en particulier parce qu'il facilite la stratégie d'image ainsi que la différenciation et l'identification des produits, opérations plus faciles à réaliser sur le lieu d'achat.

Dans la plupart des pays en développement, on utilise des paniers, sacs ou plateaux traditionnels pour transporter les produits jusqu'au marché. Ces récipients sont généralement peu coûteux, fabriqués au moyen de matériaux faciles à trouver tels qu'herbes sèches, feuilles de palmier ou bambou. S'ils se prêtent bien au transport de produits frais sur de courtes distances, **ils présentent de nombreux inconvénients** dans le cas des grands chargements expédiés très loin.

Les produits en grandes quantités destinés au commerce de gros doivent être mieux emballés **pour limiter les pertes et rentabiliser les moyens de transport**. Il s'agit d'empêcher que les produits ne s'abîment en cours de manutention, de transport et de stockage, et de fournir des récipients de capacité uniforme, faciles à manipuler et à compter.

Le recours à des emballages normalisés permet d'éviter d'avoir à répéter les pesées et peut faciliter la manutention, le gerbage et le chargement. Beaucoup d'emballages sont fabriqués à partir de papier et de dérivés du papier (carton compressé et carton ondulé), de bois et de dérivés du bois (bois scié et particules), ainsi que de matières plastiques, souples ou rigides. Chaque type d'emballage doit être mûrement considéré du point de vue de son utilité, de son coût et de la valorisation du produit.

9.4.2. Emballage et pertes de produits alimentaires dans les chaînes de valeur

L'emballage est présent tout au long de la chaîne de valeur et relève de la responsabilité commune de l'ensemble des partenaires commerciaux. Dans les pays en développement, les pertes les plus importantes se produisent avant et juste après la récolte, ce qui souligne la nécessité d'axer les efforts sur les solutions d'emballage et les infrastructures reliant les exploitations aux marchés, indispensables à ces

stades de la chaîne de valeur. Cette situation contraste fortement avec celle des pays industrialisés, où les plus grandes pertes sont enregistrées aux stades de la vente au détail et de la consommation.

En règle générale, les produits constituent des ressources plus précieuses que les emballages utilisés pour les protéger, et ont une valeur intrinsèque supérieure à celle de ces derniers. Les pertes de produits dues à des emballages insuffisamment efficaces pourraient donc avoir sur l'environnement des effets néfastes supérieurs aux gains obtenus par la réduction des emballages eux-mêmes.

Connaître la nature des pertes, le niveau et le moment où elles se produisent ainsi que la manière dont elles surviennent peut aider à définir précisément les solutions (emballages, notamment) qui permettront de les diminuer. Pour s'attaquer aux pertes de produits alimentaires, il est également essentiel de savoir quelles sont les solutions d'emballage existantes ou qui devraient être utilisables à terme.

Il est indéniable qu'aujourd'hui, la distribution de tout produit, particulièrement les produits consommables, ne peut se faire sans emballage. Les matériaux d'emballage et les technologies d'application sont en pleine expansion dans les pays avancés, alors que les pays en développement restent en marge de ce progrès (4^e gamme : conservation en atmosphère contrôlée).

L'emballage présente l'une des caractéristiques qualitatives principalement dans la conservation et la distribution. Quand on parle d'emballage, on sous-entend le conditionnement (sans conditionnement, pas d'emballage). L'emballage et le conditionnement doivent être considérés comme une opération du procédé de fabrication. Tout projet doit l'intégrer comme tel et non comme une « pièce rapportée ».

9.4.3. Fonctions de l'emballage

L'emballage revient à mettre le produit à l'intérieur d'un conteneur doté de matériaux d'emballage qui l'immobilisera (plateaux en plastique ou papier mâché moulé, pièces insérées, coussinets, etc.) et le protégera (film plastique, doublures cirées, etc.). L'emballage vise à atteindre **trois objectifs de base** :

- **contenir le produit, et faciliter sa manipulation et sa commercialisation** en établissant des standards quant au nombre ou au poids du contenu de chaque emballage et en améliorant la présentation du produit ;
- **protéger les produits et marchandises contre les agressions externes** : climatiques (température, HR, UV et dépressurisation), physiques (chocs, chutes, vibrations, etc.), animales (rongeurs et insectes, etc.), microbes et autres micro-organismes, odeurs (problème des épiceries), vols (manumission : terme utilisé pour indiquer les possibilités de vol) ; meurtrissures (impacts, compression, frottement et lésions) pendant le transport, le stockage et la commercialisation ;
- **offrir des informations au client**, concernant la variété, le poids, le nombre, la démarche de sélection ou le niveau de qualité du produit, le nom du producteur, le pays, la région d'origine, etc. ; il est aussi tout à fait fréquent de joindre à l'emballage des recettes, la valeur nutritive, les codes à barres du produit ou toute autre information permettant de retracer son origine.

Il existe une très grande variété d'emballages et de matériaux d'emballage. Actuellement, la technologie permet de répondre aux préoccupations des emballeurs pour peu que les caractéristiques du produit, de sa durée de vie, du système de manipulation, de stockage et de distribution, soient connues. Pour répondre à ces préoccupations, l'établissement d'un cahier des charges, l'adoption des normes et encore mieux la mise en place d'une réglementation (la santé, l'hygiène et la sécurité) sont les instruments de l'amélioration de la qualité.

Un «paquet» bien conçu sera forcément adapté aux conditions ou au traitement spécifique du produit. Par exemple, si celui-ci doit être refroidi par eau ou par glace, il doit pouvoir tolérer l'humidité sans perdre de son efficacité. Pour un produit au taux de respiration élevé, il faudra un emballage disposant d'ouvertures assez grandes pour permettre un échange de gaz suffisant. Lorsque le produit se déshydrate facilement, le paquet sera conçu de manière à offrir une barrière efficace contre la perte d'eau, etc. L'utilisation de matériaux semi-perméables permet de créer à l'intérieur des paquets une atmosphère spéciale propice au maintien de la fraîcheur du produit.

9.4.4. Tendances de l'emballage et perspectives de développement

Le système alimentaire mondial connaît actuellement de nombreux changements dans la façon dont les aliments sont produits, distribués, entreposés, transformés et vendus. D'un côté, ce dynamisme accru du système alimentaire pose de multiples défis au secteur de l'emballage, mais, de l'autre, il lui ouvre des débouchés et des possibilités qui devraient lui permettre de se développer et de relever ces défis efficacement.

Le fait que l'on s'oriente vers une transformation locale des produits d'exportation traditionnels ainsi que l'introduction sur le marché mondial de nouveaux produits de consommation emballés en provenance des pays en développement nécessiteront de la part des exportateurs de ces pays une compréhension approfondie des exigences des consommateurs des pays industrialisés. Ces changements apporteront leur lot de défis, car les exportateurs des pays en développement devront commercialiser les produits directement auprès des consommateurs des marchés cibles, utiliser leur propre nom de marque, rester compétitifs en matière de création d'emballages et maintenir un niveau élevé de qualité. Ces problématiques ne seront pas l'exclusivité des exportateurs, mais concerneront aussi le secteur de l'emballage des pays en développement.

Dans les pays en développement, la tendance générale des entreprises de fabrication d'emballage à **se rapprocher de leurs clients** ouvre de multiples possibilités d'investissement dans ce secteur. L'intérêt que suscitent, en raison de leur exotisme, les produits (fruits et légumes notamment) des économies en développement du sud sur les marchés du nord et de l'ouest devra être étendu à leurs emballages. Si, de manière générale, la fragilité relative et la durée de vie assez courte des matériaux locaux limitent leur emploi comme matières premières pour l'emballage, leur utilisation sous des formes innovantes en combinaison avec d'autres matériaux, aidée par la recherche et les avancées technologiques, est un domaine dans lequel il est intéressant d'investir.

La normalisation des conteneurs est une stratégie de réduction des coûts et a donné naissance à un éventail plus large de formats d'emballage afin de répondre aux besoins divers des grossistes, des consommateurs, des acheteurs des services de restauration et des entreprises de transformation.

Sur les trois branches du secteur, la fabrication d'emballages ouvre davantage de perspectives que les machines ou les services dans les pays en développement. Cette situation s'explique notamment par le fait que la branche des machines d'emballage est fortement dominée par les pays développés. À court et moyen termes, il serait utile d'étudier les débouchés dont le marché des machines d'occasion est porteur. À long terme, cependant, les pays en développement auraient davantage intérêt à examiner les possibilités qu'offre la production locale de machines d'emballage simples adaptées à leurs besoins et à leurs exigences. L'expansion de la branche des services d'emballage, notamment les services de préemballage et l'externalisation, donnera une impulsion dont a tant besoin le secteur de l'emballage alimentaire des pays en développement. Ces services feront baisser le coût de l'emballage et du conditionnement, lesquels deviendront plus abordables, mais permettront aussi aux exportateurs, en particulier aux PME, de réaliser des gains d'efficience sur la manutention et la distribution.

Devant la **pénurie de matériaux d'emballage dans les pays en développement**, assouplir légèrement la réglementation sur les emballages sans sacrifier la sécurité sanitaire des aliments pourrait certainement aider le secteur. On pourrait, par exemple, autoriser l'utilisation de matériaux d'emballage recyclés lorsqu'ils ne posent pas de problème de contamination des aliments (comme dans le cas des aliments déshydratés). Un tel assouplissement des normes d'emballage permettrait d'augmenter l'offre de matériaux d'emballage tout en apportant des solutions aux problèmes de pertes de produits alimentaires.

9.4.5. Facteurs qui déterminent le choix de l'emballage

La sélection du meilleur emballage vise à réduire les coûts directs (achats de matériaux et gestion des déchets) et indirects (processus d'emballage, manutention, stockage et perte dues à des dommages).

Voici les principaux aspects qui conditionnent le choix des différents types d'emballage.

- Les caractéristiques du produit, par exemple, son état (liquide, solide, gazeux), son poids et son volume, sa fragilité, sa stabilité (s'il se déforme ou s'il reste rigide), s'il est périssable ou non, son degré de dangerosité et sa valeur.
- Le processus de production et d'emballage déterminera le type d'emballages primaires et secondaires à employer. Les formats seront différents si l'emballage s'effectue manuellement ou de manière automatique.
- La manutention pendant le transport et le stockage : de nombreux aspects doivent être pris en compte, comme la hauteur d'empilement qu'il doit supporter, la durée de stockage, les différentes méthodes de transport utilisées par l'entreprise (elles peuvent provoquer des vibrations qui affectent

le produit), le nombre de chargements et de déchargements qu'il va subir, sa relation avec la logistique inverse (par exemple, certains emballages secondaires sont préparés pour être réutilisés), ainsi que la température et l'humidité auxquelles va être soumis le produit lors des opérations de stockage et de transport.

- L'impact environnemental des déchets d'emballage et les options de recyclage ou de réutilisation.
- Le point de vente : sa place dans le magasin et la manutention dont il va avoir besoin doivent être prises en considération. En outre, s'il s'agit de commerce électronique, il convient de prendre en compte le moment de déballage ou une boîte vu qu'il s'agit du premier contact physique du client avec la marque et son produit.
- La législation et la réglementation qui régissent les caractéristiques des emballages, par exemple, les normes techniques (des standards tels que l'UNE ou l'ISO), les règlements de transport international (par exemple, la Norme internationale pour des mesures phytosanitaires n° 15 ou NIMP-15).

9.4.6. Les niveaux d'emballage

Il existe deux types de classification au niveau de la fonction. Cependant, les principes développés par les deux types de classification se rejoignent dans leur vision. Le conditionnement d'un produit est formé par plusieurs couches d'emballage. Voici leur définition selon la directive 94/62/CE de l'UE.

9.4.6.1. *Emballage primaire, emballage de vente ou unité de consommation*

L'**emballage primaire** contient et protège le produit. Il est en contact direct avec l'article qu'il doit maintenir dans des conditions optimales. Cet emballage définit la plus petite unité de consommation et permet la vente unitaire du produit. Il prend des formes diverses : boîtes de conserve, pots, sacs, bouteilles...

Les fonctions de cet emballage primaire sont les suivantes :

- **identifier le produit** selon les normes en vigueur et montrer les informations relatives à son utilisation, ainsi que d'autres données fondamentales, comme la date de péremption ;
- selon le produit, il doit également remplir le rôle important d'**identification de la marque** et attirer davantage le consommateur ;
- garantir une **position stable dans le rayon de vente** du magasin (qu'il ne tombe pas) ;
- garantir l'**isolement du contenu** ;
- protéger le produit avec le **minimum de matériau possible**.



Emballage primaire (avocats, jus de mangues et mangues séchées et ananas sont directement en contact avec l'emballage)

9.4.6.2. *Emballage secondaire ou groupé*

L'emballage secondaire est un regroupement d'emballages primaires. Il offre une plus grande protection et permet la commercialisation du produit à plus grande échelle. Il s'agit principalement des caisses en carton, bien qu'elles pourraient également être en plastique. Par exemple, dans le cas du jus de mangue Dafani du Burkina Faso, un litre de jus Dafani individuel serait l'emballage ou conditionnement primaire et la caisse en carton qui contient le pack de six représenterait l'emballage secondaire.

Les fonctions de l'emballage secondaire sont les suivantes :

- résister à l'empilement (dans l'entrepôt et dans le point de vente) et à la manipulation pendant le transport, afin d'éviter que le produit ne subisse de dommages ;
- contenir une quantité déterminée de produits ;
- attirer l'attention du client, plus particulièrement les emballages secondaires destinés directement à la vente au public.



Emballage secondaire : 6 bouteilles de jus de mangues constituent une unité de vente détail

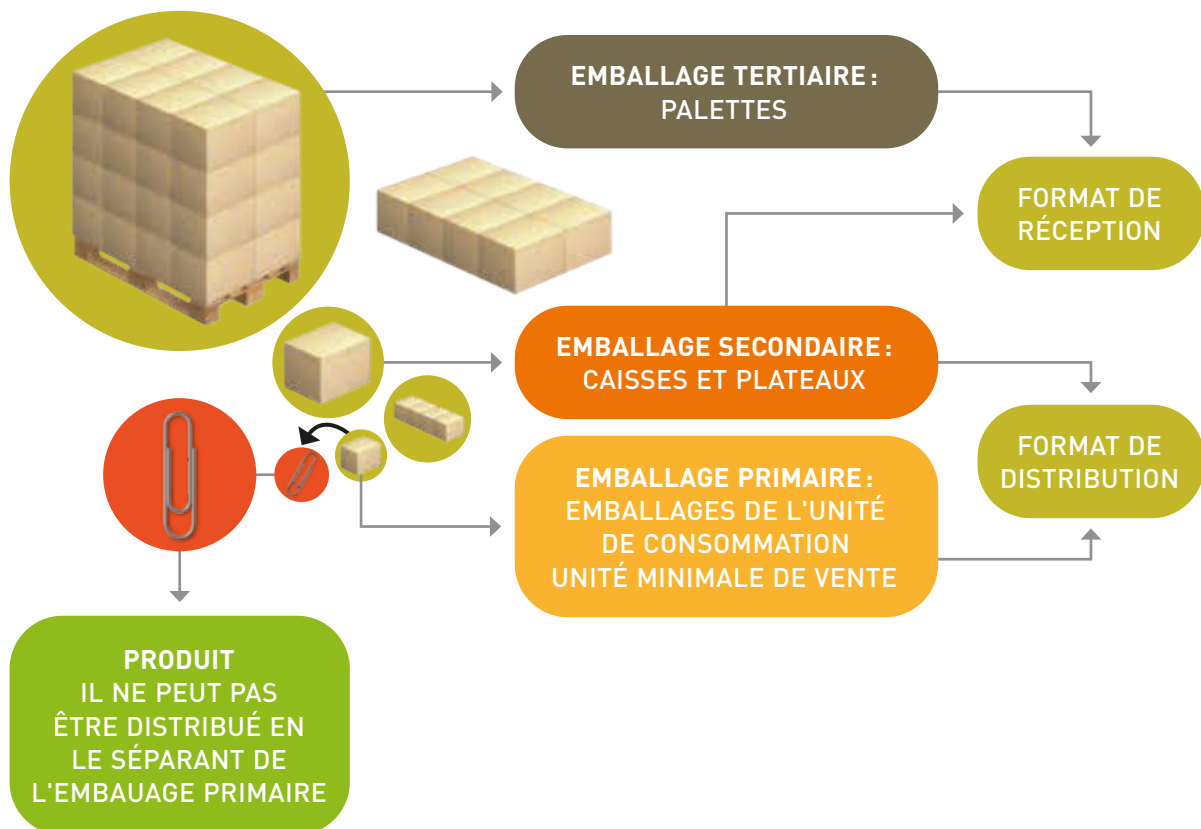
9.4.6.3. Emballage tertiaire

Les emballages tertiaires regroupent les emballages primaires et secondaires pour créer une unité de chargement plus importante dont la forme la plus courante est la palette ou le conteneur et les caisses en carton modulaires qui les composent.

Les fonctions et caractéristiques de l'emballage tertiaire sont :

- être stable et permettre le **compactage des charges** ;
- **exploiter au maximum la capacité de stockage** des installations et des véhicules industriels ;
- être **homologués** et fabriqués avec des matériaux résistants ;
- jouer un rôle important en ce qui concerne l'**image de marque** ; soulignons le cas de la logistique e-commerce, où la caisse ou l'emballage utilisé pour le transport est de type tertiaire et peut **inclure des éléments visuels de la marque**.

Dans ce contexte logistique, il convient de rappeler le rôle de l'unité de charge. Il s'agit de l'unité de base utilisée par l'entreprise dans le transport et le stockage de ses produits. Cela peut être des palettes, des caisses, des conteneurs, des bidons, des bobines, de grands conteneurs pour produits en vrac, des sacs ou des big-bags, etc. Différentes unités de charge peuvent coexister dans une même installation de stockage, elles sont différenciées par zones et avec différents types de rayonnages adaptés à chacune d'entre elles.



Structuration des emballages primaires, secondaires et tertiaires

9.4.7. Typologie au niveau de l'emballage pour les produits frais

On distingue les types d'emballage suivants.

- Remplissage volumétrique : les produits sont placés manuellement ou mécaniquement dans l'emballage jusqu'à ce que la capacité, le poids ou le nombre souhaité soit atteint.
- Emballage en plateaux ou modules alvéolaires : les produits sont placés dans des plateaux ou dans des alvéoles qui les séparent et réduisent les risques de meurtrissures.
- Emballage direct : les produits sont placés avec soin dans l'emballage. On obtient ainsi une réduction des risques de meurtrissures et un aspect agréable.
- Emballage unitaire de vente ou pré-emballage : des quantités relativement faibles de produit sont emballées, pesées et étiquetées pour la vente au détail. Lorsque le produit pesé arrive au consommateur dans le même emballage que celui dans lequel il a été préparé, on l'appelle unité consommateur ou pré-empaquetage. Les matériaux utilisés comprennent les papiers mâchés ou les plateaux de polystyrène enrobés de film rétractable, les sacs plastique ou papier, les coquilles, les plateaux en PVC thermoformé, etc. Les oignons, pommes de terre et patates douces sont commercialisés dans des filets pouvant contenir de 3 à 5 kg.
- Emballage sous film plastique transparent ou rétractable : chaque fruit ou légume est enveloppé individuellement et hermétiquement dans une pellicule pour réduire l'évaporation et la décomposition. La pellicule peut être traitée avec des fongicides ou d'autres produits chimiques autorisés ou agréés.

9.4.8. Emballage sous atmosphère modifiée

9.4.8.1. Principe

Les emballages peuvent aussi être utilisés **pour modifier l'atmosphère** : par exemple, la **teneur en oxygène est réduite et la quantité de gaz carbonique est accrue** (la teneur en oxygène est abaissée jusqu'à environ 10% et celle en gaz carbonique est augmentée aux environs de 1%). Cela réduit la respiration du produit et ralentit le mûrissement. Le conditionnement sous atmosphère modifiée est donc une technique qui consiste à modifier l'atmosphère entourant le produit alimentaire et à **contrôler ainsi les réactions chimiques, enzymatiques ou microbiennes** dans le but d'éliminer ou de réduire les principales dégradations. C'est une technique de conservation « douce », sans traitement thermique ni chimique du produit alimentaire dont le but est de prolonger la durée de vie tout en maintenant la qualité du produit.

Différents gaz sont utilisés dans le secteur alimentaire (gaz carbonique azote, argon, hélium, protoxyde d'azote, et même hydrogène ou oxygène), mais seuls deux nous intéressent :

- le CO₂ (E 290), qui agit (par privation d'oxygène) sur les phénomènes d'oxydation, de développement de bactéries, de moisissures, de levures, au niveau des réactions enzymatiques ;
- l'azote (E 941), qui intervient par privation d'oxygène, et est surtout mis en œuvre pour éviter l'écrasement.

9.4.8.2. Produits de quatrième gamme

Les fruits et légumes de quatrième gamme sont **des produits crus et frais, conditionnés dans des emballages à usage domestique ou collectif, prêts à l'emploi** et ayant été soumis à une ou des préparations telles que : épluchage, découpage ou autre (ex. : salades prêtes à l'emploi ; carottes râpées, légumes pour la soupe, etc.). Ils sont généralement conditionnés dans un **emballage en matière plastique** (polyéthylène, polypropylène, films composites, etc.) qui permet de garder une atmosphère modifiée durant la période qui précède la consommation. Le film utilisé doit être apte au soudage et de perméabilité adaptée.

Ces produits de quatrième gamme doivent être réglementairement conservés à 4 °C. Dans ces conditions, la durée limite de conservation (DLC) est voisine d'une semaine. L'emballage en atmosphère modifiée avec des produits de quatrième gamme est toujours accompagné d'une humidité relative très élevée, ce qui limite la déshydratation, mais favorise la prolifération de micro-organismes phytopathogènes parmi lesquels on trouve des bactéries, des levures et des moisissures. Pour assurer une **meilleure stabilité microbiologique**, une désinfection par de l'hypochlorite (maintien de la concentration en chlore actif entre 50 et 100 ppm pendant une minute et pH inférieur à 8, suivi d'un rinçage) est permise.

En ce qui concerne les germes pathogènes, la législation impose la recherche de *Salmonella* et de *Listeria monocytogenes*. Ces produits assez pauvres en nutriments ne sont pas de bons supports pour ces germes. De plus, la présence en grand nombre de bactéries phytopathogènes entraîne une dégradation commerciale du produit avec le développement éventuel de pathogènes humains. Le risque pour le consommateur est donc très faible.

De même, pour les produits sensibles au brunissement enzymatique, **l'emploi d'additifs est nécessaire** (acide ascorbique, acide citrique, métabisulfite de sodium).

9.4.9. Normalisation des emballages

Étant donné la grande variété de dimensions des emballages utilisés, il est souhaitable d'employer des emballages normalisés. Les emballages normalisés :

- permettent d'utiliser, avec d'autres emballages, le maximum de la surface des palettes normalisées sans surplomb et avec peu de retrait ;
- fournissent des charges unitaires et des charges mixtes stables sur palettes ;
- réduisent les coûts de transport et de commercialisation.

L'un des principaux avantages de la standardisation des mesures est l'utilisation de l'espace à tous les stades de la chaîne d'approvisionnement, de la production au transport en passant par le stockage. D'où l'intérêt de la généralisation de l'utilisation de la palette comme emballage tertiaire de base pour le compactage des charges dans les pays ACP.

Les emballages d'expédition doivent être de dimensions appropriées et remplis convenablement. Les emballages très grands et **qui pèsent, par exemple, plus de 23 kg**, augmentent les risques de manutention brutale, d'endommagement du produit et de l'emballage.

Un remplissage excessif endommage le produit et provoque un bombement excessif des côtés de l'emballage, ce qui réduit la résistance à la compression et la solidité de l'emballage lui-même. Le sous-remplissage risque aussi d'endommager le produit. Le produit s'abîme lorsqu'il glisse à l'intérieur de l'emballage pendant le transport et la manutention.

9.5. LES MATÉRIAUX D'EMBALLAGE

9.5.1. Emballages destinés à conserver la qualité des fruits et légumes frais pendant le transport et la commercialisation

9.5.1.1. Nécessité

L'emballage doit pouvoir supporter :

- le manque de soin pendant le chargement et le déchargement ;
- la pression due au poids d'autres colis empilés au-dessus ;
- les chocs et vibrations en cours de transport ;
- la forte humidité pendant le pré-refroidissement, le transport et l'entreposage.

9.5.1.2. Matériaux d'emballage

Les matériaux d'emballage sont choisis en fonction des spécificités du produit, de la méthode d'emballage, de la méthode de pré-refroidissement, de la résistance, du coût, des disponibilités, des exigences de l'acheteur et des taux de fret. Les importateurs, les acheteurs et les fabricants d'emballages peuvent fournir d'utiles recommandations.

Les principaux matériaux utilisés sont :

- le carton : bacs, caisses collées, agrafées, emboîtées, caissettes, plateaux, plateaux de cueillette, aménagements intérieurs et séparations, panneaux ;
- le bois : caisses palettes, caisses (armées, clouées), paniers, plateaux, caissettes, palettes ;
- le papier : sacs, manchons, enveloppes, doublures, rembourrages, copeaux de papier et étiquettes ;
- le plastique : bacs, boîtes, plateaux, sacs (à mailles, d'une seule pièce), conteneurs, manchons, pellicule d'emballage transparente, doublures, séparations et panneaux ;
- le plastique alvéolaire : caisses, plateaux, caissettes, manchons, doublures, séparations et rembourrages.



Adaptation des matériaux d'emballages en fonction du fruit

9.5.1.3. Emballages d'expédition

On considère que les caisses/palettes, boîtes, plateaux, caissettes, paniers et sacs sont des emballages d'expédition. Toutefois, les paniers sont difficiles à manipuler dans des chargements mixtes de boîtes rectangulaires. Quant aux sacs, ils ne confèrent qu'une protection limitée aux produits qu'ils contiennent. La caisse en carton est un emballage largement utilisé.

Les présentations sont, par exemple, les suivantes :

- caisses à un élément avec rabats collés, agrafés ou rabattants ;
- caisses à deux éléments avec couvercle ; caisses à deux éléments avec couvercle emboîtable, et coins renforcés ;
- caisses à trois éléments type Bliss à fonds agrafés ou collés et coins renforcés ; caisses d'une seule pièce à couvercle emboîtable ;
- caisses à deux éléments, moulées sous pression, à couvercle emboîtable ; caisses d'une seule pièce avec pattes en fil métallique ou avec extrémités ;
- carton rigide et fonds en matière plastique conférant de la résistance à l'empilage et facilitant l'alignement.

Les caisses en carton destinées à recevoir des produits qui seront emballés à l'état humide ou avec de la glace doivent être revêtues de cire ou d'un matériau résistant à l'eau. La résistance à l'écrasement du carton non traité peut être réduite de plus de la moitié lorsque l'humidité relative atteint 90%. En plus de favoriser la rigidité du carton, la cire contribue à réduire la perte d'humidité du produit vers le carton. Toutes les boîtes en carton collé doivent l'être avec un adhésif résistant à l'eau.

La majorité des caisses en carton et en bois sont conçues pour être empilées couvercle contre fond. L'empilage des cartons ou caisses sur le flanc ou les extrémités peut compromettre la résistance à l'écrasement et la protection du produit si les charges sont importantes. Si les caisses ou cartons ne sont pas alignés, ils peuvent perdre jusqu'à 50% de leur résistance à l'écrasement.



Illustration de l'empilement des cartons d'emballage de fruits sur le flanc et sur le couvercle

Divers matériaux sont ajoutés aux emballages d'expédition pour leur conférer plus de rigidité et mieux protéger le produit. Les cloisons ou casiers, ainsi que les côtés et fonds à double ou triple épaisseur, donnent aux cartons d'emballage une résistance plus grande à l'écrasement et réduisent les dommages aux produits. On peut également éviter de meurtrir les fruits et légumes en utilisant des capitonnages, des enveloppes, des manchons et des copeaux de papier.

On se sert également de **tampons pour maintenir l'humidité**, comme dans le cas des asperges; assurer un traitement chimique contre la décomposition, comme des tampons à l'anhydride sulfureux pour le raisin, ou encore absorber l'éthylène avec des tampons au permanganate de potassium dans les cartons de bananes et de fleurs.

On utilise **des films ou des sacs en plastique pour conserver l'humidité**. Pour la plupart des produits, on se sert de **plastique perforé** qui permet l'échange des gaz et évite l'excès d'humidité. Par contre, on utilise du **plastique non perforé** pour mettre les produits à l'abri de l'air et **les placer en atmosphère modifiée en réduisant la quantité d'oxygène disponible** pour la respiration et le mûrissement. C'est ainsi que l'on procède, par exemple, pour les bananes, les fraises, les tomates et les agrumes.

9.5.2. Emballages des produits transformés

9.5.2.1. Intérêt

Dans notre société moderne, la distribution de fruits et légumes transformés ne pourrait se faire sans un emballage qui soit pratique pour le transport et l'utilisation des produits, mais également performant pour leur protection et leur conservation. En ce qui concerne les jus de fruits et nectars, il est évident qu'ils doivent être conditionnés pour être transportés! Leurs emballages garantissent également leur bonne conservation dans le temps d'un point de vue sanitaire, gustatif et nutritionnel.

Mais **les emballages sont aussi des supports de communication**: ils permettent de capter l'attention du consommateur et de donner des informations (notamment les ingrédients, les conseils de conservation...). Que ce soit pour des fruits séchés, des confitures, du jus de fruits, du nectar ou autre, le choix de l'emballage est donc un choix stratégique alliant performance technologique et esthétisme.

Bien que vous le sachiez déjà, il est important de vous rappeler qu'il existe différentes sortes d'emballages pour le conditionnement d'un jus de fruits: le plastique, le carton et le verre (les canettes en métal sont très rares). Ils peuvent se décliner quasi à l'infini, que ce soit au niveau de la forme, du design, du format... pour que chacun y trouve son bonheur! Étanches, solides, résistants, tous ces emballages permettent une protection efficace des jus et nectars, notamment contre l'oxygène (premier ennemi de la vitamine C). Tout est étudié pour que chaque type d'emballage soit le plus respectueux possible des qualités des produits et préserve leur goût et leurs nutriments, sans oublier qu'ils sont tous recyclables, chacun avec sa propre filière de tri!

9.5.2.2. Les matériaux d'emballage des fruits et légumes transformés

Il existe différents matériaux d'emballage pour l'industrie alimentaire des fruits et légumes transformés. Nous détaillerons les emballages en verre, les matériaux métalliques, les plastiques et les matériaux cellulosiques.

Les récipients en verre

Le verre est un matériau minéral à base de silicium, fabriqué à partir du sable siliceux. Il est utilisé comme emballage **des fruits et légumes transformés dans le cas des confitures, compote, jus de fruits etc.**, et présente plusieurs avantages importants :

- transparent,
- inerte,
- réutilisable,
- recyclable.

Cependant, il renferme **certains inconvénients** majeurs qu'on peut énumérer comme suit :

- fragile,
- dangereux,
- faible conductibilité thermique.

L'utilisation du verre comme matériau d'emballage dans le domaine alimentaire remonte à plusieurs siècles. Le verre d'emballage comprend les flacons, les pots, les bocaux, les gobelets, etc.

Les produits alimentaires emballés dans le verre sont nombreux :

- liquides : eaux, jus, huiles et boissons rafraîchissantes, lait, huiles, vinaigres...
- conserves : légumes, fruits, pâtés, viandes...
- confitures, miel, pâtes à tartiner...
- condiments, moutardes, assaisonnements...
- aliments infantiles,
- produits à base de lait : yaourts...
- plats cuisinés, etc.

La très large utilisation du verre dans le domaine alimentaire n'est pas le fruit du hasard, mais est pleinement justifié par un ensemble de qualités propres au verre, dont les plus importantes sont énumérées ci-dessous.

- Le verre est imperméable aux gaz, vapeurs et liquides. C'est un matériau à barrière exceptionnel.
- Le verre est chimiquement inerte vis-à-vis des liquides et produits alimentaires, et ne pose pas de problème de compatibilité ; il peut être utilisé pour tous les produits alimentaires liquides, solides, pâteux ou pulvérulents.

- Le verre est un matériau hygiénique et inerte sur le plan bactériologique ; il ne fixe pas et ne favorise pas le développement de bactéries ou micro-organismes à sa surface.
- Il est facile à laver et à stériliser.
- Le verre n'a pas d'odeur, ne transmet pas les goûts et ne les modifie pas ; il est le garant des propriétés organoleptiques et de la saveur de l'aliment.
- Le verre est transparent et permet de contrôler visuellement le produit.
- Il peut être coloré et apporter ainsi une protection contre les rayons ultraviolets pouvant nuire au produit contenu.
- Le verre résiste aux pressions internes élevées que lui font subir certains liquides.
- Le verre a une résistance mécanique suffisante pour supporter les chocs sur les chaînes de conditionnement qui travaillent à cadence élevée et pour supporter des empilements verticaux importants pendant le stockage.
- Il est recyclable.
- Il laisse passer les micro-ondes et permet le réchauffage de l'aliment.



Bocaux en verre de fruits et légumes en conserve

Les matériaux métalliques

- Matériaux à base d'acier : fer blanc et fer chromé

Les boîtes de conserve ont un couvercle que l'on ferme hermétiquement à l'aide d'une sertisseuse. Il en existe de différents types allant de simples instruments que l'on fait fonctionner manuellement aux nouvelles machines automatiques. Le système de fermeture doit être bien ajusté pour éviter tout risque de fuite. On le vérifie en mettant un peu d'eau dans une boîte avant de la fermer et de l'immerger dans l'eau bouillante. Si au bout de quelques minutes on voit s'échapper de la vapeur, c'est qu'il faut ajuster le sertissage.

Les boîtes fournies par les usines sont assez propres et il est inutile de les laver. Retournez-les pour les stocker pour éviter toute contamination. Si elles ne sont pas propres, lavez-les dans de l'eau chaude contenant de la soude ménagère (1,5%), rincez-les à l'eau chaude et faites-les égoutter sur un torchon propre. Les couvercles doivent aussi être propres. Le principal matériau pour les boîtes à conserve est le fer blanc : mince feuille d'acier doux revêtu électrolytiquement d'une couche d'étain pur sur ses deux faces. Un produit dérivé, le fer chromé, a pris une place importante, représentant 30% du tonnage global.

- Le fer blanc

Le fer blanc est constitué d'acier, alliage de fer et d'autres matériaux, et d'une couche d'étain.

- L'acier de base : la composition chimique de l'acier de base influence également les caractéristiques mécaniques de l'emballage et peut jouer un rôle sur la résistance à la corrosion.
- L'étamage : réalisé par voie électrolytique, l'étamage permet de déposer en continu une quantité précise d'étain sur chaque face du métal qui a été préalablement décapé et dégraissé. Ce dépôt est ensuite refondu pour obtenir un alliage avec le support et l'aspect brillant caractéristique. Enfin, la surface reçoit un traitement électrochimique de passivation pour parvenir à une couche superficielle contenant des oxydes d'étain, des oxydes de chrome et du chrome métallique. En dernier, il reçoit un très léger huilage facilitant son glissement et sa protection avant vernissage.

En pratique, les taux d'étain, exprimés en g/m², sont choisis en fonction du type de boîte, du contenu et des conditions de mise en œuvre. La normalisation recommande les valeurs nominales suivantes : 1,0 – 2,0 – 2,8 – 5,6 – 8,4 et 11,2 g/m² par face. Toutefois, les taux inférieurs à 2,8 g/m² ne sont pas utilisables pour les produits appertisés.

- Le fer chromé

C'est un matériau composé d'acier et d'une couche de chrome, l'opération d'addition de ladite couche est dite «chromage». Mise au point au Japon vers 1965, cette famille de revêtement s'est imposée aux USA puis en Europe comme le complément indispensable du fer blanc. L'appellation internationale du fer chromé est ECCS (*Electrolitic Chromium Coated Steel*), mais la désignation usuelle Tfs (*Tin Free Steel*) est encore couramment employée.

- L'aluminium

C'est un matériau très utilisé dans l'agro-alimentaire. Il présente des caractéristiques suivantes :

- légèreté,
- étanchéité contre les gaz,
- recyclable,
- flexible,
- stable.

Cependant, ce matériau présente certains inconvénients :

- relativement cher,
 - fermeture difficile,
 - fonctions marketing limité (formes limitées).
- Les vernis de protection de l'emballage métallique

Certains matériaux métalliques, comme l'aluminium ou le fer chromé, sont souvent vernis sur les deux faces intérieure et extérieure. La fonction essentielle des vernis est de **minimiser les interactions des métaux de l'emballage avec les produits conditionnés** et le milieu extérieur. À l'extérieur, les revêtements organiques assurent simultanément la fonction de protection et de décoration.

Les vernis sont des produits susceptibles de former un film adhérent au métal, continu et inerte de point de vue physico-chimique, c'est-à-dire que la migration qui peut avoir lieu lors du contact contenant/contenu ne compromettra pas la salubrité de la denrée alimentaire.

Les **constituants principaux des vernis** sont :

- des matières filmogènes (polymères organiques) ;
- des solvants nécessaires à la fabrication et à la mise en œuvre des vernis, mais éliminés lors du séchage ;
- des pigments éventuels et additifs divers.

Les vernis non pigmentés sont transparents ou incolores ; les pigments opacifient le film et le colorent. On peut citer, par exemple, l'oxyde de titane, qui permet de faire des revêtements blancs. Ce vernis commence à devenir le composant essentiel des encres pour décoration extérieure, vu la teinte et l'attractivité qu'il confère à l'emballage.



Multiplés possibilités d'emballages métalliques de fruits et légumes

Les plastiques

Les emballages plastiques constituent une bonne part des emballages utilisés dans le domaine agro-alimentaire. L'aspect pratique de l'emballage en plastique joue un rôle très important pour le consommateur des produits de grande consommation. Les produits qui ont leur approbation ont, par exemple, un bec verseur permettant une réutilisation facile et pratique ; ils offrent par conséquent un autre service au consommateur.

Ces emballages offrent une variété infinie de solutions, ils s'adaptent au sur-mesure et à une infinité de contenus. Grâce à leur légèreté, à leur capacité de valorisation, que ce soit par recyclage ou valorisation énergétique, les emballages après usage répondent aux exigences environnementales.

L'emballage plastique est résistant, il évite ainsi des pertes de produit, des risques de dommages pour l'aliment qu'il protège. Il s'est adapté aux cadences de conditionnement de l'industrie agro-alimentaire et aux modes de distribution des produits.

Toutes les exigences précitées du produit agro-alimentaire à emballer, qu'elles soient d'ordres technique, sécurité, hygiène, compatibilité contenant/contenu, praticité pour le consommateur, information, marketing, expliquent que grâce à leur diversité, tant en termes de matériaux que de modes de transformation, les matières plastiques sont présentes dans un nombre de plus en plus vaste d'applications.

Les différents matériaux les plus utilisés sont : PET, PEhd, PEbd, PS, PVC, PP.

A: Choix des matériaux plastiques

L'emballage rigide primaire, donc en contact avec les denrées alimentaires, doit répondre à un ensemble de contraintes : il faut que le matériau se prête à la technique de transformation nécessaire à l'obtention de la bouteille, de la barquette ou du pot, mais aussi offrir les propriétés requises :

- résistance aux chocs, au froid (congélateur) et à la température (ex. : stérilisation, micro-onde) ;
- attractivité en rayon de magasins (forme, couleur, aspect, transparence, pouvoir de séduction) ;
- praticité pour le consommateur : ouverture/fermeture facile (bouchon vissable, bouchon charnière et clipsable, opercule couvercle pelable), distributeur de doses ;
- durée de conservation : emballage barrière à la vapeur d'eau, à l'oxygène et aux odeurs ; utilisable pour le conditionnement sous atmosphère modifiée ;
- sécurité du consommateur : témoin d'inviolabilité sur les ouvertures, étanchéité.

Cependant, la fonction première d'un emballage alimentaire est sans conteste de garantir la protection de l'aliment contre les risques de contamination chimique et microbiologique externe pendant la durée de conservation prévue.

Toutes les matières plastiques offrent de ce point de vue, des propriétés d'imperméabilité et d'innocuité qui souvent s'avèrent satisfaisantes, même dans

une structure d'**emballage monocouche**, dit encore «**matériaux de structure**». Dans le cas où l'aliment par nature est sensible à l'oxygène de l'air ou aux odeurs il faut faire appel à des **matériaux dits «barrière»**. Ces derniers sont alors utilisés systématiquement dans des **emballages multicouches** en association avec des matériaux de structure.

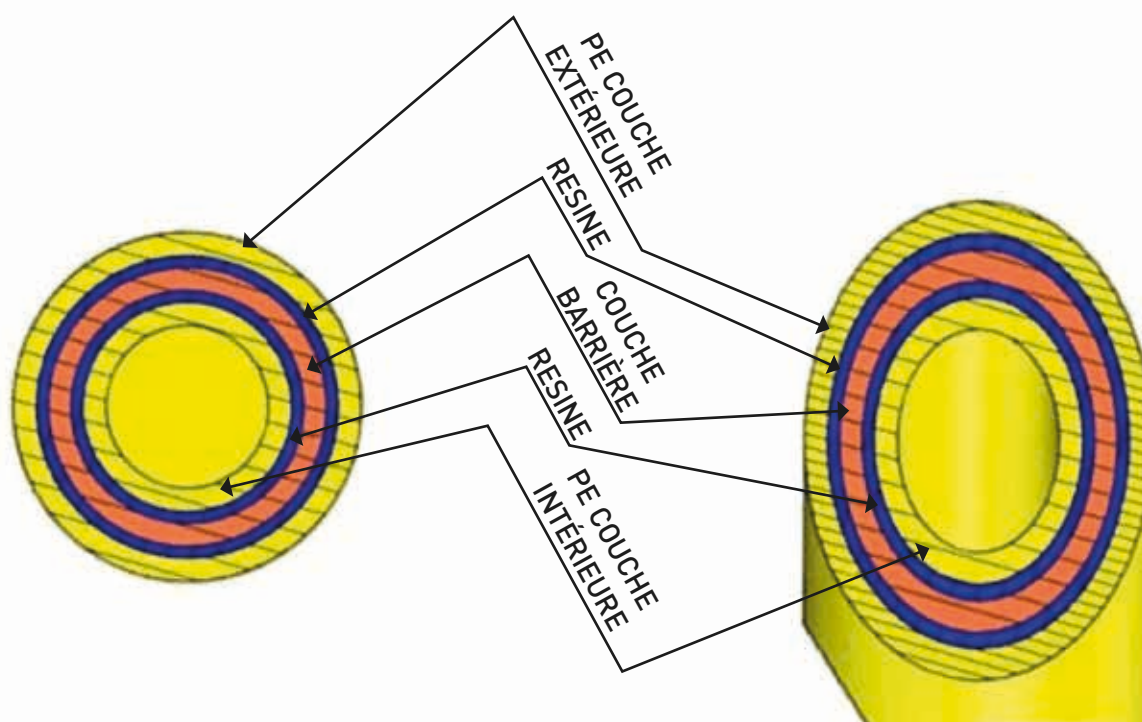
B: Les matériaux «barrière»

Ces matériaux présentent une très faible perméabilité à l'oxygène et au gaz carbonique, mais aussi à des molécules plus lourdes, comme les arômes des aliments.

La tendance actuelle à l'augmentation de la durée limite de consommation favorise de plus en plus leur utilisation. Cependant, leurs autres caractéristiques, et notamment leur prix, ne leur permettent pas une utilisation large.

- Copolymère d'éthylène alcool vinylique (EVOH)

C'est un matériau très utilisé dans l'**emballage rigide alimentaire**, car il prête bien à la coextrusion de feuilles ou de corps creux **en combinaison avec des matériaux de structure**, comme les polyéthylènes, polypropylène, ou polystyrène. Le caractère cristallin et polaire de l'EVOH nécessite cependant l'utilisation de liants qui assurent l'adhésion avec les matériaux de structure. Ce copolymère présente une **excellente imperméabilité à l'oxygène, au gaz carbonique et aux arômes, mais à condition de le protéger de l'influence de l'humidité**, qui fait chuter fortement ses performances. Pour pallier cet inconvénient, il est souvent **pris en sandwich dans des structures multicouches** à base de polyoléfines PE ou PP peu sensibles à l'humidité.



Structure d'un emballage rigide alimentaire à couche multiple

Cette optimisation de la structure peut également être trouvée en ajustant le taux d'éthylène dans l'EVOH qui, dans la pratique, varie de 29 % à 44 % en poids. La facilité de mise en œuvre et la moindre sensibilité à l'humidité croît avec le taux d'éthylène. En revanche, les propriétés «barrière» augmentent avec la teneur en alcool vinylique.

- Chlorure de polyvinylidène (PVDC)

Il s'agit de la famille de matériaux «barrières» la plus couramment utilisée dans les films souples. Elle est en fait constituée de copolymères de chlorure de vinylidène.

C : Les matériaux de «structure» et leur association

- Polyéthylène basse densité (PEbd)

Ce matériau domine très largement les emballages souples, car il assure une excellente imperméabilité à l'humidité et une soudabilité thermique à haute cadence. Il peut être utilisé pour les produits alimentaires liquides. Le polyéthylène basse densité est surtout utilisé dans la fabrication des films rétractables ou étirables pour la palettisation.

- Polyéthylène haute densité (PEhd)



Ses propriétés sont :

- température maximale d'emploi : 105 °C ;
- température de fragilisation : - 50 °C ;
- aptitude au micro-onde : oui ;
- flexibilité : bonne ;
- très bonne résistance aux acides, aux alcools aliphatiques, aux aldéhydes, aux hydrocarbures aliphatiques et aromatiques ;
- faible résistance aux agents oxydants.

Il est régénéré et recyclé sous forme de granulés. Le PEhd a fait une percée remarquable dans deux secteurs où les **bouteilles semi-rigides et opaques** sont utilisées : bouteilles de lait ou de jus lactés, des bouchons de boissons gazeuses, etc.).



Jus de fruit lacté et lait dans un emballage semi-rigide et opaque

- Polypropylène (PP)



Il fait partie de la famille des polyoléfines, constitués essentiellement à partir de propène. Il entre principalement dans la fabrication de films d'emballage de paquets de fruits et légumes séchés alimentaires secs.

C'est un matériau qui offre plusieurs avantages : un bon rapport qualité/prix ; une rigidité et transparence adéquates à la production alimentaire. Son utilisation fait référence aux barquettes transparentes micro-ondables des légumes préparés (mais pas pour la cuisson), aux barquettes de fruits séchés, ainsi qu'aux gobelets et assiettes jetables.



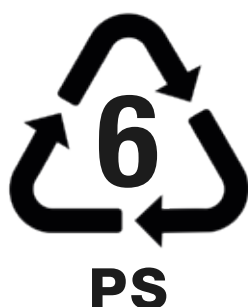
Gingembre et mangue séchés emballés dans des barquettes en polypropylène

En multicouches, le PP est aussi utilisé pour le conditionnement des mayonnaises et du ketchup en flacons souples, mais pour parfaire l'opération il faut intégrer une barrière à l'oxygène comme l'EVOH dans une structure multicouche de type **PP-liant-EVOH-liant-PP**. Le thermoformage du polypropylène a permis à ce matériau de conquérir d'autres parts de marché, comme celui des desserts lactés, fromage frais aux fruits.



Fromage frais aux fruits et ketchup emballés dans du multicouche de type de type PP-liant-EVOH-liant-PP

- Polystyrènes compacts (PS)



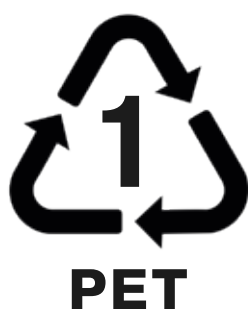
Le polystyrène (PS): ce polymère du styrène est surtout utilisé dans les emballages de produits laitiers (**yaourts, crème fraîche, desserts lactés**) et les gobelets pour distributeurs automatiques. Le polystyrène est le matériau par excellence **adapté au thermoformage à grande cadence**.

Le PS domine encore largement dans le conditionnement des produits laitiers frais, comme les yoghourts, desserts lactés, fromages blancs. Il est d'ailleurs le seul matériau utilisé dans la technique dite de *Form Fill Seal* (FFS) qui consiste à enchaîner sur une même ligne de production, le thermoformage, le remplissage et la fermeture par scellage.

Les pots de yoghourts PS fabriqués par FFS sont ensuite vendus en linéaire par lots de 4, 6, ou 8 pots non découpés. Le consommateur peut facilement séparer les pots par pliage.

Pour les **produits sensibles à l'oxygène** ou pour de longue durée de conservation, on doit mettre en œuvre des structures **multicouches du type PS/EVOH/PE**. C'est le cas des compotes de fruits.

- Polyéthylène téréphtalate (PET)



Ce plastique de la famille des polyesters a, contrairement au PVC, une très faible perméabilité au CO₂. Il est donc employé dans la fabrication des bouteilles de boissons gazeuses; Le polyéthylène téréphtalate (PET) est devenu le matériel de choix pour le conditionnement des **huiles de table**, car il offre une meilleure protection contre l'oxygène et une résistance élevée aux chocs. La minimisation de la photo-oxydation altérative dans les emballages transparents peut être assurée par l'utilisation des stabilisants UV ou des composants incolores qui absorbent les rayonnements UV.

Comme le polypropylène, le PET connaît une forte croissance dans l'emballage et tout particulièrement dans le conditionnement des **boissons et eaux embouteillées**.

- Le PVC

Il représente une part très faible des emballages plastiques. Son utilisation touche les bouteilles et flacons (eaux minérales plates et légèrement gazeuses aux arômes fruités, vinaigres de fruits, huiles).

Les matériaux cellulosiques

Le bois sert pour emballer les fruits secs et frais (pommes, mangues, dattes, raisins secs...); il offre l'avantage d'une manipulation et gerbage facile. Il est également utilisé pour les bouchons de bouteilles en verre qui sont fabriqués avec du liège (produit par le chêne-liège). Carton et papier sont utilisés pour emballer les fruits et légumes. Ces emballages permettent de combiner les avantages des différents matériaux présentés.

Les combinaisons de matériaux

En raison des avantages et inconvénients propres à chaque emballage, on va chercher à conjuguer les propriétés complémentaires de chaque matériau afin de concevoir un emballage efficace. Par exemple, en utilisant du carton, on se sert d'une ressource renouvelable, mais le manque d'étanchéité pose problème. On va donc associer au carton du plastique qui, lui, possède des propriétés d'étanchéité intéressantes. Les développeurs de Tetra Pak ont été parmi les premiers à créer des emballages composites en combinant le carton, le plastique et d'autres matériaux pour leurs fameuses briques de boisson.

9.6. PALETTISATION DES EMBALLAGES

Un grand nombre de chargeurs sont passés de la manutention d'emballages d'expédition individuelle aux chargements unitaires sur palette.

La plupart des centres de distribution sont conçus pour stocker des charges palettisées sur des rayonnages à trois niveaux. Les charges unitaires présentent les avantages suivants :

- réduction de la manutention individuelle des emballages d'expédition ;
- réduction des risques d'endommagement des emballages et des produits qu'ils contiennent ;
- chargement et déchargement plus rapides du matériel de transport ;
- une plus grande efficacité des centres de distribution.

Les charges unitaires peuvent avoir, par exemple, certaines des caractéristiques suivantes :

- palettes en bois normalisées ou panneaux de : 1 200 x 1 000 mm, 800 x 1 000 mm, 800 x 1 200 mm ou 1 000 x 1 200 mm ;
- séparations verticales entre les caisses en carton, plastique ou grillage ;
- caisses avec des perforations permettant la circulation de l'air, qui s'alignent lorsque les caisses sont empilées les unes sur les autres, coin contre coin ;
- application de colle entre les cartons pour qu'ils ne glissent pas horizontalement ;
- banderolage par film ou filet de plastique entourant la charge palettisée de cartons ; cornières en carton rigide, en plastique ou en métal ; cerclage de plastique ou de métal autour des cornières et des cartons.

Les palettes de bois doivent être suffisamment résistantes pour permettre le stockage sur des rayonnages à trois niveaux. La manutention par élévateurs à fourche et à vérin doit être possible. Le bas de la palette doit être conçu de façon à permettre la circulation de l'air.

Les palettes doivent avoir un plancher supérieur constitué de suffisamment de lattes pour supporter les cartons, faute de quoi les cartons peuvent s'affaisser entre les lattes du plancher supérieur sous le poids des autres emballages, écraser le produit et faire pencher tout le chargement ou le faire tomber de la palette. Une plaque de carton perforée laissant circuler l'air peut être utilisée pour répartir l'air sur toute la surface de la palette.

Les cartons ne doivent pas dépasser les bords des palettes. Le surplomb peut réduire d'un tiers la résistance des caisses de carton. Il peut aussi entraîner l'écroulement de tout le chargement, l'écrasement du produit et rendre difficile le chargement, le déchargement et le stockage sur les rayonnages. Par ailleurs, les cartons qui utilisent moins de 90% de la surface de la palette et ne sont pas alignés sur le bord de celle-ci peuvent glisser ou bouger pendant le transport.

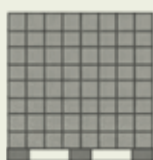
Les chargements palettisés d'emballages d'expédition qui ne sont pas cerclés ou enfermés dans des filets doivent avoir au moins les trois couches supérieures des emballages empilées dans les deux sens pour en assurer la stabilité. Certains chargeurs utilisent un film de plastique, du ruban adhésif ou de la colle sur les couches supérieures, outre l'empilage, dans les deux sens. Les emballages doivent être suffisamment résistants pour être empilés dans les deux sens sans s'affaisser. Les produits qui ont besoin d'aération et qui sont placés dans des emballages d'expédition ne doivent pas être enveloppés dans un film de plastique.

Certains chargeurs utilisent les panneaux parce qu'ils coûtent moins cher que les palettes. En outre, ils éliminent les frais de transport et de retour des palettes. Un chariot élévateur spécial à fourche est nécessaire pour déplacer les chargements posés sur panneaux des palettes et vers les palettes au centre de distribution du chargeur et du réceptionnaire. Si un réceptionnaire ne dispose pas du matériel de manutention approprié, les colis sont déchargés manuellement sur les palettes pour être entreposés. Les emballages d'expédition sur panneaux sont empilés dans les deux sens, enveloppés d'une feuille de plastique ou regroupés autrement par unité de charge à l'aide de cornières et de cerclages.

Les panneaux de carton ou de matière plastique doivent être suffisamment résistants pour être saisis et placés sur les bras de fourche de l'élévateur ou sur un plateau pour être levés à pleine charge. Les panneaux de carton doivent être imperméabilisés s'ils sont utilisés en conditions humides. Les panneaux utilisés dans le matériel de transport doivent avoir des perforations pour permettre la circulation de l'air sous le chargement. L'utilisation de panneaux avec du matériel de transport frigorifique dont le plancher a des cannelures peu profondes n'est pas recommandée, car la circulation de l'air n'est pas suffisante.

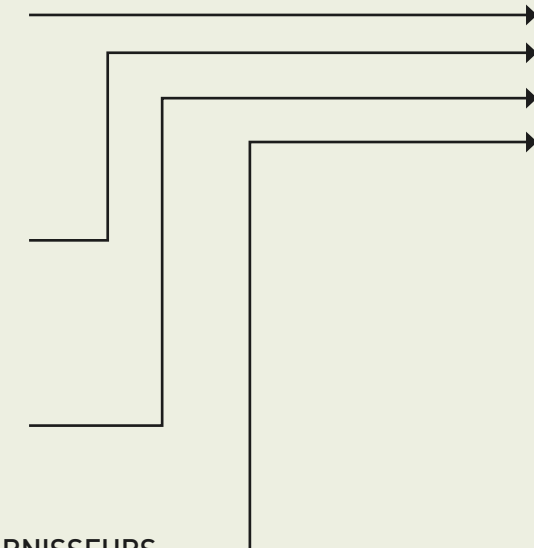
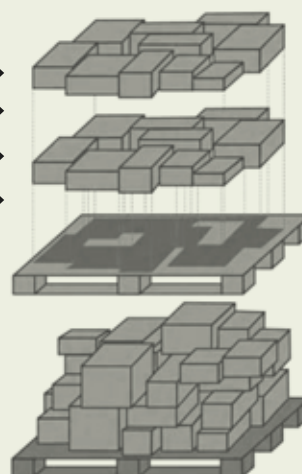
TAILLES D'EMBALLAGE NON MODULAIRES

UNITÉ DE CHARGE AVEC EMBALLAGE
SECONDAIRE NON MODULAIRES

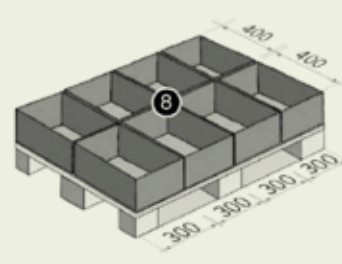
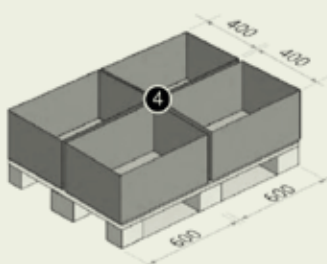
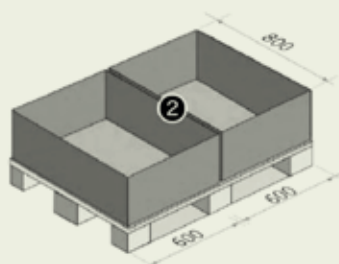


AUTRES FOURNISSEURS

UNITÉS DE CHARGE
INEFFICACES



DIMENSION D'EMBALLAGE MODULAIRE



Exemples d'unités de charges efficaces et inefficaces

9.7. LE MARQUAGE DES PRODUITS

9.7.1. Le marquage des fruits et légumes frais

Le marquage est un pré-requis de la traçabilité. Mais « marquer » n'est pas « tracer ». Apposer une marque sur un produit **facilite son identification** et **contribue à la fiabilité** et au systématisme de la traçabilité, en *tracing* ou en *tracking*.

En revanche, si la traçabilité implique plusieurs entreprises au long de la chaîne industrielle et logistique, cette marque ne sera utile que si elle est exploitable par les autres entreprises concernées : d'où l'intérêt d'utiliser des « marques » ou « codes » qui sont lisibles et utilisables par tous les opérateurs dans une filière (*cf. infra*).

Le marquage doit :

- être réalisé avec un dispositif que les autres entreprises peuvent utiliser ;
- renvoyer à une codification compréhensible par ces entreprises (emploi de standards) : lire la marque sans la comprendre n'a pas grand intérêt ;
- être adaptée et visible : une marque inaccessible ou cachée ne sert à rien.

Marquer des produits implique d'avoir défini au préalable le niveau pertinent auquel il faut marquer. Marquer au niveau unitaire peut être sans intérêt (et donc constituer un coût inutile) si le **marquage au niveau des lots** ou des **unités logistiques** est suffisant.

La réponse dépend de l'utilisation du produit en aval et des besoins d'identification qui se présenteront durant sa durée de vie.

9.7.2. Informations véhiculées par les produits

Les indications qui sont véhiculées par une entité sont des informations de traçabilité **isolées**, et donc incomplètes et peu intéressantes en soi.

Parmi les informations de traçabilité, il convient de distinguer :

- les **informations** légales (DLC ou date limite de consommation...);
- les **mentions légales** sur l'emballage ;
- les **formats de marquage** (ex. : EAN 128, un identifiant produit très répandu⁵⁷).

Si on trace à un **niveau unitaire**, on trouvera :

- un identifiant du produit ;
- un numéro de série unitaire.

57 L'EAN est en fait la combinaison d'un code et d'un symbole standardisés.

Si on trace à un niveau agrégé (**lot de produit**), on trouvera :

- un identifiant du produit ;
- un numéro de lot (lot logistique ou lot de production) qui peut s'exprimer de plusieurs manières :
 - numéro séquentiel incrémental (dont le SSCC ou *Serial Shipping Container Code*⁵⁸ pour le lot logistique) ;
 - information chronométrique (date et heure).

Les indications d'identification doivent toujours être **en clair** et **visibles**.

Chacun des lots de produits alimentaires, mis sur le marché, doit pouvoir être identifié de manière univoque. En cas de crise, si un retrait ou un rappel doit être organisé, l'identification doit permettre au fournisseur, au client et à l'autorité compétente de retrouver sans erreur le ou les lots concernés et leur origine.



Conformément à la **norme du Codex Alimentarius**⁵⁹, chaque emballage doit au moins porter les renseignements ci-après, imprimés d'un même côté, en caractères lisibles, indélébiles et visibles de l'extérieur :

Identification

- exportateur, emballer et/ou expéditeur (et numéro d'enregistrement national),
- numéro de lot.

Nature du produit

- nom du produit, si le contenu n'est pas visible de l'extérieur,
- nom de la variété ou du type commercial (le cas échéant).

Origine du produit

- pays d'origine et, à titre facultatif, zone de provenance ou appellation nationale, régionale ou locale.

Caractéristiques commerciales

- catégorie,
- calibre (lettre de référence ou échelle de poids),
- nombre d'unités (facultatif),
- poids net (facultatif).

Cachet officiel d'inspection (facultatif)

58 Numéro qui identifie de manière univoque les marchandises sur lesquelles il est apposé, de l'exportateur jusqu'au client final. Grâce au SSCC, on peut suivre les mouvements du produit dans la chaîne d'approvisionnement et de créer le lien vers l'information correspondante (ex. : données qui ont été enregistrées auparavant dans les registres du producteur).

59 CAC/GL 60-2006, *Principes applicables à la traçabilité/au traçage des produits en tant qu'outil d'un système d'inspection et de certification des denrées alimentaires*.

Ces renseignements peuvent également figurer dans les documents d'accompagnement. En outre, certains lots de végétaux ou de produits végétaux potentiellement porteurs d'organismes nuisibles et destinés au marché européen doivent être accompagnés d'un certificat phytosanitaire

9.7.3. Normes de commercialisation

De nombreux fruits et légumes disposent de normes de commercialisation. Par ailleurs, d'autres exigences de marquage peuvent s'ajouter, en lien avec les accords professionnels. Ces exigences sont précisées au cas par cas (voir tableaux).

Tableau : Illustration des normes applicables aux fruits et légumes

Fruits et légumes (F&L) et Organisations communes des marchés		Espèces de fruit ou légume commercialisées	Norme de commercialisation (Norme obligatoire/norme facultative)
OCM des « produits agricoles »	OCM « Fruits et légumes »	Citron/clémentines-mandarines et hybrides/fraise/kiwi/orange/pêche-nectarine/pomme/poire/poivron doux/raisin de table/salade (laitues, chicorées frisées et scaroles)/tomate	Norme spécifique du produit
		La plupart des autres fruits et légumes	Norme générale ou Norme CEE-ONU (si existe) ou Norme <i>Codex</i> (si elle existe)
	OCM « Autres produits »	Piment, noix de coco, gingembre, arachides ...	Pas de norme.
	OCM « Banane verte »	Banane verte non murie (Cavendish et Gros Michel)	Norme banane verte

9.7.4. Les mentions légales du marquage des fruits et légumes

9.7.4.1. Identification

Les nom et adresse de l'emballleur ou de l'expéditeur sont obligatoires sur les emballages aux stades expédition et de gros (p. ex. : rue/ville/région/code postal et pays, s'il est différent du pays d'origine du produit). Le nom du pays d'origine est le nom du pays dans lequel le fruit ou le légume a été cultivé et récolté.

Toutefois, cette mention peut être remplacée lorsqu'il s'agit :

- de fruits et de légumes pré-emballés : par le code d'identification de l'emballleur et/ou de l'expéditeur, délivré ou reconnu par un service officiel et associé à la mention « emballleur et/ou expéditeur » (ou à une abréviation équivalente) ; le code d'identification est précédé du code ISO 3166 (alpha) pays/zone du pays de reconnaissance si ce n'est pas le pays d'origine ;
- pour les pré-emballages uniquement : par le nom et l'adresse d'un vendeur établi à l'intérieur de l'UE, associés à la mention « emballé pour » ou à une mention équivalente. Dans ce cas, l'étiquetage doit également comprendre un code correspondant à l'emballleur et/ou à l'expéditeur. Le vendeur fournit toute information jugée nécessaire par l'organisme de contrôle sur la signification de ce code.

Le **nom complet du pays d'origine** doit apparaître sur :

- les emballages (colis, pré-emballés...),
- le pancartage en point de vente,
- les tracts et affiches publicitaires,
- les sites marchands.

Toute précision sur la région, la zone de production... peut être ajoutée, en complément.

9.7.4.2. Nature du produit

La « nature » du produit regroupe plusieurs mentions, en particulier le **nom commun de l'espèce** (ex. : mangue, pêches, nectarines, banane...). Au stade de la première mise en marché (expédition/gros), cette mention s'impose réglementairement « si le contenu n'est pas visible de l'extérieur ».

Certaines normes imposent des mentions en plus du nom de l'espèce. Citons les suivantes.

Le nom de la variété : imposé par certaines normes spécifiques (ex. : pommes, poire...) ou normes CEE-ONU, il est facultatif pour d'autres produits (pêche, kiwi, fraise, tomate...). Par exemple, pour les mangues, si le produit est visible de l'extérieur, il serait possible d'indiquer uniquement le nom de la variété : par exemple « Kent », sans préciser « mangue ». Toutefois, l'application donne la mention : « mangue » et « nom de la variété ». Dans le cas d'un mélange de mangues de diverses variétés, il faut préciser le nom de ces variétés. Le nom de la variété peut être remplacé par un synonyme. Une dénomination commerciale (une marque dont la protection a été demandée ou obtenue, ou toute autre dénomination commerciale) ne peut être donnée qu'en plus du nom de la variété ou d'un synonyme. Dans le cas de mutants

bénéficiant d'une protection variétale, le nom de cette variété peut remplacer le nom de base de la variété. Dans le cas de mutants sans protection variétale, leur nom ne peut être indiqué qu'en plus du nom de base de la variété.

Le nom du type commercial: imposé par certaines normes spécifiques ou normes CEE-ONU, ou parfois, seulement «si le contenu n'est pas visible de l'extérieur» (ex.: la norme tomate distingue plusieurs types commerciaux: «rondes», «oblongues», «à côtes»...).

D'autres mentions sont imposées par certaines normes spécifiques ou CEE-ONU, par exemple :

- la couleur de la chair pour la pêche-nectarine,
- la mention «coupés» ou «non coupés» pour le champignon de couche,
- la mention «cultivée sous abri» pour la salade, si c'est le cas...

9.7.4.3. Marquage relatif de la catégorie de qualité

Bien que certaines mentions telles que la nature du produit, le pays d'origine et le prix au poids ou à la pièce soient obligatoires pour la vente au détail des fruits et légumes, la mention d'une catégorie (Extra, ou I, ou II) n'est obligatoire que pour certains produits soumis à une norme spécifique, la pomme de terre, par exemple.

Pour la majorité des fruits et légumes non soumis à la norme spécifique, la réglementation **n'impose pas de mentionner la catégorie de qualité**. Ils sont soumis à la norme dite «générale». Dans ce cas, la réglementation européenne donne le choix à l'opérateur d'appliquer la norme générale, ou la norme CEE-ONU du produit en question, si cette norme existe. En l'absence de norme CEE-ONU, si une norme *Codex* existe pour le produit, elle peut aussi être appliquée.

9.7.4.4. Marquage du calibre des fruits et légumes

Le marquage du calibre est précisé dans les textes des différentes normes de commercialisation. La «norme générale» n'impose aucune exigence de calibre.

Les normes de commercialisation précisent, par produit, les dispositions concernant le calibrage :

- la détermination du calibre, c'est-à-dire comment est mesuré le calibre pour le produit,
- le calibre minimum (s'il existe),
- les «codes calibre» utilisés (s'ils existent),
- les fourchettes de calibre imposant l'homogénéité dans un même emballage...

Aux stades expédition et gros, sur les étiquettes des emballages, la mention du calibre peut éventuellement être précédée des termes «calibre» ou «cal». L'indication de l'unité de mesure utilisée pour exprimer le calibre (mm, cm, g...) est vivement recommandée (car elle facilite les échanges entre professionnels et le contrôle du calibre à l'agrèage)

9.7.4.5. *Traitement post-récolte*

Des normes de commercialisation imposent le marquage du traitement après-récolte (ou post-récolte. C'est le cas de la norme spécifique agrumes (pour les oranges, citrons, clémentines, mandarines et hybrides).

Si un tel traitement a été effectué, la mention des agents conservateurs ou de toute autre substance chimique utilisée doit apparaître sur les étiquettes des emballages (colis, filets...). Certaines cires, autorisées sur agrumes et constituant des traitements post-récolte, doivent être mentionnées :

- en toutes lettres : cire de carnauba, cire Shellac...
- et/ou avec le numéro E : E 903, E 904, respectivement...

La Commission européenne a rendu obligatoire au stade du détail la mention de l'usage en traitement post-récolte d'agents conservateurs (information de début 2020).

9.7.4.6. *Marquage du poids net des produits pré-emballés*

La mention du poids net est obligatoire sur les fruits et légumes présentés pré-emballés. Le poids net est exprimé en grammes (g) ou en kilogrammes (kg). Il est possible de remplacer le poids net par un nombre de pièces (sauf pour les fruits et légumes de petite taille ou quand le nombre de pièces est important – plus de 5 ou 6) (ex. : filet de 4 citrons...).

9.7.4.7. *Marquage du numéro de lot des fruits et légumes*

La mention du numéro de lot est obligatoire sur l'étiquette des fruits et légumes présentés pré-emballés. Elle peut être remplacée par une date (ex. : date de conditionnement...). Pour les produits présentés non pré-emballés (ex. : colis vrac ou lité), le numéro de lot figure sur les emballages, ou – à défaut – sur les documents commerciaux.

9.7.4.8. *Autres mentions relatives au marquage des fruits et légumes*

Allégations nutritionnelles

Les allégations nutritionnelles quantitatives sont les suivantes : allégé en, source de vitamines, minéraux, riche en vitamines, minéraux, contient naturellement des vitamines, naturellement riche en vitamines, sans sucre, sans sucre ajouté, source de fibres, source de protéines, à teneur garantie en magnésium...

L'obligation de déclaration nutritionnelle (valeur énergétique, quantité de glucides, de sucres...) **ne concerne pas les fruits et légumes non transformés**. Les fruits et légumes frais, intacts, (dits « première gamme ») et les produits secs (ail, oignon, échalote, noix sèches, noisettes...) ayant subi une dessiccation superficielle ne sont donc pas soumis à la déclaration nutritionnelle

En revanche, les produits séchés (abricots, dattes, pruneaux, raisins...) **ont subi une transformation à cœur et sont donc soumis à l'obligation de déclaration nutritionnelle**.

Les fruits et légumes sommairement préparés (1^{re} gamme) ou ceux prêts à l'emploi (4^e gamme) ne sont pas non plus soumis à la déclaration nutritionnelle.

Tout ajout d'assaisonnement, de sucre... impose la déclaration nutritionnelle. Les jus de fruits frais sont considérés comme produits transformés, donc soumis à déclaration nutritionnelle, sauf s'ils sont préparés en vue de la vente immédiate. Dans ce dernier cas, la déclaration nutritionnelle ne s'impose pas.

Allégations de santé

Les allégations sont des mentions qui affirment ou suggèrent qu'un aliment possède des caractéristiques particulières liées à des critères. Les allégations générales sont l'origine, la nature, la composition, les propriétés nutritionnelles d'un produit (ex. : nature, frais, nouveau, pur, maison, artisanal, à l'ancienne, traditionnel, fermier, sans colorant, sans additif).

L'allégation de santé est un message qui affirme, suggère ou implique l'existence d'une relation entre une denrée alimentaire (ou un de ses composants) et la santé. La réglementation distingue trois types d'allégations de santé :

- les allégations liées à la réduction d'une maladie,
- les allégations relatives au développement et la santé des enfants,
- les autres allégations portent essentiellement sur les vitamines et minéraux.

9.7.5. Les codes de traçabilité

Les emballages doivent aussi permettre l'**identification** : elle consiste à récupérer des informations sur le produit, à des moments précis de son parcours dans le processus de production, de conditionnement et de commercialisation. Elle **combine cinq éléments** : un objet (l'entité), un lieu, un moment, un contexte et une opération.

La **traçabilité, nécessaire et obligatoire** dans la chaîne alimentaire, est, par nature, un sujet propice à l'emploi de standards ou « codes », car elle déborde de l'entreprise en amont et aval. Inventer ses propres règles est une perte de temps : il faudra nécessairement à un moment donné assurer la cohérence avec un standard. L'exemple typique est le **code EAN**, qui identifie les produits de consommation courante. Ce code est apposé par le fabricant et est lu indifféremment par tous les magasins qui vont le commercialiser.

L'emploi des standards présente **quatre avantages**.

1. Les standards sont un langage commun à un secteur : **les utiliser renforce l'intégration à ce secteur**, et dans le temps assure la capacité d'engager une relation avec d'autres partenaires du secteur.
2. Les standards sont nés de la concertation et s'apparentent aux bonnes pratiques. Les utiliser, c'est gagner en expertise.
3. Les standards sont conçus pour couvrir tous les cas de figure. Utiliser les standards c'est gagner en fiabilité.
4. La plupart des solutions et des outils disponibles sont conformes aux standards. Les utiliser, c'est gagner du temps et des ressources.

Des standards existent dans tous les secteurs et peuvent prendre plusieurs formes.

Citons notamment :

- le GS1/EAN UCC **pour les produits de grande consommation**⁶⁰ ;
- le GLN (*Global Location Number*) : pour identifier la **destination** ;
- le SSCC (*Serial Shipping Container Code*) pour **identifier le colis** ;
- le GTIN (*Global Trade Item Number*) pour **identifier le produit** (unités de vente consommateur) ;
- le code CIP 13 pour les médicaments ;
- le code Galia pour l'automobile ;
- ...

9.7.5.1. Le GLN (*Global Location Number*), code lieux-fonctions international

C'est une codification internationale unique à 13 chiffres, utilisée pour désigner un emplacement. Elle peut-être :

- **une personne morale** : société, filiale ...
- **une entité fonctionnelle** : service comptabilité, entrepôt ...
- **une entité physique** : pièce, chambre d'hôpital, travée de stockage ...

« 301 » ou « 302 »	Code national fournisseur ou distributeur	Code interne	Clef de contrôle
3 chiffres	5 à 8 chiffres	4 à 1 chiffre	1 chiffre

9.7.5.2. Le GTIN (*Global Trade Item Number*)

C'est une codification internationale unique à 13 chiffres, utilisée pour désigner un produit à l'unité, susceptible d'être acheté par le consommateur final. Il constitue donc l'élargissement du code EAN-13.

De manière générale, un numéro, international et unique, est attribué à chaque unité commerciale (par exemple, une barquette sous film contenant une grappe de tomates destinée à un point de vente) ou à un regroupement standard d'unités commerciales (par exemple, une palette regroupant plusieurs bacs de tomates, transférée du site de stockage vers le magasin de détail). Ce numéro est le **GTIN**

⁶⁰ Auparavant, les industriels et les distributeurs européens utilisaient les normes EAN (*European Article Numbering*), les Nord-américains les normes de l'UCC (*Uniform Code Council*). La GCI (*Global Commerce Initiative*) est une structure de travail créée en 1999 par des industriels et les distributeurs (Auchan, Carrefour, Tesco...) et des fabricants (Nestlé, Coca-Cola, Procter & Gamble, Johnson & Johnson...) afin de faciliter l'intégration de la chaîne d'approvisionnement et de simplifier les processus commerciaux. Elle s'applique notamment à faire converger les standards de codification actuels. Par exemple, les projets de la GCI comprennent l'appui des GLN (*Global Location Numbers*) et des GTIN (*Global Trade Item Numbers*). Elle a lancé le GSMP (*Global Standard Maintenance Process*) en janvier 2002. Enfin l'EAN (*European Article Numbering*) et l'UCC (*Uniform Code Council*) se sont associés et des nouveaux standards sont élaborés sous le système mondial de **standards EAN-UCC**.

(*Global Trade Item Number*). Le GTIN ne contient aucune information concernant le produit ; il s'agit simplement d'une clé unique permettant d'accéder à davantage d'information dans des bases de données. Quatre structures de numérotation GTIN sont disponibles pour l'identification des unités commerciales : GTIN-14, GTIN-13, GTIN-12 et GTIN-8. Le choix de la structure de numérotation dépend du type de produit et de l'application.

EXEMPLE D'UTILISATION D'UN GTIN-13



5412345 : préfixe d'entreprise GS1 (dans cet exemple, attribué par GS1 Belgique et Luxembourg)

00001 : numéro d'article attribué par l'entreprise

3 : clef de contrôle

Il existe aujourd'hui des codes **GTIN+** (soit le code GTIN + le numéro de lot, ou la date de péremption (BBD, *Best Before Date*), ou encore la date de production (PD, *Production Date*) et **SGTIN** (GTIN avec un numéro de série permettant d'identifier un objet).

9.7.5.3. Le SSCC (*Serial Shipping Container Code*)

Le SSCC est un numéro GS1 à 18 chiffres qui identifie de manière univoque l'unité logistique sur laquelle il est apposé. Il est utilisé en logistique **pour numérotter les colis** (ex. : les palettes). Par exemple, trois articles identiques expédiés dans trois colis différents auront le même code article EAN-13, mais des codes SSCC différents. Chaque numéro SSCC est différent dans le monde entier.

Libre	Pays	Code fabricant	Numéro séquentiel	Clef de contrôle
1 chiffre	1 chiffre	5 à 8 chiffres	10 à 7 chiffres	1 chiffre

En combinaison avec le *despatch advice* (avis de réception) EDI, le SSCC permet une réception des marchandises rapide et correcte. De plus, l'ensemble des données liées à l'unité logistique, c'est-à-dire le numéro d'agrément, le(s) GTIN(s), la date d'emballage..., peut être échangé par moyen d'EDI où le SSCC sert de référence. Le SSCC est donc l'instrument de traçabilité par excellence.

LE SSCC EST MARQUÉ SUR L'UNITÉ LOGISTIQUE
AU MOYEN DE LA SYMBOLISATION UCC/EAN-128



(00)154123456000012345

00 : *Application Identifier* (AI), qui introduit le SSCC

1 : extension du numéro de série (peut varier de 0 à 9)

54123456 : préfixe d'entreprise (dans hypothèse d'un préfixe à 8 positions)

00001234 : numéro de série

5 : chiffre de contrôle

9.7.5.4. Les codes à barres (ou codes-barres)

Les codes à barres véhiculent des informations. Ils servent à encoder les données pertinentes relatives à un produit ou un service à chaque stade de la chaîne d'approvisionnement.

Les identifications logiques (lieux, produits, colis) sont le plus souvent imprimées et lues à l'aide de codes-barres. L'usage du code-barre est bien entendu soumis à des exigences physiques (taille et forme du support, couleur de fond...).

En fonction de ces exigences ainsi que du nombre de caractères à figurer, plusieurs normes coexistent :

- **EAN-8** et **EAN-13** : 8 ou 13 chiffres (inscrits sous les barres en clair), employé essentiellement pour les produits de consommation ;
- **ITF 14** : 14 chiffres, plus gros et plus lisibles ; ces informations sont utilisées essentiellement en logistique sur les conditionnements (cartons, palettes...) ;
- **UCC / EAN 128** : nouvelle norme permettant de représenter une chaîne de caractères alphanumériques de longueur variable.

Quand il s'avère nécessaire d'ajouter des informations supplémentaires concernant le produit, par exemple, le numéro de lot, le poids ou la date d'emballage dans la filière des fruits et légumes, il est possible d'utiliser la symbolisation **UCC/EAN-128** pour encoder des données supplémentaires, en plus de l'identification du produit (GTIN). Il peut s'agir, par exemple, de la date de palettisation, du numéro d'agrément national de l'opérateur et du poids net.

Les *Application Identifiers* (AI) GS1 doivent être obligatoirement intégrés dans les codes à barres UCC/EAN-128. Ils déterminent la structure des données codées dans les éléments de données qu'ils introduisent.



Application Identifier (AI) (01) est le GTIN

Application Identifier (AI) (13) est la date d'emballage, ici le 7 octobre 2002

Application Identifier (AI) (7030) est le numéro d'agrément national du producteur

9.7.5.5. Le Code QR (*Quick Response Code*)



Le **code QR** (ou *QR Code* en anglais) est un code-barres en deux dimensions (ou **code à matrice**) constitué de modules noirs disposés dans un carré à fond blanc.

Le nom QR est l'acronyme de l'anglais *Quick Response*, car son contenu de donnée peut être décodé rapidement. Destiné à être lu par un lecteur de code QR, un téléphone mobile, ou un smartphone, il a l'avantage de pouvoir stocker plus d'informations qu'un code à barres.

Les QR peuvent stocker jusqu'à 7089 caractères numériques, 4296 caractères alphanumériques, bien au-delà de la capacité du code-barres.

On les retrouve sur beaucoup de supports différents : il suffit de les scanner avec le mode photo de son téléphone portable et de les envoyer pour obtenir directement une série d'informations (composition, origine, numéro de lot, date de fabrication...). Malgré son coût, des applications commencent à se généraliser sur certains produits alimentaires (ex. : huiles d'olive en Italie).



Abréviations et acronymes

ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

ACP	Afrique – Caraïbe – Pacifique (pays du Groupe des ACP, ayant signé une série d'accords particuliers avec l'UE appelé « accords de Cotonou »)
ACV	Analyse du Cycle de Vie
BPA	Bonnes Pratiques Agricoles (ensemble des conditions d'application qui doivent être définies : dose, volume, formulation, technique, DAR)
BPL	Bonnes Pratiques de Laboratoire
BPP	Bonnes Pratiques Phytosanitaires (ensemble de consignes à respecter pour éviter la contamination de l'opérateur, de l'environnement et les résidus)
BPH	Bonnes Pratiques d'Hygiène
CCP	Points critiques pour la maîtrise (dans la méthode HACCP)
CIPV	Convention Internationale pour la Protection des Végétaux
DAR	Délai avant récolte (nombre de jours à respecter avant la récolte)
DJA	Dose journalière acceptable (en mg/kg pc/jour)
FAO	Food and Agriculture Organisation : organisation des Nations Unies chargée de traiter des problèmes d'alimentation dans le Monde
FLO	Fairtrade Labelling Organizations International (FLO) est une association de 20 initiatives de labellisation équitables situées dans plus de 21 pays
HACCP	Système qui définit, évalue et maîtrise les dangers qui menacent la salubrité des aliments (analyse des dangers et points critiques pour la maîtrise)
IPM	Integrated Pest Management ou Lutte intégrée contre les parasites (LIP)
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives
LMR	Limite Maximale applicable aux Résidus
LM	Limite Maximale applicable à certains contaminants chimiques

LOQ	Limite de quantification (aussi LD : limite de détermination)
NVP	Norme Volontaire Privée
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economique
OCI	Organisme de Certification Indépendant
OEPP	Organisation Européenne de Protection des Plantes (ou EPPO en anglais)
OGM	Organisme Génétiquement Modifié
OILB	Organisation Internationale de Lutte Biologique
OMC	Organisation Mondiale du Commerce
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies
SMQ ou SMQS	Système de Management de la Qualité ou Système de Management de la Qualité Sanitaire
TIAC	Toxi-Infections Alimentaires Collectives
UE	Union européenne



Références bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

En matière de transformation, d'emballage, d'étiquetage et de conditionnement en général, les sources pertinentes sont nombreuses. De même, pour des aspects spécialisés sur l'hygiène, sur les microorganismes, sur les techniques de conservation, etc., avec une littérature scientifique extrêmement abondante. Beaucoup de sources ont été consultées pour rédiger ce manuel, mais les rédacteurs ont principalement puisé leurs informations dans les ouvrages suivants que le lecteur intéressé à creuser le sujet à tout intérêt à se procurer pour aller plus loin :

AFOC

Guide de conservation des fruits et légumes. 6 feuillets.

AFD (2009)

Normes de qualité pour les produits agroalimentaires en Afrique de l'Ouest. Étude réalisée par Arlène Alpha, Cécile Broutin, Gret, avec la collaboration de Joseph Hounhouigan et Victor Anihouvi, faculté des Sciences agronomiques du Bénin. 217 pages.

Croix-Bleue (1995)

Guide pour la préparation des fruits tropicaux. 71 pages.

COLEACP (2017)

Principes d'hygiène et de management de la qualité sanitaire. Bruxelles, Belgique.

COLEACP (2011)

La traçabilité. Bruxelles, Belgique.

CTA (2003)

La conservation des fruits et légumes. Série Agrodok N°3. Ed. Fondation Agromisa et CTA. 94 pages.

CTA (2008)

Conservation des légumes feuilles et des fruits. Collection Guides pratiques du CTA, N°8. 6 pages.

CTA (2011)

Le conditionnement des produits agricoles. Série Agrodok N°50. Ed. Fondation Agromisa et CTA. 78 pages.

CTA -ILO- WEP (1990)

Conservation des Fruits à Petite échelle. 244 p.

DILIGENT

Marie-Bernard (2010). Les confitures : de l'art aux techniques. Mémoires de l'Académie Nationale de Metz. pp. 171-190.

EUFIC (2020)

Des conservateurs pour prolonger la durée de vie des aliments et améliorer la sécurité. Page Web.

FAO (1992)

Prévention des pertes après récolte : fruits, légumes, racines et tubercules. Manuel de formation. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, 132 pages.

FAO (2004)

Technologies combinées de conservation des fruits et des légumes. Manuel de formation. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome, 75 pages.

INRS (2003)

Hygiène et sécurité dans le domaine de la distribution alimentaire. TJ22.Aide-mémoire juridique. 25 pages.

PAFASP-COLEACP (EDES) (2013)

Bonnes Pratiques pour le séchage des mangues au Burkina Faso.

PREUD'HOMME R. (2020)

Cours de Technologie des Industries Agro-Alimentaires. Technologie des Légumes. Haute Ecole de la Province de Liège, La Reid. 42 pages.

RIVIER Michel et al. (2009)

Le séchage des mangues. Guide pratique. Éditions Quæ, CTA.

UNIDO (2005)

Guide du sécheur de figues. US/MOR/04/A48. 27 pages.

Merci aux auteurs de ces publications !



Sites Web utiles

SITES WEB UTILES

FAO

<http://www.fao.org/home/fr/>

OMC

<https://www.wto.org/fr/>

Commission du *Codex Alimentarius*

www.codexalimentarius.org/fr/

Lise des normes alimentaires du *Codex*

<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/guidelines/fr/>

Pour accéder à des renseignements supplémentaires sur les mesures SPS, consulter le Portail SPS de l'OMC

https://www.wto.org/french/tratop_f/sps_f/sps_f.htm

Pour accéder à des renseignements supplémentaires sur les OTC, consulter le Portail OTC de l'OMC

https://www.wto.org/french/tratop_f/tbt_f/tbt_f.htm

Pour accéder au texte de l'Accord SPS de l'OMC

https://www.wto.org/french/docs_f/legal_f/15sps_01_f.htm

Pour accéder au texte de l'Accord OTC de l'OMC

https://www.wto.org/french/docs_f/legal_f/17-tbt_f.htm

Pour des renseignements au sujet de l'Atelier sur l'analyse des risques organisé en 2014 par le Comité SPS

https://www.wto.org/french/tratop_f/sps_f/wkshop_oct14_f/wkshop_oct14_f.htm

Pour rechercher des notifications OTC et des renseignements sur les préoccupations commerciales spécifiques et d'autres questions relatives aux OTC, consulter le Système de gestion des renseignements OTC

<http://tbtims.wto.org/fr/>

Pour rechercher des notifications SPS et des renseignements sur les problèmes commerciaux spécifiques et d'autres questions relatives aux mesures SPS, consulter le Système de gestion des renseignements SPS

<http://spsims.wto.org/fr/>

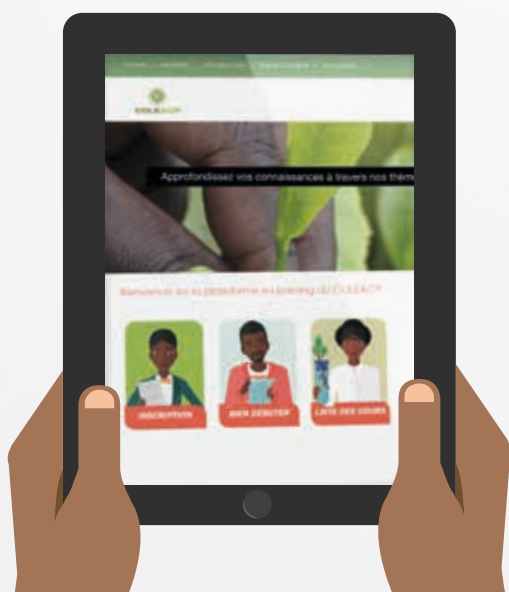
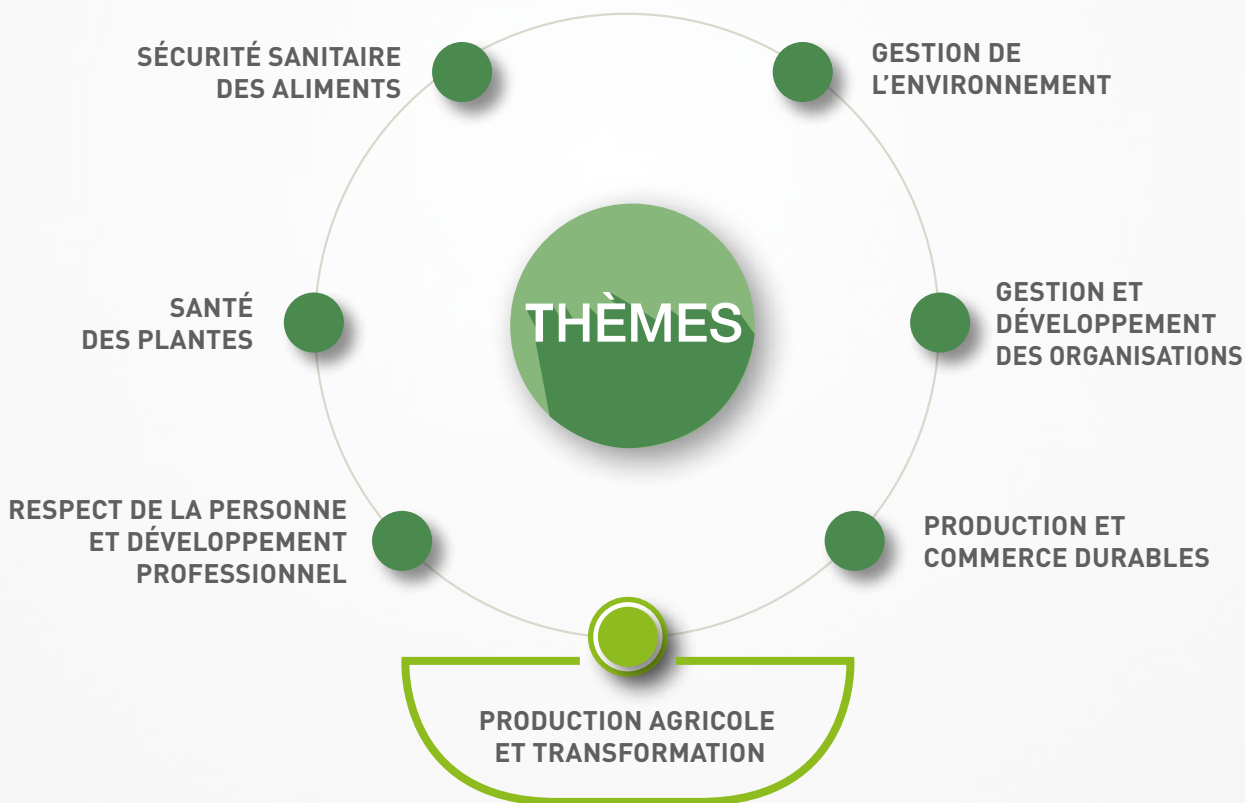
Pour recevoir des alertes électroniques concernant les notifications SPS et OTC, consulter le système ePing

<http://www.epingalert.org/fr>

PLATEFORME E-LEARNING DU COLEACP

RECEVEZ VOTRE ACCÈS À NOTRE PLATEFORME DE FORMATION À DISTANCE RÉSERVÉE AUX ACTEURS DU SECTEUR AGRICOLE DANS LES PAYS D'AFRIQUE, DES CARAÏBES ET DU PACIFIQUE.

TESTEZ ET AMÉLIOREZ VOS CONNAISSANCES À VOTRE RYTHME !



<https://training.coleacp.org>

PRODUCTION ET COMMERCE
DURABLES

SANTÉ DES PLANTES

SÉCURITÉ SANITAIRE
DES ALIMENTS

**PRODUCTION AGRICOLE
ET TRANSFORMATION**

RESPECT DE LA PERSONNE
ET DÉVELOPPEMENT
PROFESSIONNEL

GESTION DE
L'ENVIRONNEMENT

GESTION ET DÉVELOPPEMENT
DES ORGANISATIONS

MÉTHODOLOGIES
DE FORMATION

JANVIER 2021

