



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Frères Mentouri Constantine 1

Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires
(I.N.A.T.A-A)

Matériaux traditionnels d'emballage dans l'industrie agro-alimentaire

Partie de deux modules :

- *"Emballage actif et conservation des aliments"*
 - *"Conditionnement des aliments (CONALI)"*
-

Par Dr. BOUZIT Fatima Zohra

Polycopié destiné aux étudiants de :

- Première année Master spécialisés en Technologies Alimentaires
- Première année Master spécialisés en Gestion de la Qualité des Aliments

I.N.A.T.A-A

Année universitaire 2019 - 2020

Table des matières

Liste des figures	i
Liste des tableaux.....	iii

Introduction	1
---------------------------	----------

Chapitre 1 : Le papier

Introduction	3
1- Historique	3
2- Propriétés générales du papier d'emballage	3
3- Fabrication du papier	4
3-1- Matières premières	4
3-2- Elaboration de la pâte à papier	6
3-3- Usine intégré et pâte marchande	9
3-4- Transformation de la pâte en feuille de papier	9
3-5- Différents traitements de la feuille	11
3-6- Finition	12
4- Papiers utilisés en emballage alimentaire	12
4-1- Papier cristal	12
4-2- Papier cellophane	13
4-3- Papier kraft	13
4-4- Papier thermoscellable ou thermosoudable	13
4-5- Papier paraffiné	14
4-6- Papier sulfurisé	14
5- Caractéristiques du papier	15
5-1- Caractéristiques physiques et mécanique	15
5-2- Caractéristiques de texture	15
5-3- Caractéristiques optiques	16

Chapitre 2 : Le carton

1- Présentation générale	17
1-1- Définition.....	17

1-2- Principales utilisations	17
2- Historique du carton ondulé	17
3- Types de carton	17
3-1- Carton plat	17
3-2- Carton ondulé	18
4- Fabrication du carton	20
4-1- Fabrication du carton plat	20
4-2- Fabrication du carton ondulé	22
5- Avantage et inconvénients du carton	24
5-1- Avantages	24
5-2- Inconvénients	24

Chapitre 3 : Le verre

Introduction	25
1- Historique	25
2- Propriétés générales du verre d'emballage	26
3- Formation et comportement d'un verre	27
4- Principaux constituants du verre	27
4-1- Agents vitrifiant : formateurs du réseau	27
4-2- Modificateurs de réseau	28
5- Verre creux (verre d'emballage)	28
5-1- Définition	28
5-2- Composition du verre creux	29
6- Fabrication du verre creux	29
6-1- Processus verrier : les étapes	29
6-2- Formage	31
7- Traitements de surface des verres et arche de recuisson	33
8- Contrôle de qualité	34

Chapitre 4 : Le métal

Introduction	36
1- Aluminium	36
1-1- Historique	36
1-2- Propriétés de l'aluminium d'emballage	36

1-3- Production industrielle de l'aluminium	37
2- Acier	42
2-1- Historique	42
2-2- Propriétés générale de l'acier d'emballage	42
2-3- Production des matériaux	43
3- Vernis	45
3-1- Propriétés des vernis	46
3-2- Constituants de vernis	46
3-3- Types de vernis	46
Références bibliographiques	48

Liste des figures

Figure 1 : Fibres des résineux.	4
Figure 2 : Fibres des feuillus.	5
Figure 3 : Défibrage du bois.	7
Figure 4 : Schéma du procédé de fabrication des pâtes chimiques.	9
Figure 5 : Schéma d'un pulpeur.	10
Figure 6 : Passage dans la machine à papier.	11
Figure 7 : Sachet cristal.	12
Figure 8 : Sachet cellophane.	13
Figure 9 : Sac en papier Kraft.	13
Figure 10 : Papier thermoscellable.	14
Figure 11 : Papier paraffiné.	14
Figure 12 : Papier sulfurisé.	15
Figure 13 : Composition du carton ondulé.	18
Figure 14 : Différents types de carton ondulé.	19
Figure 15 : Caractéristiques des cannelures.	19
Figure 16 : Type des cannelures les plus utilisées.	20
Figure 17 : Fabrication du carton à partir de la pâte à papier.	21
Figure 18 : Fabrication du carton à partir de feuilles de papier.	22
Figure 19 : Fabrication du carton ondulé.	23
Figure 20 : Schéma d'une onduleuse.	23
Figure 21 : Variation en fonction de la température – Définition de la température de transition vitreuse.	27
Figure 22 : Différents étapes de fabrication du verre creux.	31
Figure 23 : Schéma de formation de la paraison.	31
Figure 24 : Le procédé Pressé simple.	32
Figure 25 : Le procédé soufflé-soufflé.	32
Figure 26 : Le procédé pressé-soufflé.	33
Figure 27 : Défaut critiques.	35
Figure 28 : Défaut majeurs.	35
Figure 29 : Défaut mineurs.	35
Figure 30 : Photo de la bauxite.	37
Figure 31 : Procédé de Bayer.	38

Figure 32 : Schéma de la cuve d'électrolyse.	39
Figure 33 : Schéma de la coulée semi-continue verticale.	40
Figure 34 : Schéma de la coulée continue entre cylindre.	41
Figure 35 : Fabrication de la fonte.	43
Figure 36 : Filière électrique.	44

Liste des tableaux

Tableau 1 : Couleur de verre obtenue selon l'oxyde métallique introduit.	28
--	----

Introduction

Introduction

Depuis le début des temps, l'homme a toujours cherché à réaliser des récipients à usage alimentaire afin de préserver les aliments et de contrôler leurs détériorations. Les emballages préhistoriques étaient d'origine naturelle telle que les matériaux végétaux (feuilles,alebasse et bois), les peaux des animaux et la poterie. Des récipients en verre ont apparus à partir de 1500 avant J.C. De nos jours, avec les développements scientifiques et les avancées technologiques, il est possible de trouver une grande variété de moyens de conservation ainsi que de types d'emballages pour des denrées alimentaires.

Les plus simples matériaux d'emballage des aliments peuvent inclure le papier, le carton, le verre, le plastique et encore les métaux. Ces matériaux peuvent prolonger la durée de conservation, améliorer la qualité et la sécurité, réduire le gaspillage et promouvoir une large disponibilité de produits alimentaires.

Dans l'industrie agro-alimentaire, les emballages en verre et en métal sont souvent utilisés pour des boissons. Auparavant, ils figuraient parmi les plus utilisés dans l'industrie alimentaire avec l'inconvénient d'être chers et lourds à transporter. Par leur légèreté et leur flexibilité, le papier, le carton et le plastique ont gagnés beaucoup de terrain dans le secteur d'emballage.

La détermination des caractéristiques des matériaux d'emballage utilisés en fonction du produit et de sa distribution ainsi que la maîtrise de la technique de fabrication ont permis l'obtention d'un emballage alimentaire compatible avec la nature du produit, sa forme physique, sa protection et sa dégradation causée par différentes causes biologiques ou chimiques.

Cet ouvrage pédagogique, intitulé '*Matériaux traditionnels d'emballage dans l'industrie agro-alimentaire*', est destiné, en général, aux étudiants dont la formation nécessite la connaissance des différents matériaux utilisés dans le secteur d'emballage alimentaire et représente une partie des deux modules '**Emballage actif et conservation des aliments**' et '**Conditionnement des aliments (CONALI)**'. Il est destiné aussi, en particulier, aux étudiants de première année Master '**Technologies alimentaires**' et '**Gestion de la Qualité des Aliments**'. Il est composé de quatre chapitres : Le papier, Le carton, Le verre et Le métal et il a pour objectifs :

- Identifier les différents types des matériaux utilisés dans le secteur d'emballage alimentaire ;
- Désigner les différentes propriétés des matériaux utilisés dans le secteur d'emballage alimentaire ;
- Donner les différentes matières premières qui entrent dans la fabrication des différents matériaux utilisés dans le secteur d'emballage alimentaire ;
- Décrire les techniques de fabrication des matériaux utilisés dans le secteur d'emballage alimentaire.

Chapitre 1

Le papier

Introduction

Le papier est une matière présentée sous forme de feuilles minces et sèches dont il n'existe pas d'état naturel. Il est composé essentiellement de fibres ou éléments de fibres d'origine végétale fondamentalement de la cellulose. Son importance est grande dans le secteur de l'emballage, surtout pour l'alimentaire non liquide.

1- Historique

- ✓ Les premiers signes ont été écrits par l'Homme des cavernes sur la pierre ou sur l'os, puis sur le bois, le métal et l'argile.
- ✓ **An 3000 av. JC** : Avec les Egyptiens apparaît le papyrus, extrait d'un roseau du Nil. Le papyrus fut concurrencé par le parchemin à partir de peaux de veau et de chèvre lavées et poncées.
- ✓ **An 105 ap. JC** : Découverte du papier en Chine, par Tsai-Lun.
- ✓ **13^{ème} siècle** : Apparaissent en France les premiers documents d'archives écrits sur papier.
- ✓ **1445** : Gutenberg invente l'imprimerie.
- ✓ **18 janvier 1799** : Invention de la première machine à papier en continu par Louis-Nicolas Robert.
- ✓ **1803** : Didot Saint Léger, Bryan Donkin et les frères Fourdrinier font fonctionner la première machine à papier anglaise.
- ✓ **1825** : En Europe et aux Etats-Unis, débute l'industrialisation massive de la fabrication du papier.
- ✓ **1857** : Aux États-Unis, Joseph Gayetty est le premier à fabriquer industriellement le papier-toilette.
- ✓ **1880** : fabrication des premiers sacs en papier en France.

2- Propriétés générales du papier d'emballage

- Matériaux fibreux, chaque fibre étant composée de plusieurs centaines de micro fibrilles, regroupant quelques centaines de molécules de cellulose ;
- Légèreté et bonne résistance au pliage ;
- Souplesse et rigidité selon la composition ;
- Opacité et bonne imprimabilité ;
- Sensibilité à l'humidité et perméabilité aux gaz, aux vapeurs et aux liquides ;
- Récupération facile de l'emballage (recyclable) ;

- Biodégradabilité et facilité au déchirement.

3- Fabrication du papier

3-1- Matières premières

a- Bois

Le bois constitue la principale source de la matière première fibreuse vierge dans la fabrication du papier. La filière bois-forêt repose sur trois secteurs principaux :

- **Le bois d'œuvre** : qui regroupe les activités liées à la transformation mécanique du bois (ameublement, construction, menuiserie, fabrication d'emballage ...) ;
- **Le bois d'industrie** : qui concerne essentiellement les industries de la trituration (pâte à papier et panneaux de process) ;
- **Le bois-énergie** : qui comprend le bois en bûches à usage domestique et le bois déchiqueté utilisé dans des chaufferies à alimentation automatique.

✓ Fibres du bois

- Chez les **résineux** (arbres puissants), les fibres appelées alors **trachéides** (Fig. 1.), longues (de 2 à 4 mm), donnent de bonnes caractéristiques mécaniques à la pâte. On utilise essentiellement le pin, le sapin et l'épicéa.

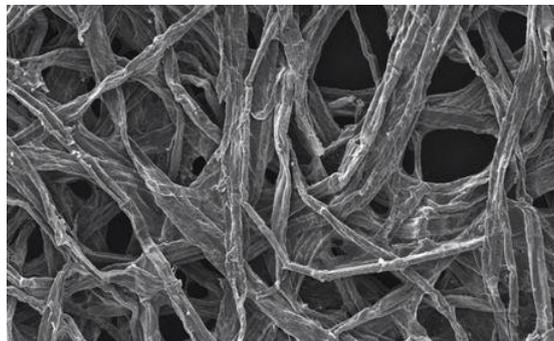


Figure 1 : Fibres des résineux.

- Chez les **feuillus**, les fibres sont plus courtes (1 mm) que les trachéides (Fig. 2.). Les fibres de feuillus vont donner au papier les propriétés optiques comme l'opacité et l'imprimabilité. La papeterie utilise le bouleau, le hêtre, le tremble, le charme et l'eucalyptus.

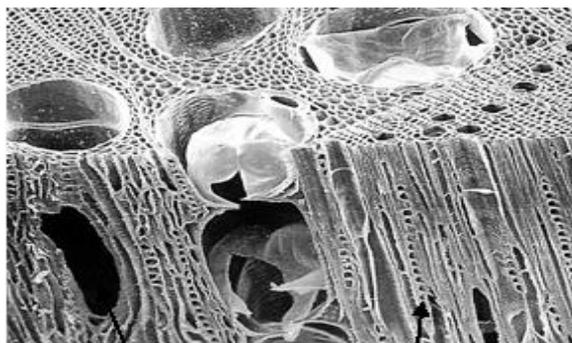


Figure 2 : Fibres des feuillus.

✓ Composition chimique du bois

Le bois possède de multiples composants, dont certains sont de hauts polymères. Les constituants principaux sont :

- **Les hydrates de carbone (60 à 80 % du bois)** : la cellulose et les hémicelluloses (hexoses, pentoses...).
- **Les substances phénoliques (20 à 30 %)** : les lignines, les tanins, les substances colorées,...

Les constituants restants sont des cires, graisses, substances minérales, protéiques ou peptiques présentes en faible quantité.

b- Fibre recyclée, la FCR

Les vieux papiers et cartons récupérés sous l'appellation FCR (Fibre Cellulosiques de Récupération) sont principalement destinés aux industries papetières et cartonnères qui les réutilisent en remplacement des matières premières (bois). Ces fibres proviennent de deux sources :

- **Les ménages** : avec les journaux lus, les emballages ménagers, les produits de bureaux, etc.
- **L'industrie** : déchets et chutes des imprimeries, emballages industriels, etc.

c- Eau

L'eau est un élément indispensable dans la fabrication du papier. Elle favorise l'assemblage naturel des fibres cellulosiques hydrophiles et permet de créer une pâte malléable. Elle assure donc la cohésion des fibres et la souplesse de la feuille de papier. Au cours de la fabrication du papier, cet élément se retrouve à de multiples stades :

- L'eau sert à transporter la suspension de fibres tout au long de la chaîne de fabrication de la pâte et du papier, notamment dans le raffineur, au moment de l'épuration (élimination des impuretés) ou de la répartition de la pâte sur la toile,
- L'élimination de l'eau dans tout le processus de séchage va permettre le rapprochement des fibres et la création des liaisons hydrogène entre les fibres.
- L'eau permet aussi de produire de la vapeur pour le chauffage des cylindres sécheurs.

d- Matières non fibreuses

- **Les charges** : les quantités de charges introduites en moyenne dans la pâte sont de 5 à 35% par rapport aux fibres. La rétention de ces charges dépend de plusieurs facteurs dont celles liées à leur nature (propriétés, granulométrie) et celles liées à la pâte (pH, température, vitesse) ou au papier (grammage). Les principales sortes utilisées en papeterie sont le kaolin (silicate d'aluminium hydraté), le talc (silicate de magnésium hydraté), le carbonate de calcium (état naturel ou précipité : craie, marbre, calcite).
- **Les pigments** : qui sont des éléments minéraux très peu solubles, introduits sous forme de poudre et utilisés dans la plupart des papiers impression-écriture.
- **Les produits de collage** : comme les résines de colophane naturelle et de synthèse.
- **Les agents de rétention** : de nature minérale, organique ou synthétique, destinés à retenir un maximum de particules fines et de charges dans la feuille.
- **Autres adjuvants** : Ce sont des produits chimiques naturels ou synthétiques, introduits dans la pâte ou en surface du papier. Ils sont destinés à améliorer les propriétés du papier tel que la solidité (comme l'amidon), les propriétés optiques (colorants), les propriétés barrière vis-à-vis de l'eau et des gaz (cires, paraffine), les propriétés barrière vis-à-vis des graisses, etc.

3-2- Elaboration de la pâte à papier

La fabrication de la pâte à papier consiste dans la séparation des fibres les unes des autres, tout en dégradant le moins possible de ces fibres pour obtenir une suspension de fibres de cellulose individualisées ayant les meilleures caractéristiques morphologiques, optiques et mécaniques possibles. Suivant les procédés mis en œuvre, on obtient soit les pâtes mécaniques soit les pâtes mi-chimiques soit enfin les pâtes chimiques.

a- Pâtes mécaniques

Elles ne concernent que le bois (résineux). On utilise pour leur préparation des méthodes purement physiques. Le mode de production de la pâte mécanique est constitué de 3 étapes : le défibrage, le classage et le blanchiment.

- **Défibrage** : Il s'effectue en appliquant des rondins de bois sur des meules de grès, en rotation (Fig. 3.). L'action mécanique de la surface de la meule sur le bois induit une force qui permet d'arracher les fibres les unes des autres. D'autre part, l'échauffement résultant du frottement lié à cette action, induit un réchauffement du bois, et a fortiori un ramollissement de la lignine. Les fibres séparées sont ensuite mises en suspension dans l'eau.

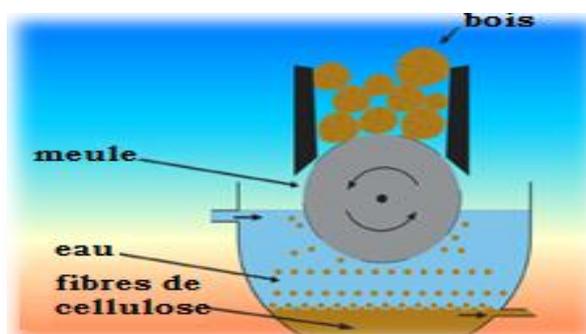


Figure 3 : Défibrage du bois.

- **Classage** : Est une étape qui consiste à envoyer le mélange d'eau et de fibres à travers différents tamis pour éliminer tous les amas non défibrés (ou buchettes).
- **Blanchiment** : Les fibres obtenues sont de couleur brunâtre à cause des dépôts de lignine. Le stade de blanchiment consistera à mélanger un réactif chimique avec les fibres (l'eau oxygénée en l'occurrence) afin de transformer sa couleur brune en teinte blanche.

La méthode mécanique permet la production de pâtes peu résistantes, mais d'une bonne opacité. Ces pâtes sont des pâtes à haut rendement (plus de 95%), intègrent la fabrication du papier journal, du papier pour magazine, du carton plat, des papiers sanitaires et domestiques, etc.

b- Pâtes mi-chimiques

Les pâtes mi-chimiques sont généralement produites à partir de bois de feuillus. Les copeaux de bois subissent un traitement mécanique de défibrage, un traitement chimique modéré et un traitement thermique (cuisson). Il se produit une extraction de la lignine. La

délicatification permet d'éliminer 50 % de la lignine du bois. Ces pâtes sont blanchissables à des degrés divers en rapport avec leur état de pureté.

Les pâtes mi-chimiques ont un rendement qui se situe entre 70 et 80%, confèrent au papier une bonne rigidité et une bonne résistance à la compression ce qui est propice à la fabrication du carton ondulé.

c- Pâtes chimiques

Sous l'appellation « pâtes chimiques » sont regroupées les pâtes dont le procédé de fabrication fait intervenir des réactifs chimiques. Le bois est en effet « cuit » par différents procédés chimiques.

La fabrication des pâtes chimiques consiste à éliminer tout ou partie des composants non cellulosiques. Les réactifs sont ainsi utilisés pour dissocier les différents constituants du bois, dissolvant la lignine et libérant les fibres de cellulose. Cette véritable extraction de la cellulose fait chuter le rendement du bois à 50 % environ et permet l'obtention des papiers résistants. Cette méthode convient à la fabrication du papier kraft, de papiers impression-écriture, de certains papiers d'emballages.

La fabrication de pâtes chimiques est effectuée suivant le procédé alcalin (ou procédé kraft) ou le procédé acide (Fig. 4.).

- **Procédé alcalin**

Le procédé alcalin est le procédé le plus communément utilisé. Les feuillus et les résineux peuvent être employés indifféremment pour ce procédé. On effectue la cuisson de copeaux de bois à une température de **100 à 175 °C** dans les lessiveurs. La durée de cuisson varie de deux à cinq heures suivant la nature du bois utilisé. Un agent de cuisson (la soude associé à du sulfure de sodium) est incorporé dans ces lessiveurs afin de dissoudre les incrustants de la cellulose.

En fin de cuisson, la pâte est lavée dans des diffuseurs ou sur des filtres. Le classage de la pâte, qui sépare les gros éléments et la pâte, permet de dissocier les incrustants de la partie fibreuse. Les impuretés lourdes (sable, gravier) sont éliminées dans la chaîne d'épuration.

Les caractéristiques de la pâte obtenue par ce procédé sont une bonne résistance mécanique, un bon indice de déchirure et une bonne longueur de rupture.

- **Procédé acide**

Le procédé acide diffère du procédé alcalin par la nature de l'agent chimique utilisé pendant la cuisson de la pâte. Le réactif employé est du bisulfite d'ammonium ou de magnésium. Le lavage et le classage de la pâte sont ensuite effectués de la même façon que pour le procédé alcalin.

Le procédé acide (cuisson longue de cinq heures) donne au papier des caractéristiques mécaniques plus faibles surtout en déchirure, mais la pâte est plus claire, se raffine plus vite et se blanchit plus facilement sans chlore.

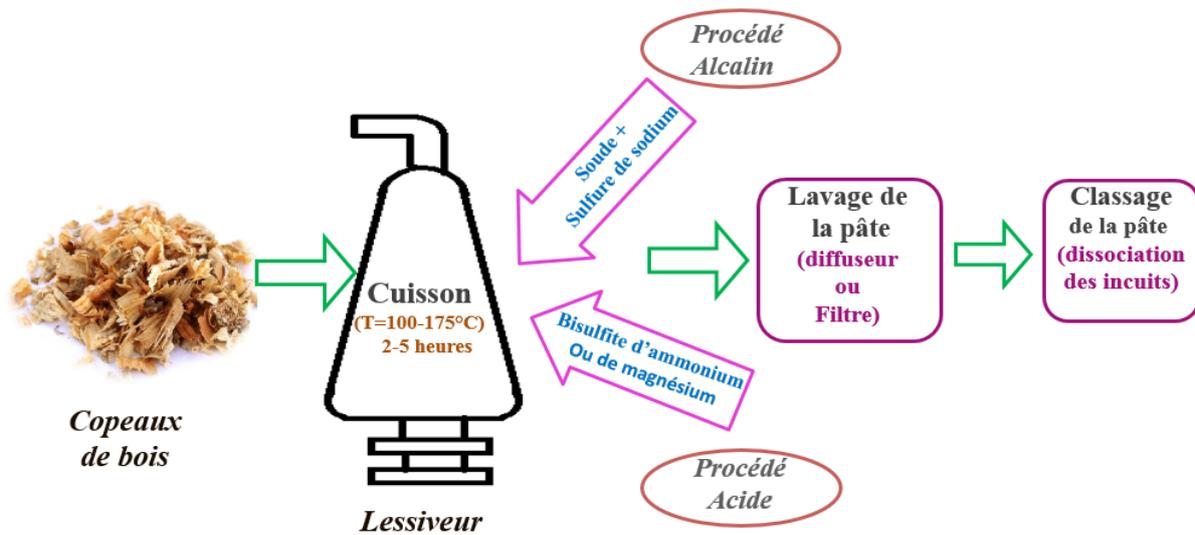


Figure 4 : Schéma du procédé de fabrication des pâtes chimiques.

3-3- Usine intégrée et pâte marchande

Lorsque l'usine de pâte est sur le même site que l'usine de papier, elle est dite « intégrée » ; les pâtes, en suspension dans l'eau (environ 90 % d'eau), sont reliées par des tuyaux qui les conduisent vers la caisse de tête de la machine à papier.

La pâte marchande, destinée à être transportée, est mise en « balles » ; elle est séchée à 90 % sur une presse pour faciliter son transport vers les usines à papier, où elles sont remises en solution aqueuse dans des pulpeurs.

3-4- Transformation de la pâte en feuille de papier

a- Désintégration

L'opération de désintégration de la pâte consiste à mettre les fibres de cellulose issues du bois et des vieux papiers en suspension dans l'eau des pulpeurs, à une concentration de 5%,

de façon à obtenir un mélange constitué d'eau et de fibres individuelles, indépendantes les unes des autres. La solution obtenue, à 50 grammes de pâte par litre, passe au travers d'un dépastilleur destiné à désagréger les agglomérats de fibres encore présents à ce stade.

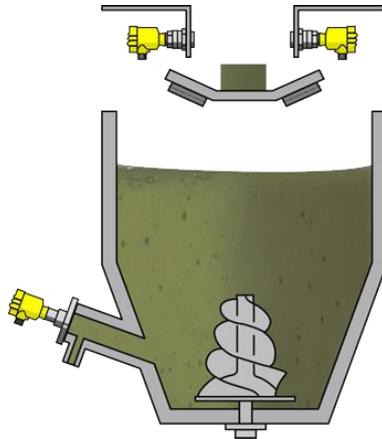


Figure 5 : Schéma d'un pulpeur.

b- Raffinage

Opération mécanique destinée à modifier la structure de la paroi des fibres pour introduire de l'eau à l'intérieur des fibres, de façon à augmenter la fibrillation et par conséquent le potentiel de liaisons entre les fibres (résistance du papier). Elle se fait dans des raffineurs, appareils à disques tournants entre lesquels s'écoule la suspension fibreuse. Une fibre gonflée est plus souple et conduit à une feuille plus régulière.

c- Passage dans la machine à papier

- **Circuit de tête** : La pâte est ensuite **épurée** (élimination des impuretés telles que buchettes, agglomérats de fibres ou de charges plastiques, etc.) et éventuellement **diluée** pour adapter sa concentration avant son arrivée sur la machine (Fig. 6), puis **désaérée**. On ajoute les charges minérales et les adjuvants.
- **Partie humide** : La machine à papier comporte un dispositif de répartition ou "**caisse de tête**" délivrant la suspension fibreuse, de façon uniforme, sur toute la largeur. L'unité de formation de la feuille utilise une toile tournant en continue sur laquelle les fibres déposées s'enchevêtrent, formant la feuille humide. A ce stade, une partie de l'eau est éliminée par égouttage (effet de la pesanteur). La feuille entre ensuite dans la section des **presses**, pour éliminer une autre partie de l'eau par pression. Cette opération a pour but de donner à la feuille une certaine résistance et de diminuer le maximum d'eau avant d'arriver en sécherie.

- **Sécherie** : La feuille arrive dans la partie sèche de la machine ou **sécherie**. Cette unité, constituée de cylindres chauffés à la vapeur sur lesquels la feuille est déroulée, permet d'atteindre une siccité de 95 %.

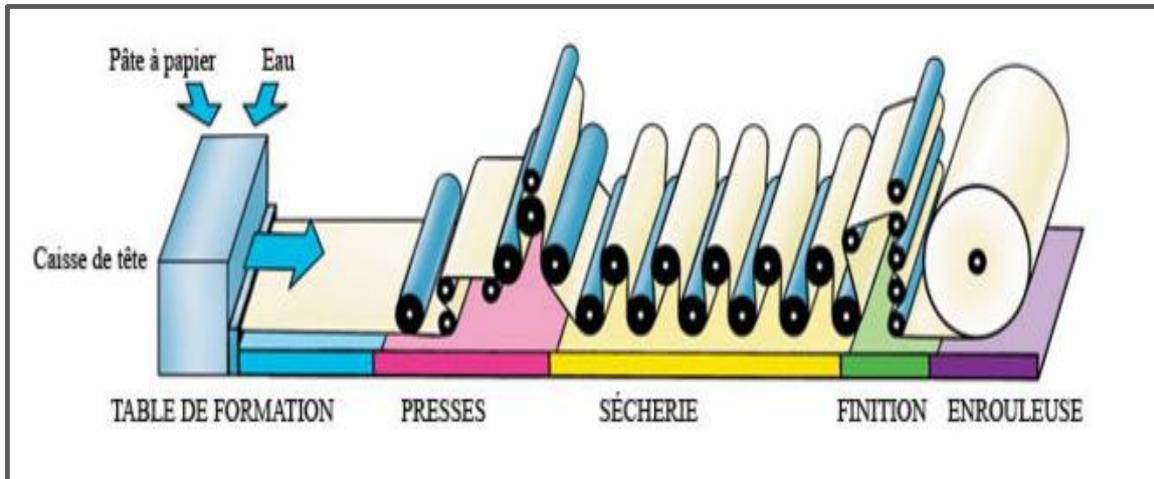


Figure 6 : Passage dans la machine à papier.

3-5- Différents traitements de la feuille

Une feuille en sortie de machine contient environ 50% d'air en volume et présente des macropores de surface. Pour améliorer l'état de surface, les caractéristiques et l'aspect, la feuille va subir différents traitements.

a- Traitements physico-chimiques

- **Surfaçage** : Quelques papiers d'emballage sont enduits d'une sauce d'amidon pour améliorer les caractéristiques de solidité et de rigidité.
- **Pigmentation** : Le traitement est le même que le précédent, mais les sauces sont d'une part plus concentrées et peuvent contenir en plus de l'amidon, des pigments ou des liants.
- **Couchage** : Un papier couché est un papier qui reçoit un dépôt supérieur à 7-8 g/m² et par face, d'une couche composée de pigments, liants et adjuvants.

b- Traitements mécaniques

- **Aprêtage** : Le papier passe dans une lisse constituée de plusieurs rouleaux qui effectuent une compression de la feuille. Ce traitement est afin d'obtenir un aspect plus uni et plus uniforme sur les deux faces.
- **Frictionnage** : Le traitement consiste à sécher la feuille humide contre la surface humide d'un cylindre chauffé. Le papier est alors comprimé et frictionné. Ces papiers sont brillants sur une seule face.

- **Calandrage ou satinage** : Ce traitement consiste aussi en une compression et une friction du papier mais ici le « repassage » est effectué sur des calandres. Le papier est poli et brillant.
- **Super calandrage ou glaçage** : Le papier peut subir un super calandrage (calandrage à hautes températures, hautes pressions et avec un nombre de rouleaux plus important). Ce papier est très brillant.
- **Crêpage** : Le crêpage rend le papier plus doux, plus souple, plus élastique.

3-6- Finition

a- Bobinage

En fin de machine, le papier est enroulé sur des bobines mères, qui peuvent peser jusqu'à 40 tonnes et à un rythme pouvant atteindre une bobine par demi-heure.

b- Mise au format

- **Bobines** : Les bobines mères sont déroulées et refendues en bobines filles, avec les caractéristiques demandées par le client.
- **Feuilles** : Les bobines filles sont transformées en feuilles ou format avec une largeur et une longueur déterminées et précises.

4- Papiers utilisés en emballage alimentaire

4-1- Papier cristal

C'est un papier à la fois lisse et très mince de nature translucide. Il peut être coloré lors de sa fabrication et même rendu opaque. Il offre une bonne protection contre l'humidité et est résistant aux matières grasses. Grâce à son pH neutre et ses propriétés alimentaires, il est très utilisé dans l'industrie alimentaire, avec l'emballage des aliments.

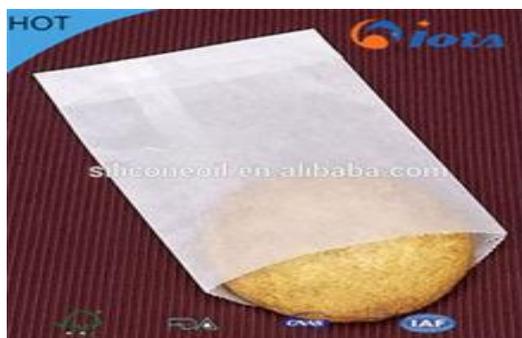


Figure 7 : Sachet cristal.

4-2- Papier cellophane

La cellophane est un film transparent constitué d'hydrate de cellulose, elle est appréciée pour ses qualités de transparence et d'étanchéité aux micro-organismes, des qualités très recherchées dans le domaine de l'emballage alimentaire : sachets, papier cellophane pour les confitures etc.



Figure 8 : Sachet cellophane.

4-3- Papier Kraft

Le papier Kraft est un papier alimentaire très résistant qui tire son nom de « Krafft » qui signifie « force » en allemand. Ce papier est généralement utilisé dans sa couleur brune mais on le trouve également blanchi. Ce papier n'est pas traité pour résister aux graisses. En revanche il est très efficace contre l'humidité, ce qui en fait un papier très utilisé par les boulangers pour l'emballage du pain, de biscuits et de viennoiseries.



Figure 9 : Sac en papier Kraft.

4-4- Papier thermoscellable ou thermosoudable

Dit papier thermo, c'est un papier Kraft frictionné blanc, enduit de polyéthylène sur une face, résistant à l'état humide, anti-adhérent, offre une barrière à l'eau et aux graisses. Il est utilisé pour emballer de nombreux produits tels que la viande, les abats, le fromage ou encore les poissons.



Figure 10 : Papier thermoscellable.

4-5- Papier paraffiné

Il est obtenu par trempage dans un bain de paraffine fondue, très résistant aux graisses, à l'humidité et à l'eau. Il apporte brillance et esthétique à de multiples emballages, leur permettant ainsi de valoriser, protéger et préserver parfaitement les produits alimentaires. Les emballages en papier sont principalement utilisés pour l'emballage des confiseries, du chocolat, du pain, du fromage, des viandes et poissons frais, ainsi que la levure.



Figure 11 : Papier paraffiné.

4-6- Papier sulfurisé

C'est un papier d'une grande dureté de surface, translucide et à très faible niveau de porosité, utilisé en emballage, pour le conditionnement de corps gras et en pâtisserie car il supporte la cuisson au four traditionnel. Ce type de papier est obtenu par trempage dans l'acide sulfurique. L'action de l'acide est immédiate et provoque la casse des fibres longues, qui restent alors plaquées sur le papier et assure ainsi son imperméabilité. Le papier est ensuite immédiatement rincé à l'eau, puis séché.



Figure 12 : Papier sulfurisé.

5- Caractéristiques du papier

5-1- Caractéristiques physiques et mécanique

- **Résistance à l'arrachage** : L'arrachage est le décollement de zones superficielles d'un papier ou d'un carton se produisant lorsque les contraintes exercées perpendiculairement à ce papier ou à ce carton sont supérieures à celles que peut admettre la force de cohésion de leur couche de surface respective.
- **Rigidité** : Est déterminante dans l'aptitude au pliage du papier. Un formulaire plus rigide sera plus facile à plier.
- **Résistance à la rupture par traction** : Représente la force de traction maximum qu'il est possible d'appliquer à une feuille de papier sans qu'elle se déchire.
- **Résistance au déchirement** : Sollicitation maximum supportée par un papier avant qu'il se déchire.

5-2- Caractéristiques de texture

- **Structure de la feuille** : Une structure homogène procurera de meilleures caractéristiques d'opacité et de stabilité ainsi qu'une meilleure aptitude à l'impression.
- **Grammage** : c'est la masse par unité de surface d'un papier ou d'un carton, exprimée en grammes par mètre carré. Le grammage habituel est de 45 g/m² pour le papier journal, de 80 g/m² pour le papier de photocopie.
- **Grain et l'état de surface** : C'est une impression subjective caractérisant le degré de rugosité de la texture superficielle d'un papier. Il est variable selon la composition des pâtes et les traitements mécaniques utilisés.
- **Main** : Est le rapport entre l'épaisseur de la feuille et son grammage. Un papier a de la main quand son épaisseur est élevée compte tenu de son grammage.

- **Lissé** : Est une caractéristique qui permet d'évaluer le degré de poli du papier. Un faible lissé correspond à un papier présentant de nombreuses aspérités et un aspect rugueux ; un fort lissé correspond au contraire à un papier dont la surface est presque polie.
- **Vieillessement** : Avec le temps, les fibres de n'importe quel type de papier finissent par se vieillir. Le processus est beaucoup plus lent dans un papier fabriqué à partir de pâte chimique à pH neutre, avec adjonction d'une charge de craie ou de marbre.

5-3- Caractéristiques optiques

- **Opacité** : Indique la "non-transparence" du papier. Le papier doit avoir une opacité relativement élevée pour garantir de bons résultats d'impression, surtout s'il s'agit d'une impression recto-verso.
- **Couleur** : Sensation née de l'impression produite sur l'œil par un flux lumineux reçu sur le papier. Elle peut être modifiée par l'ajout dans la pâte de colorants synthétiques.
- **Blancheur** : Est une caractéristique très importante souvent intuitivement associée à la notion de qualité et d'esthétique. Elle affecte le contraste recherché dans l'impression.
- **Brillance** : Due à la présence de certains additifs et au calandrage, se manifeste parfois par une sorte de chatoiement.

Chapitre 2

Le carton

1- Présentation générale

1-1- Définition

Le carton est un matériau léger et rigide, fait de fibres de bois (cellulose), de même origine que le papier ordinaire, qui s'éloigne cependant des caractéristiques et usages de ce dernier selon sa composition, épaisseur et structure. Il est plus épais et plus résistant que le papier. Du point de vue du grammage, le passage du papier au carton se fait à 224 g/m².

Le carton est le numéro un des produits d'emballages alimentaires ou transportés. On distingue deux types de carton selon le mode de fabrication : le carton plat et le carton ondulé.

1-2- Principales utilisations

a- Emballage primaire

Il a pour but de contenir et de protéger le produit des chocs. (Ex : cagette de fruits, boîte micro cannelure).

b- Emballage secondaire

Il s'agit d'un emballage qui doit être résistant à la pression et à l'écrasement (Ex : Caisse américaine, barquette, intercalaire, ...).

c- Emballage tertiaire

Il s'agit de l'emballage extérieur qui regroupe les produits (Ex : box-palettes).

2- Historique du carton ondulé

- ✓ **1850** : L'ère machine à fabriquer du carton multicouches.
- ✓ **1871** : Brevet de la fabrication d'une feuille de papier ondulé.
- ✓ **1874** : Naissance du carton ondulé simple face.
- ✓ **1888** : Apparition du carton ondulé double face (caisse américaine).
- ✓ **1908** : L'ère onduleuse aux USA.
- ✓ **1968** : En France, la production de carton ondulé dépasse pour la première fois le million de tonnes.

3- Types de carton

3-1- Carton plat

Le carton plat est du carton compact idéalement adapté à l'emballage des produits légers. C'est le principal matériau utilisé pour la production de boîtes pliantes. Il est composé

de trois ou quatre couches, possède une face extérieure (recto) d'impression qui peut être couchée (recouverte d'un enduit) et une face interne (verso).

Le carton plat peut contenir des additifs destinés à le rendre résistant à l'eau, à l'humidité ou aux graisses, notamment pour conditionner des produits congelés et des produits contenant des graisses. Une couche de plastique peut être appliquée sur la face intérieure (verso) du carton, afin de former une barrière contre l'humidité et les graisses.

Le carton plat peut également recouvert d'une feuille d'aluminium ou d'un film métallisé synthétique conférant un aspect métallique au matériau fini.

3-2- Carton ondulé

Le carton ondulé est un matériau léger et rigide constitué par une ou plusieurs feuilles de papier cannelé collées entre une ou plusieurs feuilles cartonnées, très largement utilisé pour de nombreux types d'emballage, auxiliaire indispensable au conditionnement, à la protection et au transport de produits de toute nature.

Il est constitué de :

- **Couverture** : feuille plane extérieure participe à la résistance mécanique et climatique de l'emballage.
- **Médiane** : feuille plane intérieure sépare les différentes feuilles cannelées.
- **Cannelure** : feuille cannelée qui accroît la rigidité, la flexion, l'élasticité à l'écrasement et la résistance à la compression.
- **Colle** : assure la stabilité de la structure.

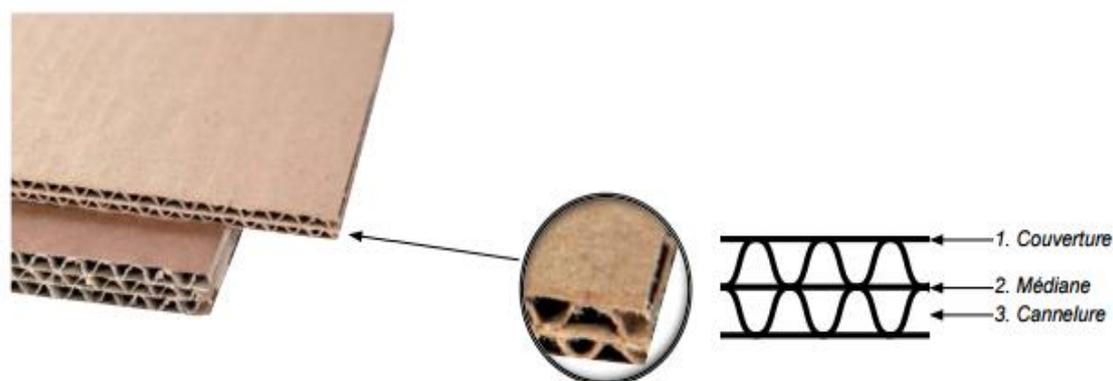


Figure 13 : Composition du carton ondulé.

a- Différents types de carton ondulé

On distingue plusieurs types de cartons ondulés :

- **Simple-face (SF)** : constitué d'une feuille de papier cannelé (cannelure), collée sur une feuille de papier plan (couverture), utilisé en calage ou comme protection de bouteilles par exemple.
- **Double face (DF)** : constitué d'une feuille de papier cannelé, collée entre deux feuilles de papier plan.
- **Double double (DD)** : constitué de deux feuilles de papier cannelé intercalées et collées sur trois feuilles de papier plan.
- **Triple cannelure (TC)** : plus épais, constituée de trois feuilles de papier cannelé intercalées et collées sur quatre feuilles de papier.

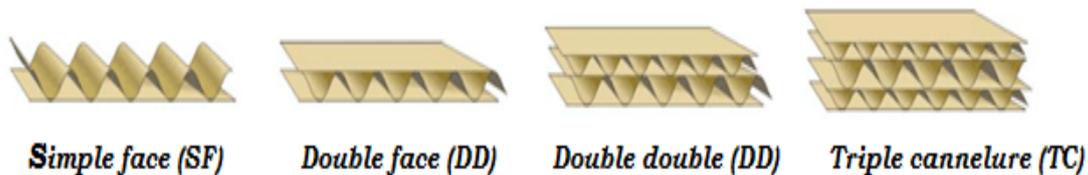


Figure 14 : Différents types de carton ondulé.

b- Profils des cannelures

➤ Caractéristiques des cannelures

Les cannelures sont caractérisées par plusieurs paramètres :

- **La hauteur (h)** : distance entre le sommet et le creux d'ondulation
- **Le pas (p)** : distance entre deux sommets consécutifs d'ondulation.
- **Le coefficient d'ondulation** : le nombre d'ondulations par mètre.
- **L'épaisseur total (e)** : l'épaisseur du carton ondulé.

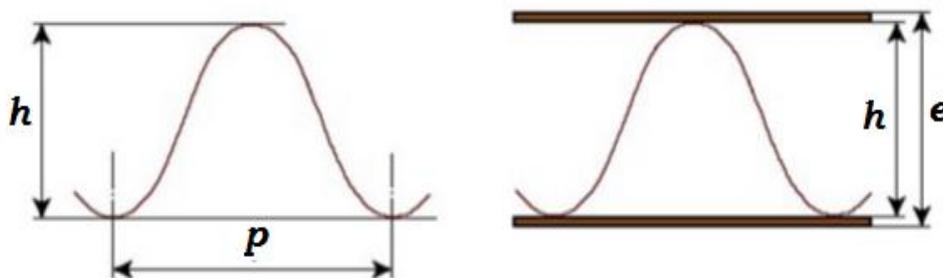


Figure 15 : Caractéristiques des cannelures.

➤ **Types des cannelures les plus utilisés**

On distingue quatre types principaux de cannelures :

- **Grande cannelure (type A)** : épaisseur du carton ondulé généralement supérieure à 4,5 mm,
- **Petite cannelure (type B)** : épaisseur du carton ondulé comprise entre 2 mm et 3,5 mm,
- **Moyenne cannelure (type C)** : épaisseur du carton ondulé comprise entre 3,5 mm et 4,5 mm,
- **Micro cannelure (type E)** : épaisseur du carton ondulé généralement inférieure à 2 mm.

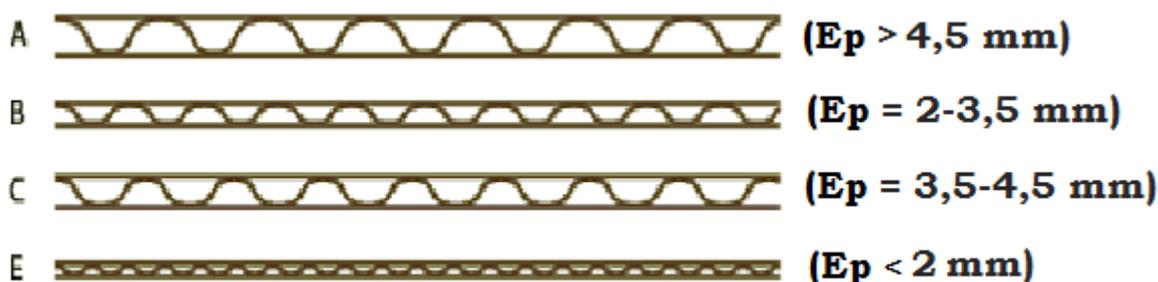


Figure 16 : Type des cannelures les plus utilisées.

4- Fabrication du carton

Le carton est de même origine que le papier. Ses différences dépendent uniquement de sa composition et de son épaisseur.

4-1- Fabrication du carton plat

a- A partir de la pâte à papier

Cette méthode de fabrication associe plusieurs jets de pâtes (3 à 7) de composition identique ou différente. Avant d'être transformée en feuille de carton, la pâte à papier subit plusieurs phases de traitement à travers la machine à papier.

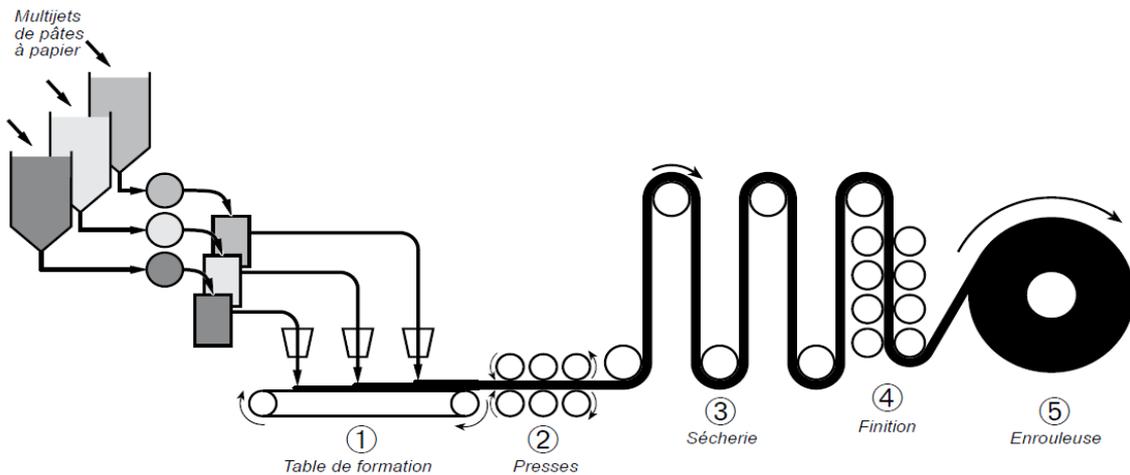


Figure 17 : Fabrication du carton à partir de la pâte à papier.

- 1- **La table de formation** : La pâte à papier est déposée sous forme de jets sur la table de formation. La toile est animée par un mouvement saccadé, qui facilite la formation de la feuille et son égouttage. Chaque jet est formé individuellement grâce à un dispositif autonome.
- 2- **Les presses** : Ils sont ensuite associés par pressage. La feuille est comprimée entre deux cylindres.
- 3- **La sécherie** : La feuille est séchée contre des tambours de fonte chauffés intérieurement à la vapeur.
- 4- **La finition : enduction, apprêts et couchage** : La surface de la feuille est recouverte de matières (pigments, colorants, ...) améliorant ses propriétés. Elle est égalisée par compression entre des rouleaux d'acier (lissage et calandrage). Elle peut être recouverte sur une ou deux faces d'une couche de pigment d'origine minérale, destinée à améliorer l'aptitude à l'impression du papier.
- 5- **L'enrouleuse** : La feuille est enroulée en bobines. Elle peut ensuite être découpée en feuilles ou refendue en bobines plus petites. Le carton est prêt à être livré.

b- A partir de feuilles de papier

Le carton est obtenu par **contrecollage** de feuilles de papier sec au moyen d'une matière adhésive telle que l'amidon ou une résine synthétique. Une feuille de papier est enroulée autour d'un tambour jusqu'à l'épaisseur désirée puis on la coupe.

La production est effectuée feuille à feuille, la feuille de carton est ici homogène.

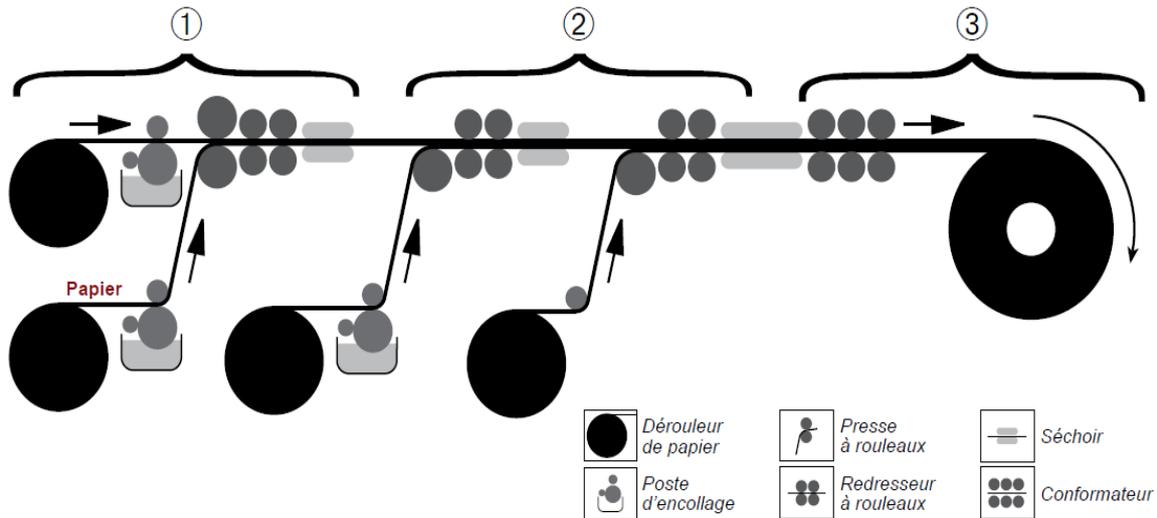


Figure 18 : Fabrication du carton à partir de feuilles de papier.

- 1- La feuille de papier est guidée jusqu'à un poste d'encollage où un film régulier de colle est déposé sur sa face inférieure. Elle est ensuite amenée jusqu'à une presse où elle est mise en contact avec la feuille de papier d'un autre dérouleur. Les feuilles collées et pressées sont ensuite dirigées vers un redresseur à rouleaux pour éliminer les déformations dues au cheminement des feuilles. Pour finir, elles sont amenées vers un séchoir permettant l'assèchement de la colle.
- 2- L'ensemble ainsi collé est alors dirigé vers une deuxième presse où il est assemblé à une troisième feuille préalablement encollée, l'ensemble passant ensuite dans un redresseur à rouleaux puis dans un séchoir, et ainsi de suite.
- 3- Une fois l'assemblage réalisé la feuille de carton passe dans un scanner (conformateur) permettant de vérifier le grammage et l'humidité des feuilles, puis elle est rainurée et rectifiée par coupage dans le sens de la longueur et coupée aux dimensions voulues au format, sur un ou plusieurs niveaux selon le format et empilée.

4-2- Fabrication du carton ondulé

Le papier ondulé est fabriqué par onduleuse en plusieurs étapes.

a- Fabrication de la cannelure

Le papier cannelure est ondulé entre deux cylindres cannelés sous l'effet de la température, de l'humidité, de la pression.

b- Fabrication du carton ondulé simple face (SF)

La couverture est appliquée sur les crêtes enduites de colle du papier cannelé. La cannelure est maintenue sur les cylindres cannelés par aspiration d'air tandis que la colle est déposée sur les sommets des cannelures. Le carton ondulé est acheminé vers des bobineuses ou vers la partie double face.

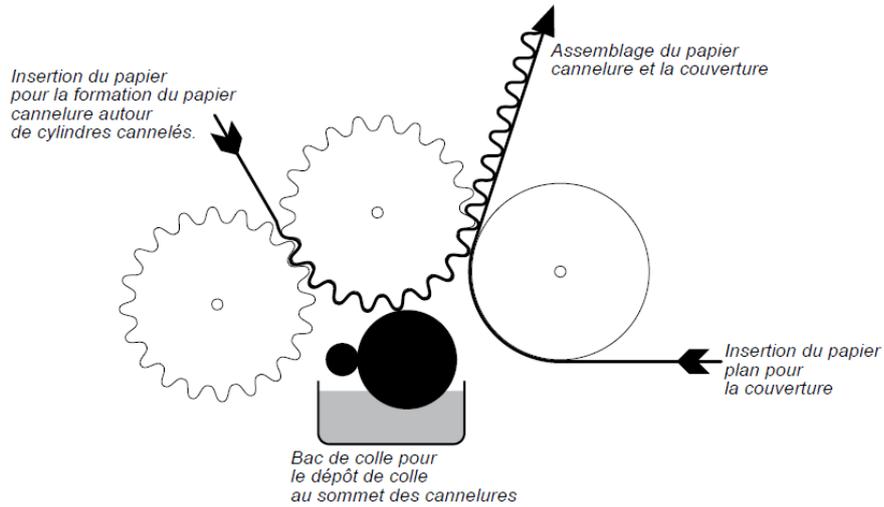


Figure 19 : Fabrication du carton ondulé.

c- Fabrication du carton ondulé double face (DF)

Un, deux ou trois ondulés simple face sont collés à une couverture pour former du carton ondulé double face, double-double face ou triple cannelure. Le carton ondulé est ensuite engagé sur une table chauffante pour la prise de la colle.

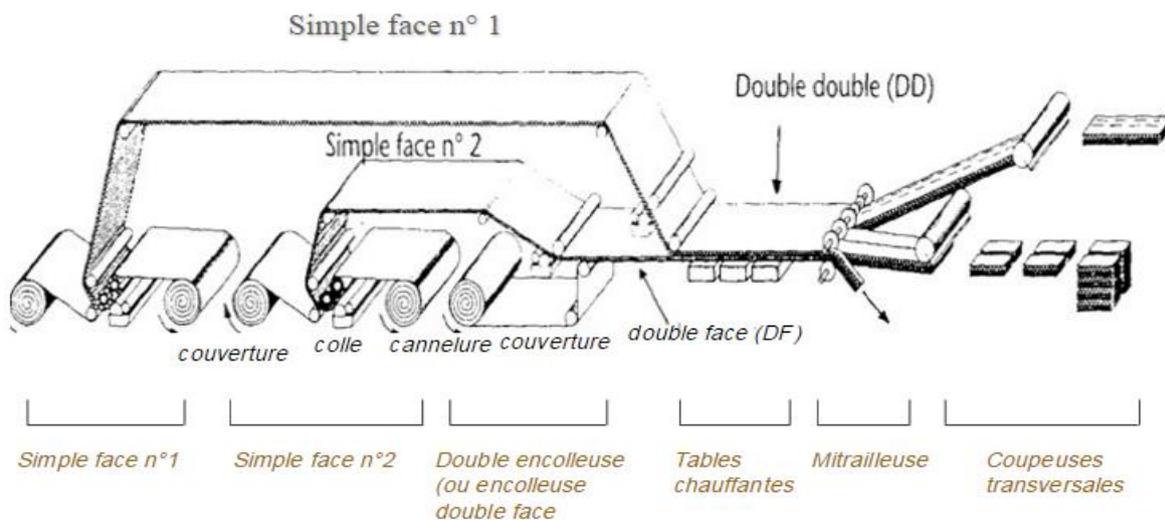


Figure 20 : Schéma d'une onduleuse.

5- Avantage et inconvénients du carton

5-1- Avantages

- Très solide, léger et simple à couper ou plier ;
- Assez économique à fabriquer ;
- Facile à imprimer ;
- Stockage à plat peu encombrant ;
- Biodégradable et recyclable.

5-2- Inconvénients

- Sensible à l'humidité et au feu ;
- Le revêtement subit l'usure en surface.

Chapitre 3

Le verre

Introduction

Le verre est un matériau, inorganique, qui jouit toujours d'une excellente image de marque au niveau de consommateur. Il est généralement transparent, porté à une température élevée puis refroidie jusqu'à la solidification, sans cristallisation.

C'est un corps solide, homogène possède de nombreuses qualités. Il est facile à modeler et peut prendre de nombreuses formes. Il est écologique par excellence, dont il est recyclable à 100%.

1- Historique

- ✓ **Age de pierre** : Un verre naturel, l'obsidienne, a été formé il y a des millions d'années par l'activité volcanique.
- ✓ **An 2500 av. JC : La découverte du verre** : La fabrication du verre fut découverte au environ de 2500 av. JC en Mésopotamie en Egypte. C'est vers 1500 av. JC, en Egypte, que sont fabriqués les premiers objets utilitaires en verre (coupes, bols et bouteilles).
- ✓ **100 : La technique de soufflage** : Le soufflage, apparait au 1^{er} siècle de notre ère en Palestine ou en Syrie. Le travail du verre s'implante en Gaule et en Italie.
- ✓ **1000 : L'influence Vénitienne** : C'est en Italie, à Venise et en Normandie que la fabrication du verre réapparait au 9^{ème} siècle.
- ✓ **1300 : La technique du verre plat** : Dès le 14^{ème} siècle, des ateliers de verrerie s'installent en Lorraine. C'est également au 14^{ème} siècle que la technique du verre plat, destinée au vitrage, naît en Normandie.
- ✓ **1665 : La Manufacture Royale des Glaces** : La Manufacture Royale des Glaces est créée en 1665 et ouvre sa première glacerie à Saint Gobain dans l'Aisne.
- ✓ **1880 : Fabrication mécanique du verre** : Vers 1880, Claude Boucher, maître verrier à Cognac, a l'idée d'insuffler de l'air comprimé dans la masse de verre en fusion pour lui donner sa forme.
- ✓ **1900 : Four continu** : Le 20^{ème} siècle verra la mise au point du four continu permettant une véritable production à grande échelle.
- ✓ **2000** : Aujourd'hui, production de plus de 5000 différents modèles de bouteilles et de pots.

2- Propriétés générales du verre d'emballage

a- Propriétés structurales : Le verre est un matériau amorphe, c'est-à-dire non cristallin. De ce fait, il présente un désordre structural important, il est assez analogue à un liquide.

b- Propriétés optiques : tel que la transparence, les caractéristiques spectrales et un indice élevé de réfraction.

c- Propriétés mécaniques : Le verre est fragile et cassant, mais présente un comportement élastique, il résiste plus ou moins aux chocs (impacts et chutes) et à l'abrasion (par le sable, le sel, etc.).

d- Propriétés chimiques :

- Il est chimiquement inerte vis-à-vis des liquides et des produits alimentaires et ne pose pas de problème de compatibilité.
- Barrière par excellence vis-à-vis du milieu extérieur (imperméable aux gaz, liquides et vapeurs) et il a un effet rassurant auprès de consommateur (innocuité).
- Les mécanismes d'altération sont, dans la plupart des cas, très lents à température ambiante.
- Conservation optimale et longue durée de qualité originale (il permet de conserver les propriétés organoleptiques et la saveur du produit).
- Il n'est attaqué que par l'acide fluorhydrique ou quelques produits fortement alcalins.
- Le feu n'a aucune action chimique sur le verre : il est incombustible, il n'est pas décomposé, il n'est pas oxydé.

e- Propriétés thermiques : Le verre présente une faible conductivité thermique, le verre est un bon isolant thermique et se déforme peu sous des variations de température ordinaire.

f- Propriétés électriques : A basse température, le verre est isolant. A partir d'environ 250 °C, il devient conducteur d'électricité.

g- Propriétés rhéologique :

- *Viscosité* : "liquide infiniment visqueux". Cette viscosité, variable en fonction de la température doit être connue et maîtrisée afin de travailler le verre (fusion, coulée, soufflage, recuisson...).
- *Tension superficielle* : Elle joue un rôle important dans les étapes de fabrication du verre.

3- Formation et comportement d'un verre

Si on refroidit rapidement un liquide, la cristallisation n'a pas le temps de se produire et on obtient un liquide surfondu (état de surfusion pour des températures inférieures ou égales à la température de fusion (T_f)) exempt de cristaux dont la viscosité continue à augmenter avec l'abaissement de la température pour donner enfin un solide que l'on appelle "verre" qui conserve leurs structures liquides.

Lorsqu'on refroidit lentement un liquide, on observe sa cristallisation à une température (T_f). Au contraire un refroidissement rapide permet d'éviter la cristallisation. On obtient alors un état liquide surfondu suivi d'un état vitreux solide amorphe à une température (T_g) (température de transition vitreuse) qui dépend de la vitesse de refroidissement. (T_g) est atteinte lorsque la viscosité vaut 10^{12} Pa.s.

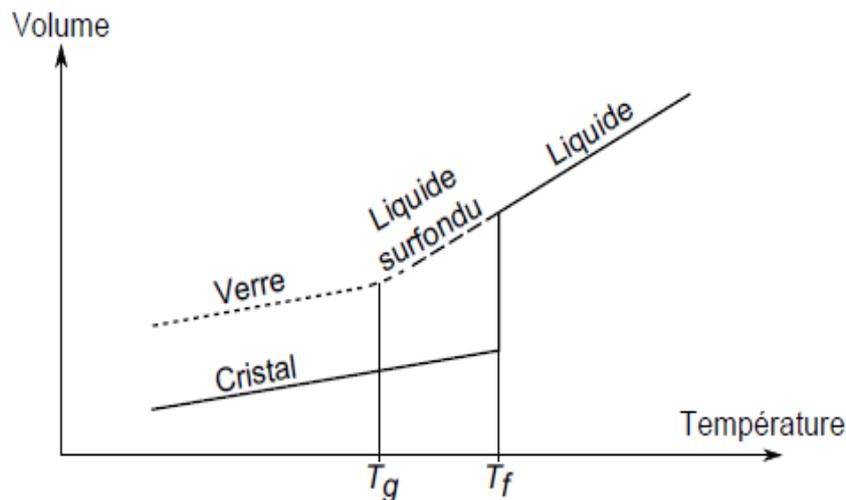


Figure 21 : Variation en fonction de la température – Définition de la température de transition vitreuse.

4- Principaux constituants du verre

4-1- Agents vitrifiant : formateurs du réseau

- ✓ **La silice SiO_2** : ou *oxyde de silicium*, c'est le formateur de verre par excellence, elle est apportée par le sable (70% de la masse de verre).
- ✓ **L'anhydride borique B_2O_3** : il est notamment utilisé pour les verres de cuisine ou de laboratoire.
- ✓ **L'anhydride phosphorique P_2O_5** : que l'on retrouve dans les verres d'optique.

4-2- Modificateurs de réseau

- ✓ **Agents fondants** : tel que l'oxyde de sodium Na_2O , permettent d'abaisser la température de fusion de la silice aux alentours de $1500\text{ }^\circ\text{C}$.
- ✓ **Agents stabilisants** : tel que l'oxyde de calcium CaO , l'oxyde de magnésium MgO et l'alumine Al_2O_3 , améliorent la stabilité chimique du verre et la résistance aux attaques de liquide (sauf les acides fluorhydriques).
- ✓ **Agents secondaires ou additifs** : ils donnent des propriétés particulières au verre.
 - l'oxyde de fer Fe_2O_3 pour colorer le verre. Il fait aussi office de stabilisant ;
 - les oxydes métalliques Cr_2O_3 , CoO , CuO et les lanthanides CeO_2 , Nd_2O_3 utilisés pour la coloration ;
 - l'oxyde de soufre SO_3 pour ajuster l'état d'oxydoréduction.

Le tableau suivant détaille les couleurs obtenues selon le métal ajouté au verre.

Tableau 1 : Couleur de verre obtenue selon l'oxyde métallique introduit.

Oxyde métallique introduit		Couleur obtenue
Oxyde de fer	Fe_2O_3	Jaune brun
	FeO	Bleu vert
Oxyde de cuivre	CuO	Bleu
Oxyde de cobalt	CoO	Bleu ou rose
Oxyde de manganèse	Mn_2O_3	Violet
	MnO	Jaune pale
Oxyde de vanadium	VO_2	Bleu
	V_2O_3	Vert
Oxyde de nickel	NiO	Bleu ou jaune brun
Oxyde de chrome	Cr_2O_3	Vert clair
Oxyde de titane	Ti_2O_3	Violet brun

5- Verre creux (verre d'emballage)

5-1- Définition

Le verre creux est tous produits verriers ayant une forme non plane. Il est utilisé pour la fabrication des emballages de liquides, de denrées alimentaires, de parfums et de verrerie de table, il représente le plus gros tonnage de verre fabriqué.

5-2- Composition du verre creux

Le verre d'emballage (creux) est composé de trois matériaux principaux :

- ✓ Le sable de carrières (silice) qui assure la vitrification.
- ✓ La chaux (matière blanche semblable à de la craie) qui sert de stabilisant et évite la cristallisation du verre lors du refroidissement.
- ✓ La soude (produit chimique très nocif) qui abaisse la température de fusion à 1550°C.

6- Fabrication du verre creux

6-1- Processus verrier : les étapes

a- Mélange des matières premières

Les matières premières entrant en ligne de compte pour la fabrication du verre d'emballage (creux) sont essentiellement les vitrifiants, les fondants, les stabilisants et les affinants. Des déchets de verre récupérés appelés "calcin" ou "groisil" sont ajoutés au mélange vitrifiable pour faciliter la fusion des matières premières et ils contribuent à des économies d'énergie, à l'élimination des déchets et à la réduction du rejet de CO₂ par le four.

Ces matières, après avoir été soigneusement pesées, doivent être mélangées minutieusement de façon à rendre le mélange très homogène.

b- Fusion des matières premières en verre

La fusion du verre (environ 800 °C à 1600°C) consiste à transformer les matières premières de l'état solide à l'état liquide. Les principales formes d'énergie utilisées dans l'industrie du verre sont le gaz naturel, le fuel-oil (mazout) et l'électricité.

Dans la masse en fusion, de nombreuses bulles dues aux gaz résultant des réactions chimiques apparaissent, pour homogénéiser le verre, il est nécessaire de procéder à l'affinage du verre, par le prolongement du chauffage jusqu'à ce que les bulles gazeuses puissent remonter à la surface et disparaître (diminution de la viscosité). Le verre obtenu est laissé jusqu'à refroidissement à une température à laquelle il a le degré de viscosité compatible avec la mise en forme désirée.

Selon le mode de chargement des matières premières et le soutirage de verre, deux grandes familles des fours utilisés dans la fusion :

✓ Fours discontinus

Les fours à pots ne sont plus utilisés aujourd'hui que dans les verreries artisanales où les productions journalières sont faibles. Ils sont destinés au cueillage manuel et peuvent contenir plusieurs pots. Les procédés de chauffage actuels sont par brûleur au fuel/ gaz ou par résistance électrique, mais utilisaient du bois ou du charbon par le passé.

✓ Fours continus

Les fours à pots ne sont plus utilisés aujourd'hui que dans les verreries artisanales où les productions journalières

Dans ces fours, le flux de matière se fait de façon continue, avec le chargement à une extrémité et le soutirage à une autre extrémité du four. Les fours continus sont utilisés dans la fabrication du verre plat, du verre d'emballage, etc.

On distingue deux types de fours continus : les fours électriques et les fours à flamme :

- **Fours électriques** : Les fours électriques sont surtout utilisés pour les petites productions et il faut noter que le chauffage électrique est parfois employé comme appoint dans les fours à flamme ;
- **Fours à flamme** : Ce sont les fours les plus répandus dans l'industrie du verre. Ici, l'énergie est apportée au verre dans la cuve par la surface grâce à la chaleur des flammes au-dessus du bain.

c- Les feeders

Le verre en fusion du four est amené par des canaux d'acheminement appelés *feeders*, jusqu'aux machines de formage.

A la sortie du bassin de travail, le verre est encore généralement très chaud pour être mis en forme par les machines. Les feeders permettent de conditionner le verre à la température correspondante à la bonne viscosité de travail (conditionnement thermique).

Dans les feeders au lieu du four, une matrice vitreuse, appelée « Fritte », chargée en oxyde métallique est incorporé dans le verre blanc en fusion pour sa coloration (coloration Feeder). Cette technique permet d'obtenir une large gamme de couleurs plus variée et le changement de couleur s'effectue en 2 à 3 h au lieu de 4 h, mais cette technique présente un coût supérieur.

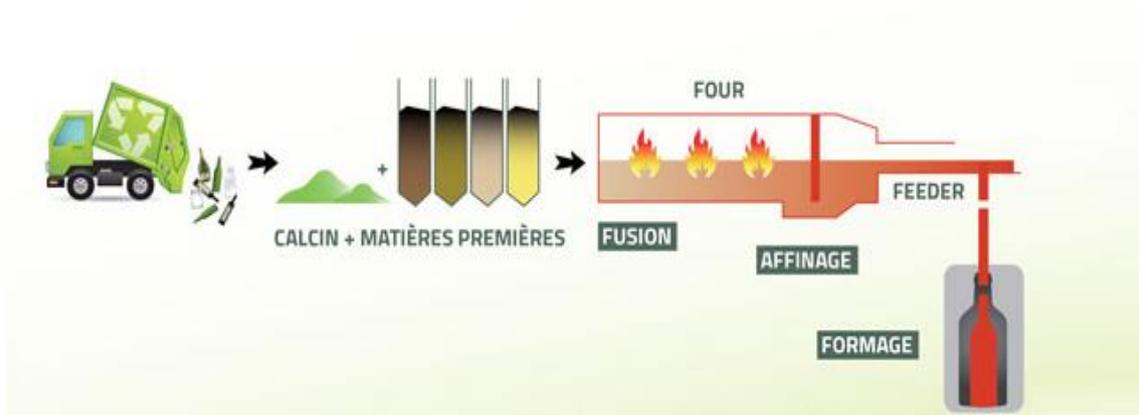


Figure 22 : Différents étapes de fabrication du verre creux.

6-2- Formage

Le formage consiste à transformer une masse compacte de verre en un corps creux, c'est le procédé de la mise en forme du verre.

➤ Formation de la paraison

En sortie de feeder, le verre s'écoule depuis la cuvette par un orifice calibré. Un poinçon (une sorte de piston) animé d'un mouvement alternatif obstrue à intervalles réguliers l'orifice, transformant la coulée de verre en une succession de gouttes de verre dites paraisons, lesquelles sont coupées par des ciseaux automatiques à des poids correspondants à l'article désiré. La paraison est alors à une température entre 1100 °C et 1300 °C. Il faut la mettre en œuvre dans le laps de temps le plus court possible, puisque vers 750 °C, le verre ne sera plus plastique. C'est l'étape de formage.

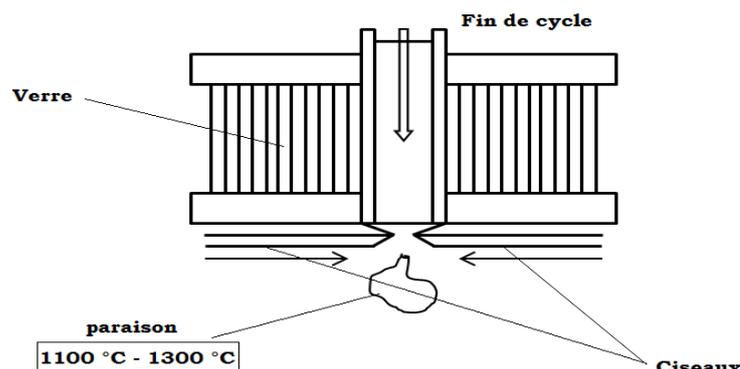


Figure 23 : Schéma de formation de la paraison.

➤ Le formage

La paraison est transformée en ébauche dans le moule ébaucheur, soit par soufflage soit par pressage (ou par combinaison entre les deux techniques). Puis elle est transférée dans le moule finisseur qui donne la forme finale au produit.

L'ensemble des opérations s'effectue sur des machines modulaire dite **IS** (Ingersall et Smith), ont des sections individuelles et un ou plusieurs paraisons.

- **Procédé 'pressé simple'**

Le pressage est une technique qui consiste à presser une goutte de verre en fusion (paraison) pour lui donner forme. Il est peu utilisé, on applique ce procédé de pressage simple lorsque la forme est évasée comme pour certain verre à boire, assiettes, ...

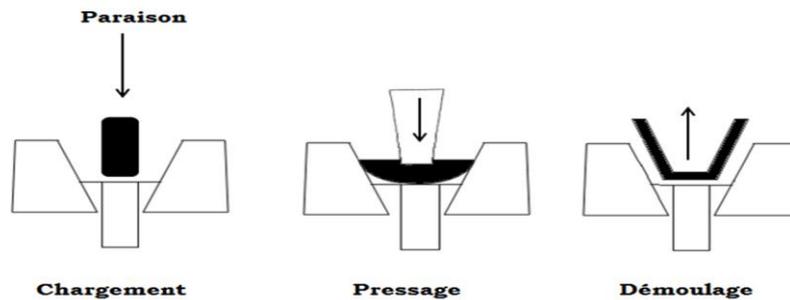


Figure 24 : Le procédé Pressé simple.

- **Procédé 'soufflé-soufflé'**

Par cette technique, le verre est soufflé deux fois pour être mis en forme. Dans ce mode de mise en forme, une goutte de verre en fusion, en quantité définie, est chargée dans un moule préparatoire. Dans ce moule, la goutte est d'abord compressée, pour être ensuite percée et soufflée afin d'obtenir une préforme. Cette préforme est transférée dans un moule final où elle est réchauffée. Le soufflage définitif permet de donner forme au produit fini. Le procédé de soufflage-soufflage est principalement utilisé pour la fabrication des verres d'emballage comme les bouteilles.

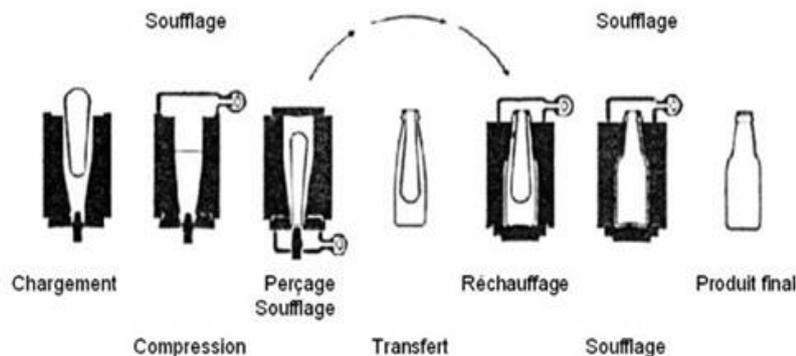


Figure 25 : Le procédé soufflé-soufflé.

- **Procédé ‘pressé-soufflé’**

Par cette technique, le verre est tout d'abord pressé pour ensuite être soufflé afin d'être mis en forme. Dans ce procédé de fabrication, une quantité définie de verre en fusion (la paraison) tombe du feeder dans un moule préparatoire. Puis cette goutte de verre est pressée pour former une ébauche du produit.

La préforme obtenue est démoulée et transférée vers le moule final, puis elle est réchauffée pour être terminée par soufflage. Cette technique, appelée pressage-soufflage, est d'abord développée pour la fabrication des emballages à large ouverture et ensuite, se révélant supérieur au soufflé-soufflé quant à la répartition du verre, elle est utilisée pour certains articles à étroite ouverture et semble devoir s'imposer pour l'obtention des emballages allégés.

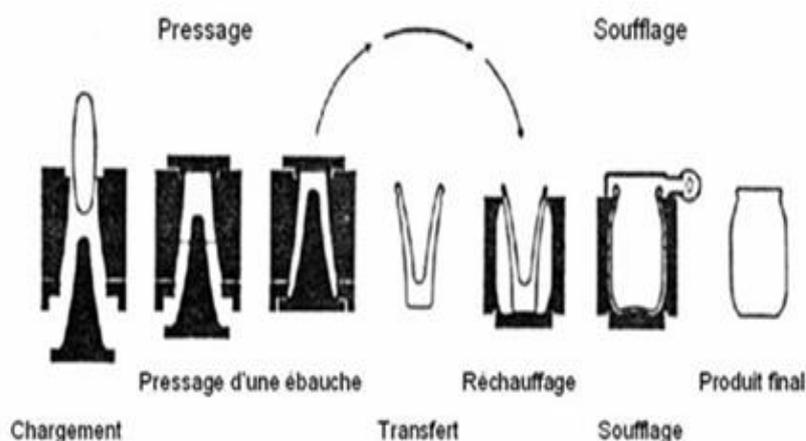


Figure 26 : Le procédé pressé-soufflé.

- **Procédé ‘pressé-soufflé-tourné’**

C'est un procédé mal connu, utilisé dans la fabrication des gobelets. L'ébauche est pressée puis mise en rotation dans le moule finisseur lors du soufflage, cela permet la disparition des traces de moule et l'obtention des parois minces.

7- Traitements de surface des verres et arche de recuisson

A la sortie de la machine IS, la température du verre est d'environ 650 °C. Les parois extérieures du récipient vont se refroidir brusquement et se contracter, tandis que l'intérieur réagit avec plus de lenteur en raison de la mauvaise conductivité thermique du matériau, d'où une série de contraintes d'extension qui fragilise et risque de provoquer une casse ultérieure. Afin de relâcher et d'égaliser ces contraintes, le verre est soumis à un traitement thermique aux environs de 550 °C, température à laquelle les différentes contraintes se relâche et s'annulent.

La résistance mécanique dépend surtout de la présence ou non de défauts de surface et afin de limiter les conséquences de ces micro-défauts, on pratique des traitements de surface soit à chaud, soit sur la bouteille refroidie.

✓ **Traitement "à chaud"**

Il intervient entre la sortie du moule finisseur et le passage dans l'arche de recuisson (560°C). Il a pour but d'empêcher la propagation des microfissures créées pendant le formage et l'apparition de fissures nouvelles. Il permet donc l'augmentation de la dureté des emballages en verre et le bon accrochage du deuxième traitement déposé après l'arche de recuisson. Il consiste à projeter sur le récipient, des vapeurs d'halogénures métalliques (étain ou titane) qui réagissent avec la surface du verre pour former des oxydes (SnO_2 , TiO_2), en couche invisible de quelques nanomètres d'épaisseur (environ 5 nm).

✓ **Traitement "à froid"**

En combinaison avec le traitement à chaud, il a pour objet d'augmenter le coefficient de glissement du verre, ce qui permet de transporter les bouteilles à haute cadence sur les convoyeurs des verreries ou les lignes d'embouteillages. Le traitement à froid permet aussi de limiter les risques de frottement. Ce traitement s'effectue à la sortie de l'arche de recuisson à la température de 100 à 120 °C. Il consiste à déposer sur la surface des articles un film protecteur de cire de polyéthylène par exemple (épaisseur : 1 μm). L'opération est réalisée par pulvérisation sur l'extérieur des articles.

8- Contrôle de qualité

Sur les convoyeurs qui véhiculent les bouteilles jusqu'aux palettiseurs, différents contrôles sont effectués. Tous les emballages sont contrôlés par des machines électroniques qui vérifient principalement leur dimension, leur résistance et leur aspect (détection des fissures et des défauts d'aspects). Des mesures sont également effectuées sur des prélèvements statistiques.

Les défauts sont critiques, majeurs, ou mineurs :

- **Défauts critiques** : défauts qui peuvent provoquer des dommages physiques au consommateur du produit. Ils entraînent le refus du lot considéré.

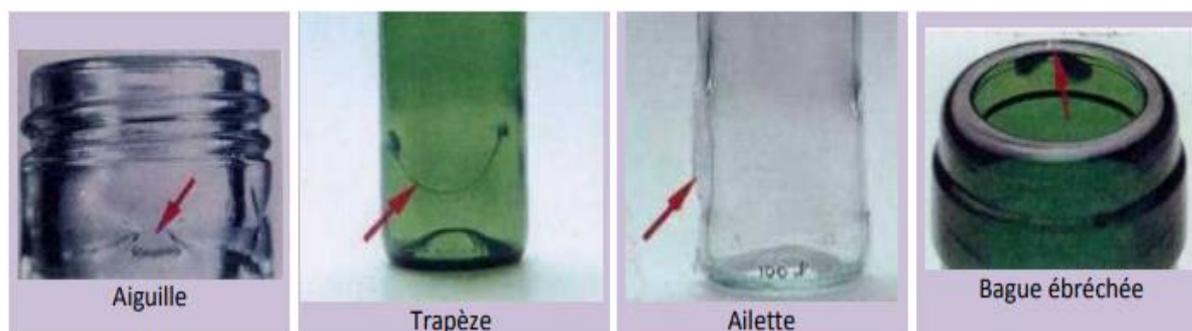


Figure 27 : Défaut critiques.

- **Défauts majeurs** : défauts qui peuvent rendre inutilisable le récipient ou provoquer la détérioration du produit.



Figure 28 : Défaut majeurs.

- **Défaut mineur** : défauts de nature esthétique qui ne compromettent pas la fonctionnalité du récipient ou son emploi sur la ligne de conditionnement. Des défauts mineurs de grandes tailles peuvent être classés en défauts majeurs.



Figure 29 : Défaut mineurs.

Le contrôle qualité est d'une grande utilité, aussi bien pour le client que pour le fournisseur, car il permet de vérifier que les produits sont conformes aux spécifications du client d'une part et révèle les dérives du procédé de fabrication d'autre part.

Chapitre 4

Le métal

Introduction

Depuis sa première utilisation en 1812 en Grande-Bretagne et en 1824 en France pour la conserve alimentaire, la boîte métal a connu bien des révolutions. Les fabricants de boîtes ont mis à profit les innovations techniques pour améliorer la qualité et la sécurité des boîtes mais aussi pour préserver l'environnement.

L'emballage métallique est l'emballage primaire le plus recyclé au monde. Le métal a la particularité d'être indéfiniment recyclable sans pertes de ses propriétés intrinsèques. Deux grandes familles sont utilisées dans l'emballage métallique alimentaire, l'aluminium et l'acier (fer-blanc ou fer chromé).

1- Aluminium

1-1- Historique

- ✓ **1821** : découverte de la bauxite, la roche sédimentaire à partir de laquelle l'alumine est extraite principalement composée d'hydroxydes d'aluminium associés à des oxydes de fer et des impuretés tel que la silice, par le minéralogiste et ingénieur français Pierre Berthier (France – Baux-de-Provence).
- ✓ **1854** : découverte du procédé chimique de fabrication de l'aluminium (France – Paris) par le chimiste Henri Sainte-Claire Deville.
- ✓ **1886** : découverte du procédé de production industriel par les « jumeaux » de l'aluminium P. Héroult (France) et Ch. M. Hall (Etats-Unis).
- ✓ **1887** : création de la *Société Electrometallurgique Française* qui ouvre à Froges (France – Isère).
- ✓ **1888** : mise au point du procédé Bayer du procédé d'alumine (Russie).
- ✓ **1907** : démarrage de l'usine de Saint-Jean-de-Maurienne (France – Savoie).

1-2- Propriétés de l'aluminium d'emballage

- Élément chimique de symbole **Al**, malléable de couleur argentée.
- Métal léger, comparé à d'autres matériaux, de masse volumique 2.698 g/cm^3 et le ratio poids-contenu est plus avantageux. Il fond à $660 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Dans la nature, il n'existe cependant pas à l'état pur mais sous forme d'oxyde.

- Ressource présente : La bauxite, matière première permettant de produire l'aluminium est la troisième ressource la plus abondante sur terre (après l'oxygène et le silicium) et est quasi-inépuisable.
- Résistant à la corrosion (anti-corrosif) grâce à une mince couche d'oxydation de 5 à 10 nm qui se forme rapidement quand on l'expose à l'air et qui empêche la corrosion de progresser.
- Naturellement étanche, dont ses propriétés barrières protègent l'ensemble de l'emballage de tout élément externe ayant un effet néfaste (bonne imperméabilité aux gaz).
- Neutre, dont l'emballage en aluminium n'a aucune incidence sur le goût (conservation des propriétés organoleptiques) et sur la santé.
- Bonne conductivité thermique (facilité de chauffage ou de refroidissement).
- Grande résistance mécanique aux contraintes et aux chocs.
- Bonne compatibilité avec la majorité des produits alimentaires.
- Recyclable, dont les produits en aluminium se recyclent facilement et requièrent peu d'énergie pour concevoir des matières de deuxième vie.
- Possibilités d'innovations : La surface confère une excellente base de traitement pour innover.

1-3- Production industrielle de l'aluminium

a- Extraction de la bauxite

Pour obtenir de l'aluminium, on part d'un minerai, la bauxite, dont on extrait par le procédé de Bayer (procédé chimique), l'oxyde d'aluminium appelé alumine (Al_2O_3).



Figure 30 : Photo de la bauxite.

Le procédé Bayer est un procédé d'extraction par dissolution à haute température et haute pression de la gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$ et ou de la boehmite $\text{AlO}(\text{OH})$ (hydroxydes d'aluminium) contenue dans la bauxite par une solution concentrée de soude.

Voici un schéma représentant toutes les étapes du procédé :

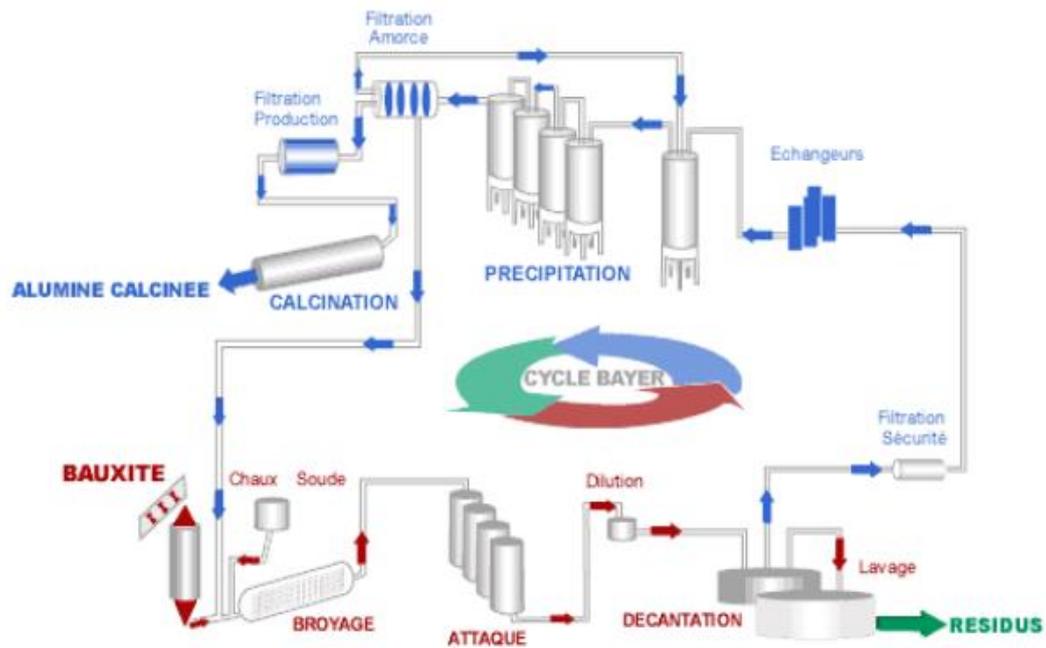
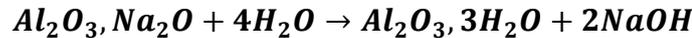


Figure 31 : Procédé de Bayer.

- 1- **Broyage** : la bauxite est broyée en fines particules pour faciliter l'extraction. Elle est stockée dans un silo après avoir été tamisée pour arriver à une granulométrie de 0 à 0,3 millimètres.
- 2- **L'attaque** : la bauxite est mélangée avec la soude caustique très concentrée (200 à 250 grammes par litre) et de la chaux à haute température (250°) et sous pression (35 à 40 bars). L'opération se fait en introduisant la bauxite par pesée automatique dans des autoclaves à double parois de 1,5 mètre de diamètre et de 3 à 4 mètres de long, munis d'agitateurs. Petit à petit on introduit jusqu'à trois tonnes de bauxite, et on met les agitateurs en marche. L'opération prend trois heures environ. La bauxite se transforme en aluminate de soude soluble. Ce n'est qu'à chaud que l'alumine peut se dissoudre dans la soude, qui ne réagit qu'avec l'alumine : les résidus (oxyde de fer, silice, oxydes divers) sont des impuretés appelés « boues rouges ».
- 3- **Décantation** : on sépare la phase liquide, riche en aluminium, de la phase solide. Les insolubles (boues rouges) sont alors séparés dans des décanteurs. Pour activer cette décantation, on fait coaguler avec des flocculants comme l'amidon. La liqueur d'aluminate est ensuite filtrée pour la débarrasser des impuretés à l'aide d'un filtre-pressé, puis en passant sur un tamis à mailles de 3 mm. Après avoir été séparées de la liqueur d'aluminate, les boues sont lavées pour en extraire le maximum d'aluminate par plusieurs dilutions et

décantations. On obtient une liqueur, l'aluminate de sodium, débarrassée de ses impuretés.

- 4- Précipitation :** la liqueur de l'aluminate de soude purifiée est ensuite refroidie et diluée (décomposé par hydrolyse) pour faire précipiter l'aluminium sous forme d'hydrate d'alumine ($Al_2O_3, 3H_2O$), suivant la réaction :



- 5- Calcination :** l'alumine chauffée à plus de $1000^\circ C$ pour la déshydratée. Le produit obtenu en fin de cycle est une poudre blanche d'alumine (Al_2O_3).

b- Electrolyse de l'alumine

L'aluminium est obtenu par électrolyse de l'alumine selon le procédé découvert en 1886 par l'Américain *Charles Martin Hall* et le Français *Paul Héroult*.

Le procédé consiste à réduire par électrolyse de l'alumine dissoute dans un bain de cryolithe (fluorure double d'aluminium et de sodium – $AlF_3, 3NaF$) fondue à environ $950^\circ C$, dans une cuve garnie de carbone (la cathode), traversée par un courant électrique de haute intensité (100 kA) sous une tension de 4,5 V.

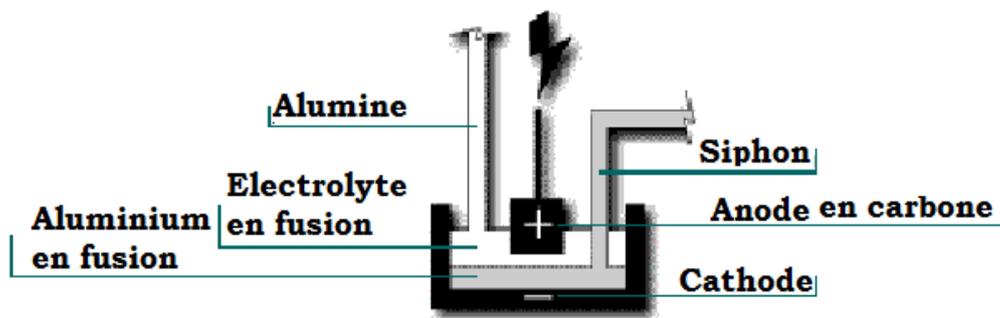
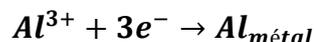


Figure 32 : Schéma de la cuve d'électrolyse.

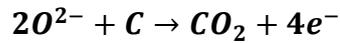
- L'alumine se compose d'aluminium et d'oxygène, elle se décompose dans le bain fluoré d'électrolyse, en fusion, selon la réaction suivante :



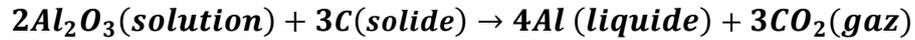
- Suivant le principe de l'électrolyse, un courant électrique continu circule entre l'anode (pôle +) et la cathode (pôle -). L'aluminium se dépose au fond de la cuve (cathode) selon la réaction :



- À l'anode, sous l'effet de la haute température, l'oxygène réagit immédiatement avec le carbone de l'anode pour se dégager sous forme de grosses bulles de CO_2 qui s'échappent dans l'atmosphère :



- Le phénomène global se traduit par la réaction :



- L'aluminium en fusion est siphonné du fond de la cuve au cours d'un procédé appelé coulée.

c- Transformation de l'aluminium

1- Fonderie : La fonderie assure la mise en forme de l'aluminium en lingots, en plaques et en bandes. Elle dispose à cet effet des installations de coulée semi continue et de coulée continue.

- ✓ **Coulée semi continue :** Utilisée principalement pour la fabrication de lingots et des plaques de grande dimension (8 m de hauteur, 2 m de largeur et 60 cm d'épaisseur). Un schéma du système de coulée semi-continue verticale est présenté à la Fig. 33. Le système est composé d'un ascenseur, d'un bloc refroidisseur, d'une lingotière et d'un alimentateur ;

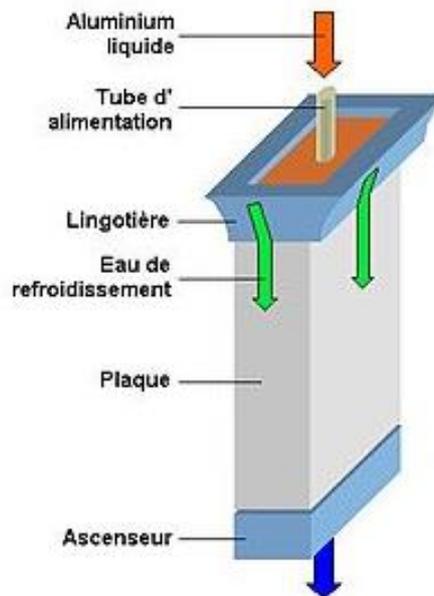


Figure 33 : Schéma de la coulée semi-continue verticale.

- ✓ **Coulée continue** : l'aluminium liquide se solidifie et forme une bande de métal de 3 à 9 millimètres d'épaisseur et de 1 à 2 mètres de large, qui est enroulée plus loin sur un mandrin.

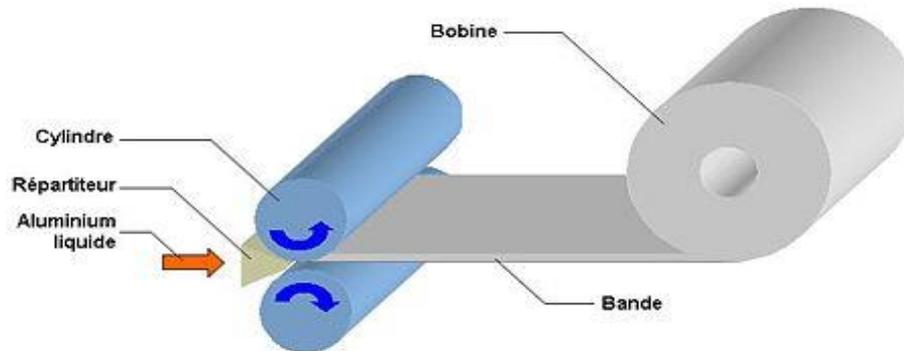


Figure 34 : Schéma de la coulée continue entre cylindre.

2- Laminage

Le laminage permet d'obtenir des tôles ou bandes d'aluminium pour la fabrication de tous produits légers de grandes surfaces nécessitant des propriétés mécaniques performantes.

- ✓ **Laminage à chaud** : consiste à écraser en plusieurs passages successifs sous les cylindres d'un laminoir une plaque d'aluminium de forme parallélépipédique préalablement préchauffée dans un four pour améliorer la malléabilité.
- ✓ **Laminage à froid** : La plaque laminée à chaud a une épaisseur supérieure à 6 mm, Cette dernière préalablement refroidie, subit un laminage à froid dans un premier laminoir à froid dit « quarto » en quelques passes de préparation et est bobinée en rouleau. La bobine ainsi préparée subit quelques passes de finition dans un deuxième laminoir quarto à froid. Cette plaque d'aluminium, qui fait l'objet d'un premier laminage à chaud, puis d'un laminage à froid, présente une épaisseur pouvant atteindre 6 microns (papier d'aluminium).

d- Alliages de l'aluminium

L'aluminium est capable de s'associer avec grand nombre d'autres éléments pour former beaucoup d'alliages différents ayant des propriétés très larges et permettant de satisfaire un grand nombre d'applications. Les éléments d'alliage les plus courants sont le magnésium, le silicium, le cuivre, le manganèse et le zinc, seuls ou en combinaison.

Les alliages spécifiques pour l'alimentaire contiennent principalement du fer, du manganèse et du magnésium, ces alliages assurent une bonne résistance à la corrosion et une meilleure mise en forme.

2- Acier

2-1- Historique

- ✓ La première apparition de l'acier sous sa forme la plus primaire se situe entre 1650 et 1700 avant notre ère, chez les peuples d'Asie mineure (Caucase).
- ✓ Après des débuts hésitants dans les premières années du 19^{ème} siècle, la Sidérurgie moderne naît vers 1960 et n'a en fait gardé, du siècle précédent que les principes de base.
- ✓ De nos jours, il existe plus de 3000 nuances d'acier et celui-ci est le deuxième matériau le plus utilisé au monde.

2-2- Propriétés générale de l'acier d'emballage

- Métal plus dur que le fer, obtenu par alliage dont les constituants de base sont le fer et le carbone (moins de 1,8%).
- Présente une bonne tenue aux chocs ainsi qu'une haute résistance mécanique.
- Etanchéité au gaz, à la lumière, à la vapeur d'eau et aux odeurs.
- Grande plasticité et s'adapte à toutes les formes et économique.
- Solide et résistant au froid et au chaud et peut être traité thermiquement pour obtenir un changement de ses propriétés et/ou de sa structure.
- Bon matériau pour impression et décoration de l'emballage.
- Mauvaise résistance à la corrosion.
- Collecté avec d'autres déchets d'emballages, il se trie aisément du fait qu'il est magnétique. Un simple aimant permet de le séparer des autres déchets.
- Recyclable facilement et indéfiniment.

En industrie alimentaire :

- **Fer blanc** : Principal matériau pour les boîtes à conserve. Il est présenté sous forme d'une feuille mince (tôle) d'acier doux (teneur en carbone < 0,08 %) revêtu électrolytiquement d'une couche d'étain pur sur ses deux faces.
- **Fer chromé** : Appelé ECCS (*Electrolytic Chromium Coated Steel*) ou TFS (*Tin Free Steel*), moins cher que le fer-blanc et dont le métal de base lui est identique. Il est recouvert par électrolyse de chrome (épaisseur : 10 nm) et d'oxyde de chrome (épaisseur : 5 nm) au lieu d'étain. Il est verni sur ses deux faces et il est surtout utilisé pour la fabrication des fonds de boîte de conserve, des couvercles et des boîtes embouties en deux

pièces, rondes ou rectangulaires comme les boîtes à sardines ou ovales comme les boîtes à pilchards.

2-3- Production des matériaux

a- Fabrication de l'acier

Il existe deux modes de fabrication de l'acier, à partir du minerai (filrière fonte) ou à partir de ferrailles (filrière électrique).

✓ Filrière fonte

1- Fabrication de la fonte : Le minerai de fer (composé d'oxyde de fer) et le coke (carbone pur) sont introduits dans un haut-fourneau. Au bas du haut-fourneau, on récupère la fonte, mélange liquide à 1400°C composé à 96% fer et 4% de carbone, qui est acheminée par wagon vers l'aciérie.

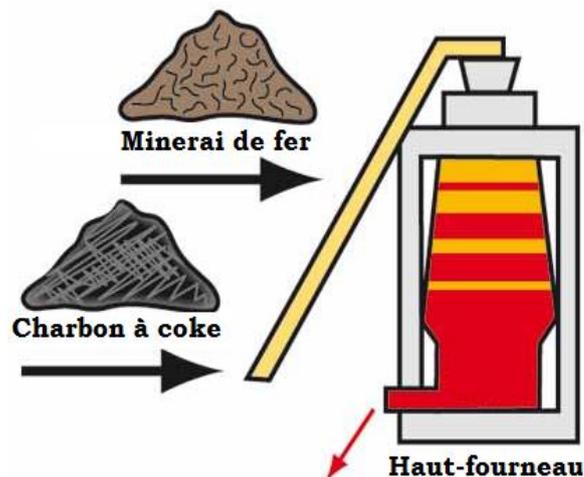


Figure 35 : Fabrication de la fonte.

- 2- Elaboration de l'acier sauvage :** Dans l'aciérie, la fonte liquide est versée dans un convertisseur avec de l'acier usagé (ferraille). Par action du dioxygène, on élimine la majeure partie du pour obtenir de l'acier sauvage.
- 3- L'affinage :** L'acier, qu'il soit d'origine fonte ou électrique, est ensuite affiné, c'est-à-dire que l'on ajuste sa composition chimique par ajout de différents métaux (manganèse, nickel, chrome,...).
- 4- La coulée continue :** L'acier liquide est en ensuite versé dans des moules rectangulaires d'où il sort en continu. Il se refroidit peu à peu sous la forme d'un épais ruban d'acier que l'on coupe aux longueurs voulues : les blooms, les bielles et les brames.

- 5- **Les laminages à chaud et à froid** : Les blooms, les bielles et les brames sont réchauffés, de 800°C à 1200°C, et amincies et l'épaisseur de la bande d'acier est entre 1,2 et 5 mm. Un second laminage à froid est réalisé pour mettre l'acier à l'épaisseur voulue par le client.
- 6- **Le recuit** : Un traitement thermique à 800°C va rendre le métal plus malléable pour pouvoir le mettre sous la forme d'une canette, par exemple.
- 7- **L'écrouissage** : C'est le durcissement par déformation plastique, réalisé sur un laminoir à deux cages, son but est de rendre à l'acier ses caractéristiques mécaniques, de créer le profil de rugosité, d'affiner la planéité.

✓ Filière électrique

Cette filière utilise des ferrailles recyclées (vieilles voitures, bateaux, boîtes de conserve, etc...) et le tri se fait par aimantation. Une fois le four chargé, on fait jaillir un arc électrique entre les électrodes et la ferraille. La température au sein de l'arc atteint 10000 °C et les ferrailles sont fondues en moins d'une heure. On obtient ainsi de l'acier sauvage.

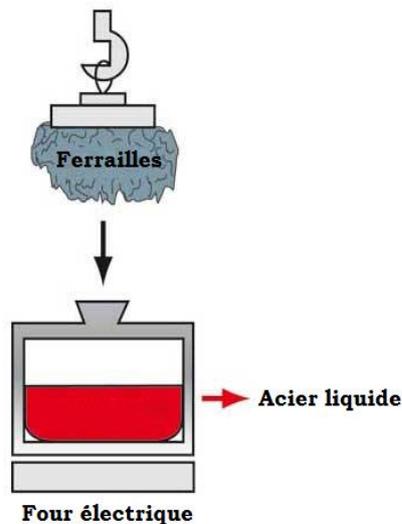


Figure 36 : Filière électrique.

b- Fabrication du fer blanc

Après sa production, l'acier brut subit un traitement réalisé par un enchaînement d'opérations pour l'obtention du fer blanc.

- 1- **Dégraissage** : Se fait à l'aide d'une lessive (type poudre à laver), à chaud ou à l'aide d'un solvant approprié (acétone...) à la température ambiante. Il permet l'élimination des souillures grasses dues à l'écrouissage.

- 2- Décapage** : C'est l'élimination des oxydes superficielles et quelques pollutions minérales à l'aide d'une solution acide (HCl ou H₂SO₄), pendant quelques minutes à la température ambiante, dans une solution d'acide ou sous électrolyse.
- 3- Etamage électrolytique** : Après le dégraissage et le décapage, la bande d'acier est revêtue d'étain par électrolyse.
- 4- Refusion** : À la sortie de la zone d'étamage, le revêtement a un aspect gris mat, terne et il se raye facilement. Pour certaines gammes de produits il est procédé à une fusion de l'étain par conduction et induction suivie par une trempe, qui donne sa brillance et améliore l'adhérence de l'étain par la création d'une interface d'alliation entre le fer et l'étain.
- 5- Passivation** : Un traitement de passivation est ensuite réalisé sur la couche d'étain afin d'améliorer la résistance du fer blanc à la rouille. Il a comme effet de stabiliser l'oxydation de l'étain à l'air, d'améliorer l'adhérence des vernis et d'éviter la sulfuration de l'étain avec certains produits alimentaires. Le traitement le plus couramment réalisé est fait par passes cathodiques dans un bain de bichromate de soude (Na₂Cr₂O₇), qui s'achève par rinçage.
- 6- Huilage des bandes** : L'huilage permet de prévenir les rayures et facilite l'engagement dans les machines.

c- Fabrication du fer chromé

La bande d'acier brut, destinée à la production du fer chromé, subit des traitements préliminaires de nettoyage, de dégraissage et de décapages similaires à ceux du fer blanc, puis elle est revêtue de chrome par électrolyse à partir d'un bain d'acide chromique. Enfin, elle doit subir un rinçage pour l'élimination des traces de solution chromique et s'achève par un séchage et huilage.

3- Vernis

Certains matériaux métalliques comme l'aluminium ou le fer chromé sont souvent vernis sur les deux faces intérieure et extérieure.

Les vernis, ou revêtements organiques, sont utilisés pour plus de 95 % des boîtes et constituent l'interface entre le métal et le produit conservé. La fonction essentielle des vernis est de minimiser les interactions des métaux de l'emballage avec les produits conditionnés et le milieu extérieur. A l'extérieur, les revêtements organiques assurent simultanément la fonction de protection et de décoration.

Les vernis à l'interface entre métal et contenu ont un rôle clé vis-à-vis de la qualité finale des boîtes ; ils constituent un domaine spécifique dans la technologie de l'emballage métallique.

3-1- Propriétés des vernis

a- Physiques

- Adhérence et souplesse pour l'application,
- Dureté suffisante pour éviter les rayures,
- Adhésion au support.

b- Chimiques

- Résistance à la stérilisation, l'acidité, présence d'oxygène.
- Présence de composés réagissant avec le fer blanc (sulfures, nitrates).

Le choix du vernis se fait en fonction du type d'aliment.

3-2- Constituants de vernis

- ✓ **Matière filmogène** : C'est la base du vernis, permet de former un film protecteur ;
- ✓ **Solvants** : peuvent être des solvants organiques ou eau, donnent la stabilité liquide et la viscosité ;
- ✓ **Additifs technologiques** : moins de 1%, ajoutés pour ajuster les propriétés du vernis ;
- ✓ **Pigments** : ils confèrent de l'opacité et de la couleur au vernis, tels que : l'oxyde de titane (aspect émail, jugé plus sanitaire) et le pigment d'aluminium (aspect métallisé, amélioration barrière) ;
- ✓ **Oxyde de zinc et carbonate de zinc** : piégeage des composés sulfurés.

3-3- Types de vernis

- ✓ **Epoxyphénoliques** : Les plus universels, sont utilisés pour le corps et le fond des boîtes trois pièces et pour les emboutis moyens en raison de l'équilibre qu'ils présentent entre souplesse et résistance ;
- ✓ **Epoxyaminoplastes** : Conviennent aux canettes alimentaires deux pièces, en raison de leur inertie et peuvent être appliqués au pistolet ;
- ✓ **Epoxyanhydrides** : Pigmentés à l'oxyde de titane, pour leur équilibre entre souplesse et résistance, constituent un revêtement blanc intérieur et servent aux boîtes trois pièces pour leur compatibilité au pigment de TiO_2 ;

- ✓ **Polyesters** : Sont utilisés pour les intérieurs emboutis et les couvercles à ouverture facile, et peuvent être associés en couches à d'autres vernis ;
- ✓ **Organosols vinyliques** : Films épais très souples, servent pour les emboutis profonds et les couvercles à ouverture facile.
- ✓ **Oléorésineux** : Sa fabrication comprend la cuisson d'huile et de résine naturelle, très utilisées aux USA (fruits et légumes).

Références bibliographiques

- AMINATA ELHADJI LY. (1995), Etude de l'implantation d'une unité de fabrication de verre au Senegal, Projet de fin d'études, Université Cheikh Anta Diop.
- AUCHET O. (2005), Contribution à la modélisation simplifiée des fours verriers, Thèse de Doctorat, Université de Lorraine.
- BARTON J. et GUILLEMET C. (2005), Le verre science et technologie. Chimie/Matériaux, EDP science, France.
- BEDEL M. (2014), Étude de la formation des structures de solidification et des macroségrégations en coulée semi-continue d'aluminium, Thèse de Doctorat, Université de Lorraine.
- BENMEZIANE F., Cours Emballage et Stockage des aliments. Chapitre I : Emballage. Pages 1-14.
- BERNOT E. et HOUSSOU M. (2013), Autour du carton, GUIDE PRATIQUE, D-CARTON.
- Biomasse Normandie (2007), Etude sur la mobilisation de ressources ligneuses pour le développement de chaufferies bois sur le territoire du PAPAO, Rapport final, Pays d'Argentan Pays d'Auge Ornaïs.
- BLANC L. (1961), Valeur papetière, pour papier kraft, des bois résineux exotiques, Revue forestière française, P. 558-566.
- CAGNON T., Matériaux d'emballage, UMR 1208 Ingénierie des Agro-polymères et Technologies Emergentes, Université Montpellier II.
- DE BIASI P-M. (1997), Le papier, fragile support de l'essentiel, N°4, 7-17.
- DESCHAMPS D. (1998), Régulation d'une ligne d'étamage électrolytique, Thèse de Doctorat, UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE.
- DESOBRY S. (2009), Polycopiés du cours emballage, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, l'institut National Polytechnique de Lorraine (I.N.L.P.) de Nancy, France.
- DUPUIS V. (2009), Etats de la matière Verres et transition vitreuse, Université Pierre et Marie Curie.
- ÉTIENNE B. et MANUELA H. (2013), Autour du carton, Guide pratique, Technologie 3^e.
- FALIPOU M. (1998), Tribologie du contact verre-métal à haute température- Application au formage du verre creux, Thèse, Ecole centrale de Lyon.
- GRANGE-REYNAS C., Seconde étape de l'élaboration de l'aluminium : la transformation de l'alumine en aluminium, Chap. 1 Cycle de vie des matériaux.

- GUILLARD H. et TOUREN E. (1951), L'aluminium, Adaptation pédagogique des Commissions de l'Institut Coopératif de l'Ecole Moderne, Cannes.
- LE CORRE B. (2014), Thermoformage du verre Développement numérique d'un modèle thermomécanique, Thèse de Doctorat, Université de Lorraine.
- LEFAUX P. (1947), L'industrie du fer blanc et des emballages métalliques, Office scientifique et technique des pêches maritimes, Notes et rapport (Nouvelle série), ARDÈCHE, Paris.
- LEFAUX R (1967), Emballages et Conditionnements d'aujourd'hui, Compagnie Française d'éditions, 8e, Paris.
- LESCLOUS R. (1999), Histoire des sites producteurs d'aluminium, Les Presses de l'École des Mines, Paris.
- MORIN G. et VERNAZ E. (1997), LE Verre et la vitrification : thème 1, Université d'Été CEA VaIrhò.
- NGUYEN D-H. (2011), Prédiction de la fissuration à chaud par la modélisation de la coulée semi-continue d'un lingot d'aluminium 5182, Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en génie de la métallurgie pour l'obtention du grade de Maître es Science (M. Sc), Québec.
- ONDEF (1ère édition : 1987 – 2e édition : 2004), Fédération française du cartonnage, Code des usages de l'industrie du carton ondulé.
- PAJEAN G. (2007), L'élaboration du verre, Une petite encyclopédie du verre, Vol.13 N°5, P.14-17.
- PAJEAN G. (2007), Fabrication du verre creux, Une petite encyclopédie du verre, Vol.13 N°6, P.8-13.
- PASCAL PROVER R. (2014), Procédés de fabrication, verre creux en agroalimentaire, pharmacie et cosmétique, CRITT Matériaux Alsace, Les contaminants et défaillances dans l'industrie pharmaceutique, cosmétique et agroalimentaire.
- PERRODIN M. (2011), Modélisation et simulation numérique du couplage entre hydrodynamique et réactions chimiques dans du verre fondu peuplé en microbulles, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse.
- Pro Carton (2008), Explication de la terminologie utilisée dans l'industrie du carton plat et les boîtes pliantes, Glossaire de l'industrie du carton plat et des cartonnages, 2nd Edition.
- RICHET P. (2007), Une brève histoire du verre, Une petite encyclopédie du verre, Vol.13 N°4, P. 4-8.

- SALAMIN A. (2013), L'aluminium, Edition numérique, Dans *Echos de Saint-Maurice*, 1968, tome 66, p. 28-38.
- SCHYNS H. (2008), Cours de CHIMIE DES MATERIAUX - Verres -, version provisoire.
- TRIOLET J et PETIT J-M. (1999). Fonderies d'aluminium, Risques et prévention. Edition INRS ED 803, Paris.
- VALORLUX (2009), Emballages, Tri et Recyclage, Guide de l'Enseignant Secondaire, Luxembourg.
- VIGNES J.-L., ANDRÉ G. et FOUSSE D. (1994), Une vie de fer-blanc Expériences sur l'élaboration, les propriétés et le recyclage d'un matériau, Bulletin de l'union des physiciens, Vol. 88 ; P.627-652.
- VIGNES J- L. et I. BEURROIES I. (1997). Une vie de verre *Expériences sur l'élaboration et les propriétés d'un matériau*, Bulletin de l'union des physiciens, Vol. 91, P. 197-213.
- VIRGINILLO M. G. (2011). Méthodes d'analyses du cycle de vie des emballages, Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en génie mécanique pour l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M. Se.), Université Laval, Québec.