

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA – BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie des Procédés
Option : Génie des polymères et composites

Thème

***CARACTÉRISATION PHYSICO-MÉCANIQUE DU CARTON
ONDULÉ PAR MESURE DE LA RÉSISTANCE A LA
COMPRESSION SUR CHANT***

Réalisé par :

Mr DEBBOUZ Fahim
Mr SLIMANI Nadir

Devant le jury

Président: Pr. H.DJIDJELLI
Promoteur: Dr. D.E.KATI
Examineur: Dr. H.TIGHZERT

Promotion : 2012-2013

Remerciements

Dieu merci le tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour effectuer ce travail.

Nous Tenons à exprimer notre reconnaissance à Mr D.E .KATI pour avoir dirigé ce travail, pour son aide très précieuse, sa disponibilité et son dévouement a notre travail.

Nous tenons aussi à remercier Mr T.BERRAKI notre Co-promoteur et ses collègues au sein de l'entreprise de Général Emballage pour leurs aide pendant notre stage pratique et leurs conseils et remarques qui nous ont été d'un grand profit.

Nous tenons également à remercier les membres du jury pour avoir accepté d'examiner et de juger notre travail.

Nous remercions chaleureusement nos amis pour leur aide et à toutes les personnes qui ont contribué d'une façon ou d'une autre à l'accomplissement de ce travail.

Enfin un grand merci à nos familles, merci d'être présents à notre coté et de croire en nous.

Dédicace

Je dédie ce travail de plus profond de mon cœur :

A la mémoire de mon père ;

*A ma mère sans qui je ne serais pas devenu ce que je
suis maintenant ;*

A mes frères et sœurs ;

A mon collègue et sa famille ;

A tous mes amis et à tous ceux qui me connaissent ;

A tout la promotion de génie des procédés

FAHIM

Dédicace

Je dédie ce travail :

A mes parents, à qui revient tout le mérite

A mes frères et sœurs

A ma grande mère

A La petite Sara

A mes cousins et cousines

A tout mes amis

A mon binôme Fahim et toute sa famille

A toute la promotion Génie des procédés 2013.

NADIR

Liste des figures

Fig.1 : Images au microscope électronique d'une surface d'un papier de numérisation. Deux cas, le papier séché sous tension (gauche) et sans tension (droite), sont représentés [4].....	P2
Fig.2 : Les types de liaisons hydrogène sur les surfaces des fibres adjacentes.....	P4
Fig.3 : Proportions relatives de papier des matériaux d'emballages en carton aux Etats-Unis, 1997.....	P5
Fig.4 : L'emballage papier-carton : un secteur leader (France, 1999).....	P5
Fig.5 : La variation d'ECT en fonction : (a) la densité des couvertures, (b) la densité de la cannelure.....	P7
Fig.6 : Représentation des différents Types de carton.....	P9
Fig.7 : (a) Caisse (b) panneau de milieu cannelé prise en sandwich (c) Coupe transversale du panneau.....	P11
Fig.8 : Carton ondulé à paroi simple.....	P12
Fig.9 : (a) fibres des feuillus, (b) fibres des résineux, pour la fabrication du papier.....	P16
Fig.10 : Détails de la structure de fibre cellulosique.....	P17
Fig.11 : Constituants utilisés dans la production du papier.....	P18
Fig. 12 : Les trois parties principales de la machine à papier.....	P21
Fig.13 : Vue générale schématique d'un train onduleur.....	P22
Fig.14 : Fabrication du carton ondulé simple face.....	P22
Fig.15 : Caisses à rabats, le code FEFCO 0201.....	P23
Fig. 16 : Taux d'utilisation de papier et cartons recyclés.....	P25
Fig.17 : Types de caisse produite chez GE.....	P26
Fig.18 : Organigramme de l'entreprise Générale Emballage.....	P27
Fig.19 : Schéma du test ECT selon le standard FEFCO.....	P30
Fig.20 : Plotter de type 'Laser-Combinations System'.....	P31
Fig.21 : Les éprouvettes des tests.....	P31
Fig. 23 : Effet du type de la cannelure en double face (B et C).....	P34
Fig.24 : Effet du type de la cannelure en double/double (BE et la BC).....	P35

Fig. 25 : Effet du type de papier cannelé sur l'ECT (Comparaison entre FL127 et DS110).....	P36
Fig. 26 : Effet du type de papier cannelé sur l'ECT (HS127 et FL127).....	P36
Fig. 27 : Effet du type de papier couverture sur l'ECT (SM140, TE140).....	P37
Fig. 28 : Effet du type de papier couverture sur l'ECT (SM140 et TE140).....	P38
Fig. 29 : Effet du type de papier couverture sur l'ECT (KE140, SM140 et TE140).....	P38
Fig. 30 : Effet du blanchiment (TE140 et TB140).....	P39
Fig. 31 : Effet du blanchiment (SM140 et SKB140).....	P39

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des propriétés sélectionnées de bois et de papier.....P2

Tableau 2 : La consommation de carton ondulé par secteur d'activités (France, 1999).....P6

Tableau 3 : Effet du stockage.....P14

Tableau 4 : Pourcentages massiques (en %) des divers constituants chimiques des bois résineux et des bois feuillus.....P17

Tableau 5 : Caractéristiques de pâtes chimiques kraft de bois résineux et feuillus.....P19

Liste des abréviations :

CACQE : Centre Algérien de Contrôle et de Qualité et de l'Emballage
CMP : Pâtes chimicomécaniques (Chimical mechanical Pulp)
C.O: Carton Ondulé
CTMP: Pâtes chimiothermomécaniques (chemical thermomechanical pulp)
C_D: Direction Transversale
DF: Double face
DD: Double Double
DS : DuoSaica
DIN : Institut allemand de normalisation (Deutsches Institut für Normung)
D_x : résistance à la flexion en sens machine
D_y : résistance à la flexion en sens transversale
ECT : Test de compression sur chant (Edge Crush Test)
EN : Normalisation Européenne (European Normalisation)
FEFCO : Fédération européenne des fabricants de carton ondulé
FL: Fluting
HR : Humidité relative
HS : Hydrosaica
ISO : International Standard organization
KE: kraft Ecu
M_D: Direction machine
NF : Norme Française
PGW : A pression atmosphérique (Pressure Ground Wood)
RCV : Résistance à la Compression Verticale
RMP: pâte Mécanique Raffinée (Refined Mechanical Pulp)
SGW: Sous pression (Stone Ground Wood)
SKB: Semi kraft blanc
SM: Semi Kraft ecru
°SR: degree Schopper-Riegler
TB: Test Blanc
TC: Triple cannelure
TE: Test ecru
TMP:Pâte thermo-mécanique (Thermical Mechanical Pulp)
WA: Absorption de l'eau (Water Absorption)

Sommaire

Sommaire

I.	Introduction.....	1
II.	Synthèse bibliographique	Erreur ! Signet non défini.
	Chapitre 1 : Généralité sur le papier carton	Erreur ! Signet non défini.
	1. Définition.....	2
	2. Les différentes familles de papier et carton.....	3
	3. La nature des liaisons entre constituants fibrillaire	3
	4. Les modèles théoriques pour les propriétés mécaniques du papier.....	4
	5. Les applications du papier et cartons.....	4
	6. Production du papier-carton	5
	7. Propriétés et tests des papiers	6
	8. Emballage en carton ondulé	9
	9. Conformité des emballages	15
	Chapitre 2 : La matière première et procédés de fabrication du papier. Erreur ! Signet non défini.	
	1. Structure de la matière première.....	16
	2. Procédés de fabrication.....	18
	3. Préparation de la pâte	20
	4. La machine à papier.....	21
	5. Machine de fabrication du carton ondulé	21
	6. Transformation du carton ondulé	23
	Chapitre 3 : Normalisation et environnement.....	Erreur ! Signet non défini.
	1. Conception des emballages et environnement.....	24
	2. Normalisation et Réglementation	24
	3. Impact environnementale	24
	4. Recyclage.....	25
III.	Partie expérimentale.....	Erreur ! Signet non défini.
	Chapitre 1 : Matériel et méthode.....	Erreur ! Signet non défini.
	Chapitre 2 : Résultats et discussions.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.	Conclusion.....	41
V.	Références bibliographiques	42
VI.	Annexes.....	43

Introduction

I. Introduction

L'emballage, souvent considéré comme élément accessoire, voir annexe au produit, est devenu un facteur essentiel pour la conservation, la distribution, la promotion et la vente du produit. Il s'est imposé par les fonctionnalités qu'il a su développer, mais aussi par son pouvoir de séduction et de communication [1].

Le carton ondulé est en position de leader vis-à-vis des autres matériaux d'emballage et de conditionnement. Il occupe une part de marché de 76% en proportions relatives des matériaux d'emballages en papier. Cependant, l'efficacité et la qualité de ce type d'emballage dépend de plusieurs paramètres. En effet, pour un type de carton ondulé donné, le processus et les conditions de fabrication ainsi que le choix des matériaux, influent sur les propriétés du produit final. La première préoccupation des producteurs et utilisateurs, est la résistance de l'emballage aux différentes contraintes physiques et climatiques. A cet effet, plusieurs travaux de recherche et de développement traitent cette problématique avec beaucoup d'intérêt.

Dans ce contexte, notre travail consiste à évaluer la résistance à la compression sur chant (ECT) du carton ondulé. Les deux objectifs sont :

- 1- Etablir un état de l'art sur les différents facteurs influençant la résistance du carton ondulé aux multiples contraintes ;
- 2- La conception d'une base de données des résultats ECT. en fonction des différentes qualités du papier utilisées. La base de données produite sera utilisée au niveau du service qualité ainsi que le service commerciale de l'entreprise Général Emballage (lieu de notre étude).

La synthèse bibliographique réalisée est scindée en trois chapitres portant respectivement sur : le papier carton ; le procédé de fabrication du carton ondulé et les contraintes subies, et enfin les aspects normatifs et environnementaux. La partie pratique de notre étude regroupe un descriptif du matériel et méthodes utilisés, les principaux résultats et nos conclusions.

Synthèse

bibliographique

1. Définition

Le terme papier se réfère à un matériau en feuille qui est fait essentiellement à partir de fibres d'origine végétale (Voir la Fig.1) [3]. Ces fibres sont principalement extraites du bois ou de papiers et cartons récupérés pour être recyclées [4]. Le carton est le terme appliqué à des papiers souvent caractérisés par leur rigidité, généralement supérieure à celle des papiers. D'une manière générale, les matériaux de grammage supérieur à 225 g/m² sont considérés comme étant des cartons. Les propriétés du papier diffèrent sensiblement de celles des fibres utilisées (Voir tableau 1) [1, 3].

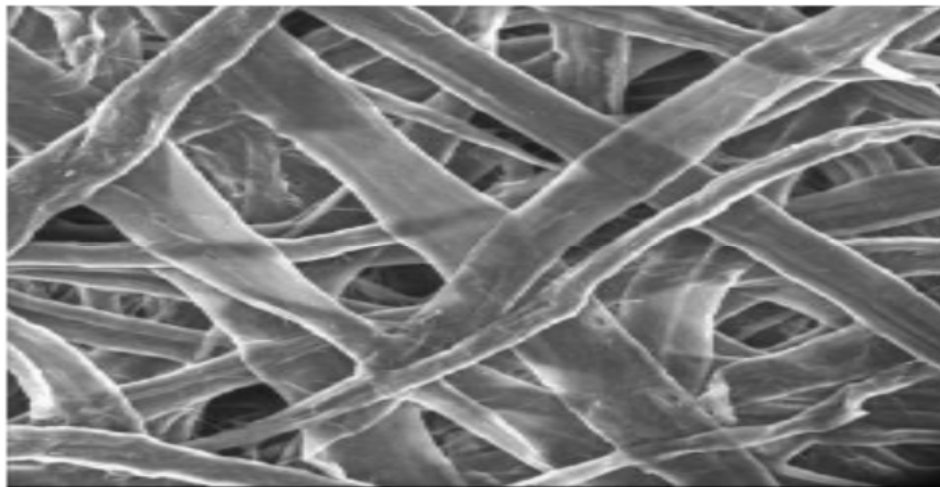


Fig.1 : Images au microscope électronique d'une surface d'un papier [5].

Tableau 1 : Comparaison des propriétés sélectionnées de bois et de papier [2].

Propriété	Bois	Papier
Densité (g.cm ⁻³)	0.3-0.5	0.5-1.5
Le module de Young (GPa)	1.3	1.8-4.3
résistance à la traction (MPa)	90-200	20-200
longueur de rupture (Km)	7-30	1-8
Allongement à la rupture (%)	0.6-0.8	0.8-4
l'alignement des fibres	Ordonné	aléatoire

2. Les différentes familles de papier et carton

Il existe un vocabulaire normalisé pour les pâtes, les papiers et les cartons décrit dans la norme NF Q 01-005 ou ISO 4046 [1].

On distingue quatre principales familles de papiers et cartons :

- les papiers à usage graphique : papiers journaux et papiers impression écriture (papiers à usage bureautique, livres, magazines, etc.) ;
- les papiers d'emballage et de conditionnement : papiers pour ondulé, emballage souple (sacs à ciment, pour boulangerie, etc.) et carton plat (emballages de parfums, liquides alimentaires, etc.) ;
- les papiers à usage domestique et sanitaire (essuie-tout, serviettes de table, hygiène féminine, etc.) ;
- les papiers à usage industriel et papiers spéciaux (filtres, supports pour abrasif, décor pour stratifier, papier photographique, etc.) [6].

3. La nature des liaisons entre constituants fibrillaire

L'étendue de la liaison est probablement la distinction unique la plus importante entre n'importe quels deux types de papier. Il est assez difficile d'évaluer l'ampleur de la liaison par des méthodes expérimentales directes. Cependant, des théories mathématiques ont été développées pour décrire l'état de la liaison dans les structures idéalisées qui peut ressembler de très près au papier. Il est généralement admis que, sur papier, des liaisons hydrogènes se forment entre les groupes hydroxyles des molécules de cellulose sur les surfaces des fibres adjacentes (Diffraction des rayons X et émission des spectres infrarouge). Les modes de liaison sont indiquées schématiquement sur la Fig.2 [7].

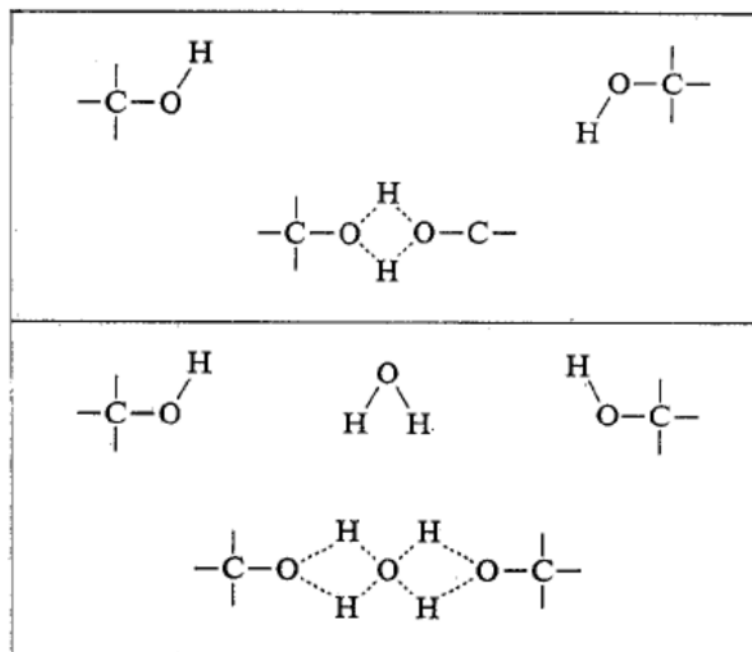


Fig.2 : Les types de liaisons hydrogène sur les surfaces des fibres adjacentes [7]

4. Les modèles théoriques pour les propriétés mécaniques du papier

Les modèles théoriques décrivant les propriétés mécaniques du papier (le module de Young E , le module de cisaillement G , le ratio de Poisson ν) comprennent ceux basés sur : les liaisons moléculaires entre les fibres, les réseaux de fibres, et une continuité orthotrope.

Nissan[®] a appliqué la théorie des liaisons hydrogène pour expliquer les changements dans le module de Young pour le papier en présence de différents solvants, et les effets sur les propriétés du papier de substitution chimique en fibres de cellulose. Un certain nombre de modèles théorique de papier sont basées sur les interactions à l'échelle du réseau en fibre optique. Glomb *et al.*, (1994) citent les exemples qui incluent des modèles de Cox (1952), Page et Seth (1980) et Van den Akker (1970). Certain modèle mécanique considèrent que le papier est une plaque orthotrope ou continue [8].

5. Les applications du papier et cartons

Les applications du papier se sont élargies dans de nombreux domaines au-delà de son usage initial en écriture et dans l'impression. Il rivalise maintenant avec le tissu, le plastique et les produits isolants [8].

Le carton ondulé est principalement utilisé pour la fabrication de conteneurs d'expédition. Il assure également l'amortissement, la protection mécanique et la construction de palettes.

Les contenants en carton sont utilisés dans presque tous les secteurs à travers le monde. L'importance du carton dans un emballage est clairement indiquée par ses utilisations : primaires, secondaires et l'expédition des conteneurs (tertiaire). La Fig.3 montre les proportions approximatives de boîtes de carton ondulé et d'autres matériaux d'emballage à base de papier produites aux Etats-Unis [9].

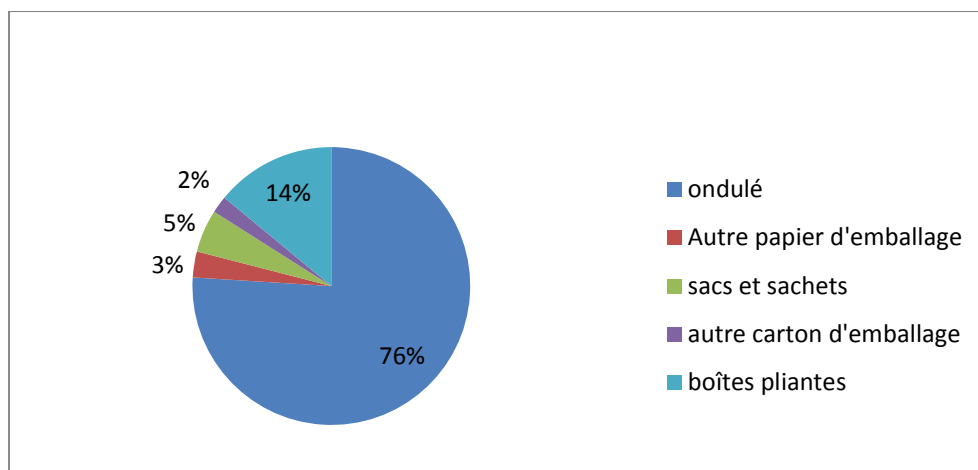


Fig.3: Proportions relatives de papier des matériaux d'emballages en carton aux Etats-Unis, 1997 [9].

6. Production du papier-carton

L'emballage papier-carton est un secteur leader, avec une consommation importante, particulièrement dans l'agroalimentaire (Voir la Fig.4 et le tableau 2) [10].

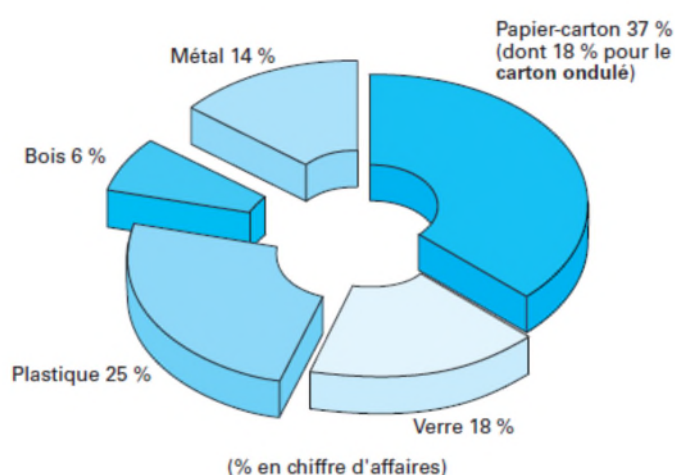


Fig.4 : L'emballage papier-carton : un secteur leader (France, 1999) [10].

Tableau 2 : La consommation de carton ondulé par secteur d'activités (France, 1999) [10].

Secteur	Consommation (%)
Épicerie	16.3
Produits laitiers	11.5
Liquides alimentaires	9.10
Fruits et légumes	4.7
Viandes et volailles	9.00
Agroalimentaire	50,60
Chimie et cosmétologie	15,80
Automobiles et machines	12.00
Meubles bois et papier	8,40
Autres industries	5,10
Textiles	4,60
Verre et faïence	3,40

7. Propriétés et tests des papiers

Les caractéristiques spécifiques du papier sont très variables, et ce, en fonction du type de papier. Néanmoins, il existe un certain nombre de propriétés qui sont caractéristiques de tous les papiers. Ce sont la non-homogénéité, hygroscopicité, anisotropie, et viscoélasticité. D'autres propriétés découlent des principales précédemment citées :

a. Propriétés de base

Les propriétés de base du papier comprennent les dimensions (épaisseur) et la masse. Le poids de base (grammage) m_A , est déterminé en conformité avec la norme ISO 536 (1995). La valeur m_A représente le rapport de la masse (m) sur la surface (A) d'un échantillon.

$$m_A = \frac{m}{A}$$

Une autre propriété fondamentale de papier est son épaisseur. ISO 534 (2003) spécifie un instrument de mesure avec deux surfaces qui détermine la distance entre les deux surfaces.

Le rapport entre le poids de base sur l'épaisseur est la densité du papier. La densité réciproque est le volume spécifique. La Fig.5 montre l'effet de la densité sur l'ECT [2].

La dilatation du papier par l'humidité, c'est à dire, le changement de dimensions avec l'évolution du climat ambiant, est aussi une propriété de base. Elle est standardisé dans la norme ISO 8226-1 (1994) et ISO 8226-2 (1990) [2].

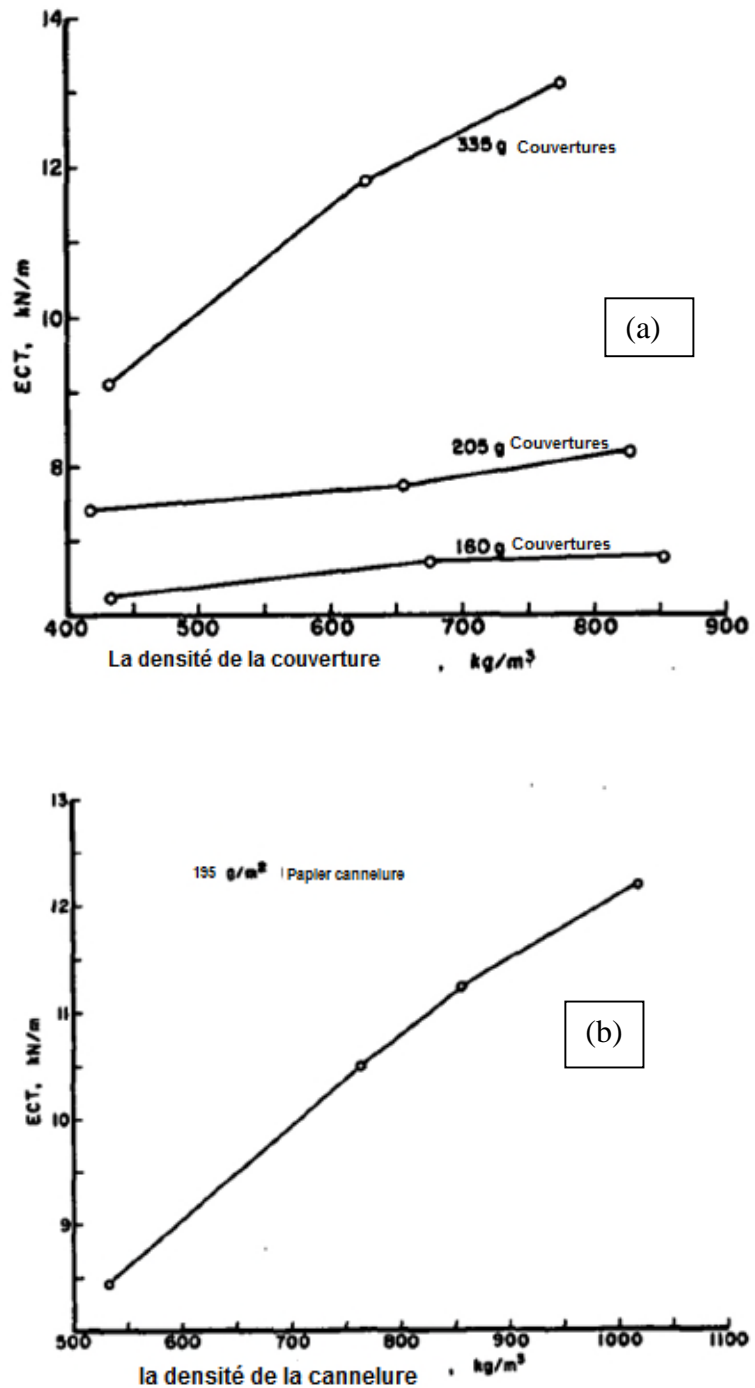


Fig.5 : La variation d'ECT en fonction : (a) la densité des couvertures, (b) la densité de la cannelure [11].

b. Propriétés de résistance

La résistance à la traction et la contrainte à la rupture sont déterminées comme valeurs caractéristiques de la résistance du papier (ISO 1924, 1992). L'indice de traction résulte de la résistance à la traction par unité de largeur (exprimée en $\text{N m}^{-1}\text{g}^{-1}$). La longueur de rupture est aussi d'une certaine importance en tant que valeur calculée.

c. Propriétés de surface

Un grand nombre de méthodes sont disponibles pour l'évaluation de la topographie de surfaces de papier. Le lissé Bekk est déterminé selon la norme ISO 5627 (2002). La détermination de la rugosité selon Bendtsen (ISO 8791/2-90) est liée à la méthode Bekk pour la détermination du lissage. Une autre propriété de la surface du papier est la résistance à l'abrasion. La résistance à l'abrasion mécanique des surfaces est déterminée avec l'utilisation d'un dispositif de meule abrasive (DIN 53109-93).

d. Propriétés optiques

La détermination du facteur de réflectance (degré de blancheur ISO) est basée sur la norme ISO 2470 (1999). Une autre propriété optique de papier est sa transparence. Cette dernière est une mesure de la transmission lumineuse. L'opacité est une mesure de l'imperméabilité à la lumière. Il est défini dans la norme ISO 2471 (1998).

e. Comportement face aux liquides

Le comportement des liquides vers le papier est caractérisé par les procédés de mouillage et de pénétration. Dans les deux cas, la propriété physique caractéristique est la tension de surface. L'absorption d'eau WA (Cobb) (ISO 535, 1991) se réfère à la quantité d'eau qui est absorbée par une certaine zone du papier au contact d'un côté pour un temps d'exposition donné.

f. Exclusion de gaz et de vapeurs

En règle générale, les papiers ont une capacité limitée à exclure les gaz et vapeurs. Particulièrement sont importantes : la perméabilité à l'air (par exemple, pour les propriétés de filtration) et la perméabilité à la vapeur d'eau. Il existe deux méthodes d'essai normalisées disponibles pour la détermination de la perméabilité moyenne de l'air: la méthode Bendtsen (ISO 5636-3, 1992) et la méthode de Schopper (ISO 5636-2, 1984) [2].

g. Propriété d'impression

Ces propriétés résultent des interactions complexes entre l'encre d'impression, le processus d'impression et le type de papier. Des tests d'imprimabilité sont nécessaires afin d'évaluer les propriétés d'impression [2].

8. Emballage en carton ondulé

a. Structure

Le carton ondulé permet de remplacer un lourd carton massif par plusieurs feuilles planes maintenues de manière équidistante par une ou plusieurs entretoises de forme ondulée (Voir la Fig.6).

- les feuilles planes externes sont appelées couvertures ;
- les feuilles planes internes sont appelées médianes ;
- les feuilles ondulées formant entretoise sont appelées cannelures [10].

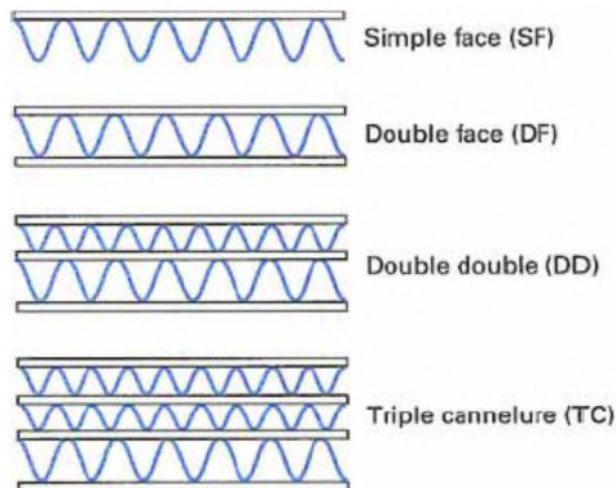


Fig.6 : Représentation des différents Types de carton [10].

b. Les composants

Couvertures

- **Kraftliner**

À l'origine, c'est un papier à base de fibres neuves obtenues par un procédé chimique au sulfate de sodium ou à la soude. Le kraftliner est d'aspect écru ou blanc. Les grammages sont compris entre 115 et 440 g/m².

- **Testliner**

Papiers essentiellement à base de fibres recyclées dont les grammages sont similaires à ceux du kraftliner. Le testliner est d'aspect écru ou blanc [10].

Cannelure

a. Papiers

- **Papier mi-chimique**

Papiers à base de fibres neuves obtenues par un procédé chimique et mécanique, et pouvant incorporer des fibres recyclées. Les grammages sont compris entre 105 et 250 g/m².

- **Wellenstoff**

Papiers essentiellement à base de fibres recyclées [10].

b. Types et profils des cannelures

La technologie de fabrication conduit à onduler le papier cannelure selon des profils pseudo- sinusoïdaux de différents types [12]. Les profils de cannelure sont caractérisés par trois paramètres (Voir la Fig.7) :

- la hauteur : distance entre le sommet et le creux d'ondulation.
- le pas : distance entre 2 sommets consécutifs d'ondulation, qui peut aussi s'exprimer par le nombre de cannelure au mètre.
- le coefficient d'ondulation : rapport théorique des longueurs de papiers cannelure et couverture. Ce coefficient révèle la consommation de papier cannelure.

Il existe 4 grandes classes de profil, dénommée A ; B, C et E

A, pour grande cannelure : épaisseur du C.O. voisine de 5 mm, 110 à 120 cannelures au mètre et coefficient d'ondulation voisin de 1,5

B, pour petite cannelure : épaisseur du C.O. voisine de 3 mm, 150 à 160 cannelures au mètre, coefficient d'ondulation voisin de 1,35

C, pour moyenne cannelure : épaisseur du C.O. voisine de 4 mm, 120 à 135 cannelures au mètres, coefficient d'ondulation voisin de 1,45

E, pour micro cannelure : épaisseur inférieur à 2 mm, 290 à 310 cannelures au mètre, coefficient d'ondulation voisin de 1,25.

Il existe aussi 2 autres profils de cannelure :

- la très grande cannelure, souvent dénommé K, dont l'épaisseur est supérieure à 7 mm
- la mini-micro (dénommée **F**, **G** ou **N**) dont l'épaisseur est inférieur à 1 mm.

c. Les domaines d'application de ces profils

- **Cannelure C**

Ce profil est apparu historiquement après les profils A et B, en vue d'une meilleure optimisation consommation de papiers/résistance à la compression. Sa faible imprimabilité oblige souvent à l'associer à un profil B ou E.

- **Cannelure B**

Son nombre de cannelures au mètre élevé lui confère une forte résistance à la compression à plat et un bon aplat. Cependant, sa faible épaisseur réduira la rigidité à la flexion du carton ondulé. Ce profil sera utilisée pour les intercalaires et pour les emballages vendeurs.

- **Cannelure E et F**

Excellent aplat du carton ondulé qui permet de réaliser des impressions flexographiques directes en Haute résolution (*High-graphics*) sur le carton ondulé [14, 15].

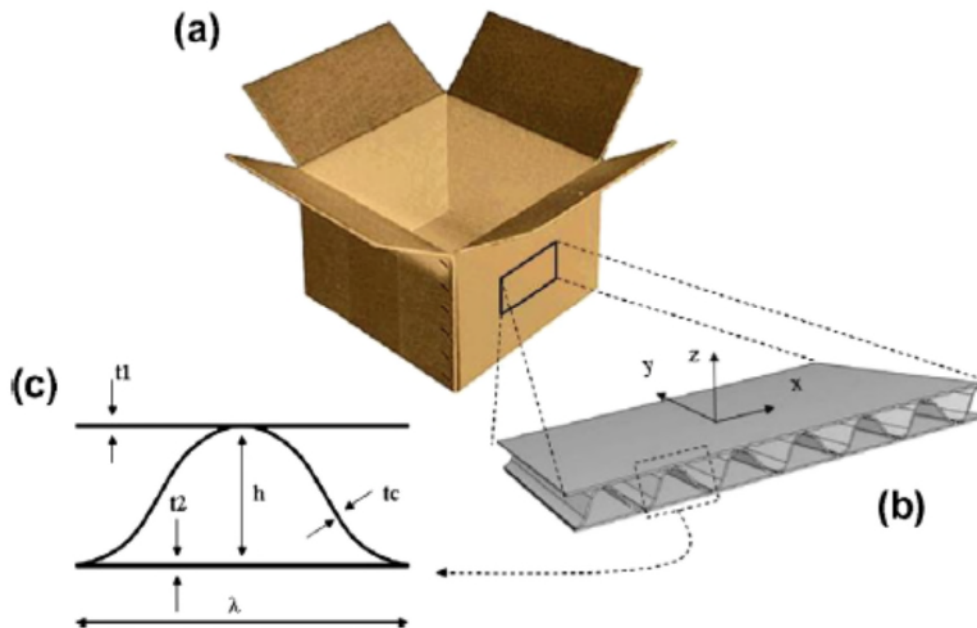


Fig.7 : (a) Caisse (b) panneau de milieu cannelé prise en sandwich (c) Coupe transversale du panneau [15].

Colle

La performance de la structure dépend étroitement de la qualité du collage. Les colles utilisées pour le collage couverture-cannelure sont à base d'amidon. [12]

c. Le choix de l'emballage avec le carton ondulé

L'emballage peut revêtir des formes et utiliser les matériaux les plus divers dans lesquels les procédés de conditionnement et de transformation jouent un rôle essentiel. Cette diversité implique un choix qui est crucial, car de lui dépendra la viabilité technico-économique du produit [1]

Le choix de l'emballage impose un certain nombre de passages obligés, qui sont : la définition du produit, l'identification du circuit logistique et enfin la prise en compte des contraintes et réglementations [1].

Le carton ondulé est l'emballage de transport le plus utilisé en Europe. Plusieurs bonnes raisons sont à l'origine de son succès. Le carton ondulé est peu coûteux et léger tout en étant très résistant. Il offre une protection optimale aux produits emballés tant pendant le stockage que lors du transport. Le carton ondulé est en outre un produit d'une extrême durabilité [16].

d. Performances des emballages en carton ondulé

La forme de l'emballage, la structure de l'ondulé et le choix des papiers sont fonction du type de contraintes. L'onduleur doit concevoir l'emballage réalisant le meilleur compromis entre les exigences des contraintes techniques et celles des contraintes économiques.

Les moyens techniques dont dispose le fabricant d'emballages concernent essentiellement :

- la forme de l'emballage ;
- la structure de l'ondulé ;
- les composants papier [10].

e. Contraintes Physiques

Résistance au gerbage

Les performances mécaniques d'une caisse carton se mesurent par la RCV (Résistance à la compression verticale) afin de déterminer ses aptitudes au gerbage [17]. Elle est fonction de la forme de l'emballage ; pour les caisses à rabats, sont notamment à considérer le périmètre, la hauteur, le sens des cannelures (Voir la Fig.8) et leur aménagement intérieur. Elle dépend, en outre, de la structure de l'ondulé, c'est-à-dire de son type de cannelure (A, B, C, E) et du type de carton (DF, DD, triple cannelure) [10].



Fig.8 : Carton ondulé à paroi simple [18].

Les valeurs du test de compression sur chant (ECT : *Edge crush Test*) peuvent être utilisées pour prédire la résistance à la compression d'une boîte. Cette dernière prévue ou calculée en utilisant une formule. La formule la plus utilisée est connue sous le nom de Formule McKee (la formule (1)) [19, 20].

$$RCV = 2.028 \times ECT^{0.746} \times (D_y D_x)^{0.127} \times P^{0.492} \dots\dots\dots (1)$$

La corrélation entre la résistance à la compression de la boîte et ECT, épaisseur et le périmètre fut fondée en cette formule. Plusieurs modèles d'estimation ont été proposés (Mc Kee et al., 1961, 1962, 1963). Elle a été simplifiée pour la relation suivante : [21]

$$RCV = 5.87 \times ECT \times \sqrt{t \times P} \dots\dots\dots (2)$$

Avec RCV : La résistance à la compression verticale, KN.

ECT : Le test de compression sur chant, KN/m.

t : épaisseur du carton unité, mm.

P : périmètre charge d'appui, mm.

D_y et D_x : les résistances à la flexion en sens M_D et C_D, KN.

Pressions latérales et sur le fond

- **Pressions latérales**

Elles peuvent être externes ou internes, les plus courantes, et conduire à une déformation des parois latérales ayant pour effet d'accélérer le bombé de ces parois et de réduire considérablement la RCV.

- **Pressions sur le fond**

Elles peuvent contribuer à réduire l'épaisseur du carton et à affaiblir la rigidité du fond de l'emballage et conduire à une déformation de l'architecture : bombé ou poinçonnement.

Ecrasement à plat

Cette contrainte ne concerne que la cannelure et constitue un moyen permettant d'évaluer :

- la bonne formation des ondulations ;
- l'écrasement excessif de la plaque [12].

Chocs

L'emballage peut résister à des chocs multiples. Le plus souvent, les chocs interviennent lors des manutentions et du conditionnement automatique des emballages.

Vibration

Les vibrations qui interviennent lors des transports induisent une surcharge martelant les dièdres et les parois de l'emballage.

Fatigue

La durée de stockage conduit à un phénomène de fatigue de l'emballage. Les emballages, lors du stockage, subissent une diminution de leur tenue au gerbage, très rapide dans les premiers jours, plus lente par la suite [12]. Le tableau 3 montre l'effet du stockage.

Tableau 3 : Effet du stockage [22].

Temps du stockage (en mois)	La résistance écrasement sur chant (N. m⁻¹)	résistance à l'éclatement (KPa)	force adhésive (N.m⁻¹)
Demande standard	6500	588	980
0	8060	1780	1070
1	7470	1400	1030
2	6960	1310	994
3	6340	1260	956
4	6110	1210	925
5	5780	1060	919
6	5600	1030	916

f. Conditions climatiques

La résistance à la compression et le module d'élasticité du carton ondulé diminuent avec l'augmentation de l'humidité relative. En effet, L'humidité affecte non seulement le papier, mais aussi la structure. De plus, le carton, joints et les fermetures sont généralement collés avec de la colle soluble dans l'eau [21, 23].

g. L'impression

L'impression du carton ondulé va du simple marquage logistique à l'impression de prestige à plusieurs couleurs. Il existe deux types d'impression :

- **Pré-impression**

L'impression est réalisée sur bobines ou sur feuilles de papier au format en offset.

- **Post-impression**

L'impression est réalisée sur le carton avec des procédés flexographiques, typographiques ou Offset [10].

9. Conformité des emballages

Contrôle-Qualité : L'assurance du respect des fonctions attendues d'un emballage implique le maintien de sa qualité telle qu'elle est définie dans le cahier des charges d'achat. Les méthodes de contrôles des emballages ne sont pas différentes de celle utilisées pour les autres produits, si ce n'est que, dans certains cas particuliers, des normes d'échantillonnages spécifiques peuvent être établies (la norme NF EN ISO 186).

Certification : La certification comprend notamment la certification de produit et la certification de l'entreprise [24].

1. Structure de la matière première

1.1. Le bois

Le bois est un matériau anisotrope, ses propriétés mécaniques physiques et technologiques changent suivant la direction choisie [25]. Les essences de bois sont généralement classées en deux grands groupes, désignés sous le nom de "résineux" et de "feuillus" [26]. La forme des fibres est représentée sur la Fig.9.

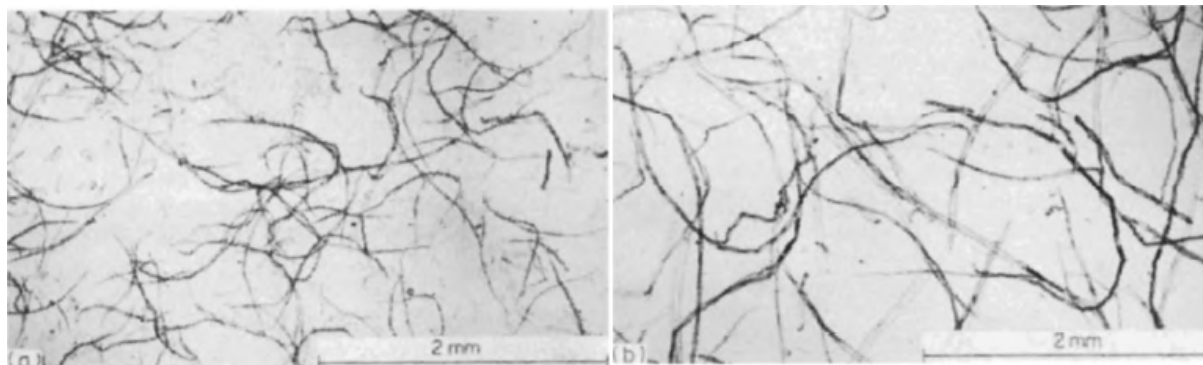


Fig.9 : (a) fibres des feuillus, (b) fibres des résineux, pour la fabrication du papier [8].

1.2. Autre sources

Tout matériau lignocellulosique peut être une source potentielle de fibres papetières. C'est pourquoi de nombreuses plantes annuelles (paille de blé ou de riz, bambou, roseau, lin, chanvre, alfa) sont utilisées, surtout dans les pays pauvres en forêts [4, 25].

1.3. Composition chimique du bois

Les principaux composants chimiques du bois sont la cellulose, l'hémicellulose et la lignine (Voir le tableau 3). La composition élémentaire du bois correspond à 50 % de carbone, 6 % d'hydrogène et 44 % d'oxygène avec des traces d'ions métalliques. Le Tableau 4 montre la composition chimique des résineux et feuillus [4, 25].

Tableau 4 : Pourcentages massiques (en %) des divers constituants chimiques des bois résineux et des bois feuillus [4]

Constituants	Bois résineux	Bois feuillu
Cellulose	42-44	43-47
Lignine	25-30	17-26
Hémicelluloses hexosanes	≈15	5-8
Hémicelluloses pentosanes	10-15	15-35
Cires, résines, graisses	1-10	0.5-2
Substances minérales	<1	<1

La cellulose est la molécule organique la plus abondante sur Terre. C'est un homopolymère cristallin qui ne diffère des autres polysaccharides que par sa très longue chaîne. Le degré de polymérisation moyen peut varier de 200 à 15 000 voir au-delà. Il est constituée d'unités de glucose cyclique de configuration β reliées par des liaisons (1-4). [26, 27]. Les molécules de la cellulose sont regroupées en structures caractéristiques appelées fibrilles élémentaires ou protofibrilles. Ces protofibrilles sont elles-mêmes associées en entités plus complexes ou microfibrilles. Ces dernières s'assemblent pour donner en final la paroi fibrillaire (Voir la Fig.10) [4].

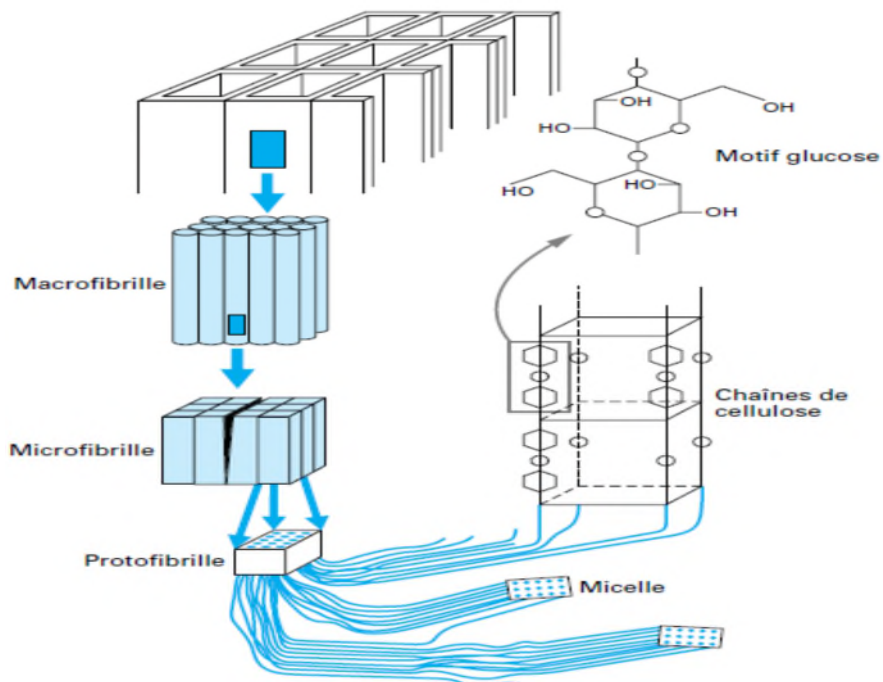


Fig.10 : Détails de la structure de fibre cellulosique [4].

2. Procédés de fabrication

Les principaux constituants mis en œuvre pour la fabrication du papier sont : la pâte chimique, la pâte mécanique, la pâte à base de fibre recyclé, les pigments et charges ainsi que les additifs chimiques. Leur répartition est illustrée dans la Fig.11 [2].

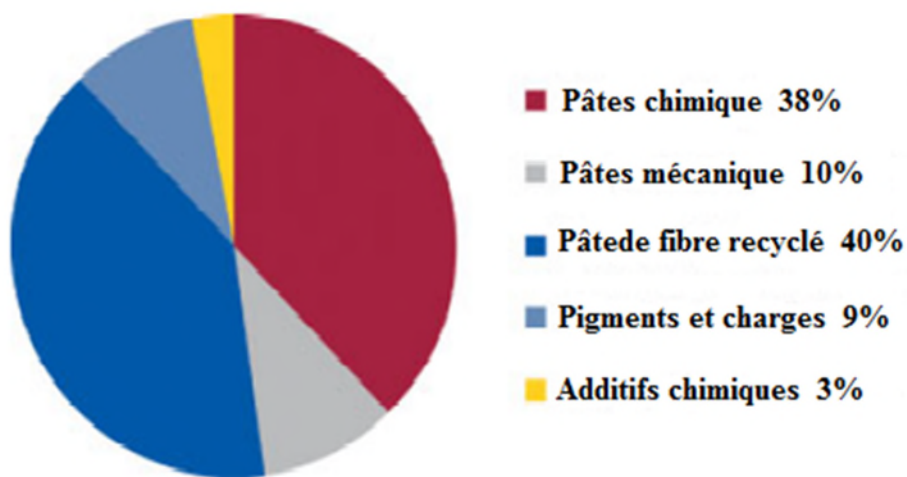


Fig.11 : Constituants utilisés dans la production du papier [2].

- Pâtes mécaniques

Il existe de nombreux procédés mécaniques qui peuvent se classer en trois grandes catégories :

- les procédés mécaniques utilisant une meule abrasive en rotation pour transformer des rondins de bois en fibres soit à pression atmosphérique (SGW : Stone Ground Wood) soit sous pression (PGW : Pressure Ground Wood) ;
- les procédés mécaniques sur des copeaux utilisant des raffineurs à disques sans traitement chimique du bois, et sans traitement thermique (RMP : Refined Mechanical Pulp) ou avec (TMP : thermo mechanical pulp) avant d'être transformés en fibres ;
- les procédés mécaniques sur des copeaux utilisant des raffineurs mais avec un traitement chimique préalable du bois (CTMP : chemithermomechanical pulp et CMP : chemi-mechanical pulp).

Les pâtes mécaniques sont soit blanchies, soit éclaircies, selon leur utilisation dans le produit final. Les conditions de préparation sont propices à la coloration : températures élevées, oxydation atmosphérique, action mécanique [4].

- **Pâtes chimiques**

Les pâtes chimiques représentent la majeure partie de la production mondiale de pâtes à papier et sont utilisées dans presque toutes les qualités de papier et de carton. Le but principal de ces procédés est de dissoudre et d'extraire la lignine de la paroi des fibres.

Le blanchiment de ces pâtes consiste à retirer cette lignine résiduelle totalement, en essayant de limiter la dégradation des polysaccharides. Cette opération se déroule en plusieurs étapes, constituant une séquence de blanchiment. On distingue :

- **Procédé au sulfate**

Appelé aussi procédé kraft. Il est basé sur l'utilisation de soude et de sulfure de sodium. Le traitement chimique des copeaux se fait à 170-175 °C pendant une durée de 2 à 5 h dépendant de la matière première employée. La cuisson est réalisée dans un réacteur vertical où les copeaux descendent par gravité et rencontrent les diverses liqueurs de cuisson. Le Tableau 5 montre les Caractéristiques des pâtes chimiques kraft de bois résineux et feuillus [4].

Tableau 5 : Caractéristiques de pâtes chimiques kraft de bois résineux et feuillus [4].

Essence de bois	Résineux	Feuillus
Indice d'égouttage (°SR) (1)	40	40
Longueur de rupture (m)	8900	7500
Indice d'éclatement (kPa.m ² /g)	5.80	4.50
Indice de déchirement (m.N.m ² /g)	12.0	8.0
Blancheur (% ISO)	28	29

D'autres procédés alcalins existent pour la production de pâtes chimiques. Les procédés Soude-Anthraquinone ou Kraft Anthraquinone utilisent un catalyseur tel que les composés quinoniques dont fait partie l'anthraquinone. t

- **Procédés de fabrication acides**

Le procédé acide ou au bisulfite est uniquement utilisé pour les bois résineux. Il est basé sur la réaction sur la lignine de l'hydrogénosulfite de calcium, sodium, ammonium ou magnésium contenant de l'anhydride sulfureux libre [4].

1.2. Fibres recyclées

Les principales catégories de vieux papiers recyclés sont les caisses en carton ondulé, les journaux et les magazines. Les papiers recyclés sont collectés et mis en balles pour être manipulés, transportés puis stockés sur le site de l'usine [4].

3. Préparation de la pâte

La pâte à papier, qu'elle soit issue de procédés mécaniques ou chimiques ou qu'elle provienne de fibres de récupération, nécessite une phase de préparation, avant d'être envoyée à la machine à papier proprement dite [28].

3.1 Désintégration

La désintégration de la pâte à papier est une opération triple qui implique l'agitation d'un volume de pâte, son mélange et sa dispersion par la réduction de la taille des objets solides qui la constituent. L'objectif de cette phase est de séparer les fibres les unes des autres, de manière à obtenir une suspension fibreuse homogène [28, 29].

3.2 Raffinage

Le raffinage de la pâte à papier est une opération unitaire de consolidation de la matière première fibreuse. Trois effets primaires sont en général associés à ces transformations morphologiques : l'hydratation, la fibrillation et la coupe [29]. L'objectif de cette étape est de modifier par une action mécanique, l'état physique des fibres afin d'obtenir les qualités requises pour la mise en œuvre et l'utilisation du papier fabriqué [28].

3.3 Additifs

La pâte une fois raffinée est stockée à 3-4 % de concentration, dans un cuvier, dit cuvier de mélange, où seront ajoutés divers produits auxiliaires, avant épuration finale et dilution. On distingue :

- les charges dans la masse ;
- les produits de collage ;
- les agents de rétention ;
- les additifs divers ;
- les colorants et agents de fluorescence [28].

3.4 Épuration

L'objectif de cette phase d'épuration est de débarrasser la pâte qui va être envoyée sur machine, de ses impuretés résiduelles : bûchettes, incuits, pastilles, plastiques, encres, sables, etc. Deux types d'épurateurs sont utilisés : les épurateurs tourbillonnaires et les classeurs sous pression [28].

4. La machine à papier

La machine à papier est composée de trois parties principales (Voir la Fig.12) :

- la partie humide, constituée de la caisse de tête et de la table de fabrication. C'est dans cette partie que la feuille est formée puis égouttée, d'abord par gravité puis par dépression ;
- la section des presses, où la feuille va être essorée le plus possible, par voie mécanique ;
- la sécherie où l'eau restante est éliminée par voie thermique (évaporation).

À la sortie de la sécherie, la feuille, à une humidité comprise entre 4 et 9 % (en masse), est stockée en bobines grâce à une enrouleuse. Avant cette ultime étape, qui constitue la fin de la machine à papier, la feuille peut subir un certain nombre de traitements supplémentaires (enduction, couchage, lissage, calandrage...etc.) [30].

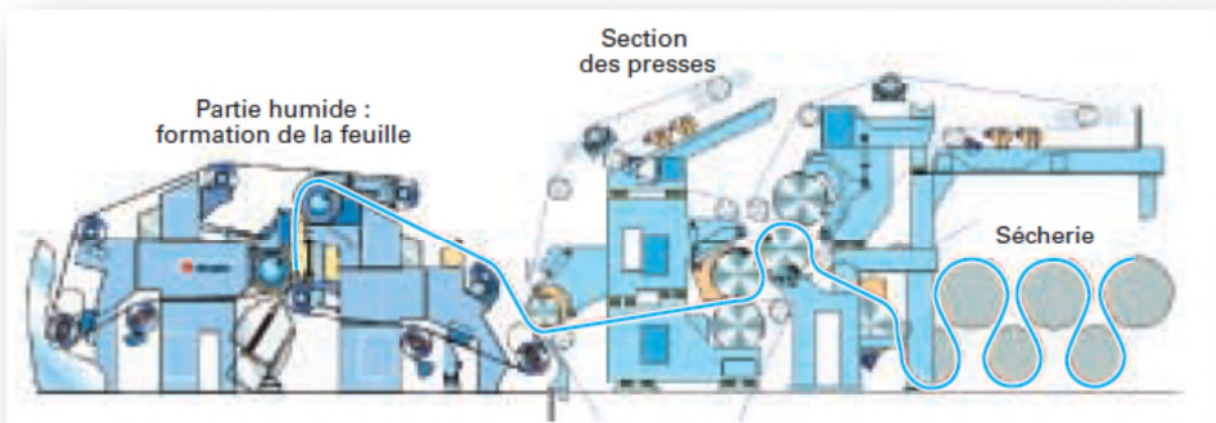


Fig.12 : Les trois parties principales de la machine à papier [30]

5. Machine de fabrication du carton ondulé

L'onduleuse est un train de machines qui, à partir de bobines de papiers, permet la fabrication de plaques de carton ondulé (Fig.13) [12].

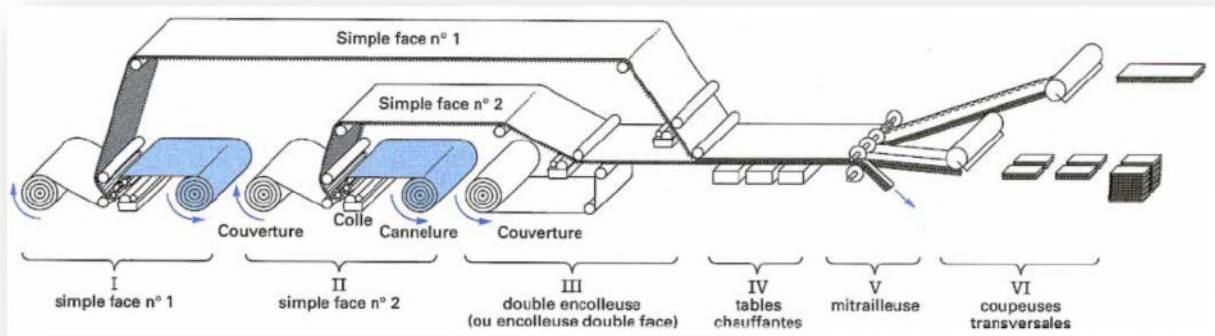


Fig.13 : Vue générale schématique d'un train onduleur [10].

Cette machine, d'une centaine de mètres de longueur et d'une largeur de 2 à 2,6 m, se compose des éléments suivants :

- **Un ou plusieurs postes "simple face"**

Ils assemblent chacun une couverture et une cannelure (ondulé simple face) acheminées par des ponts magasins vers la partie double face. Dans la machine simple face (Fig.14), le papier de cannelure est ondulé entre deux cylindres cannelés chauffés à environ 180° C. La cannelure ainsi formée est maintenue sur les cylindres cannelés par aspiration ou pression d'air, ou par des applicateurs métalliques (peignes), tandis que la colle est déposée sur les sommets des cannelures ; la couverture est appliquée sur la cannelure par un cylindre chauffé parallèle (presse-lisse) ou par une courroie [10].

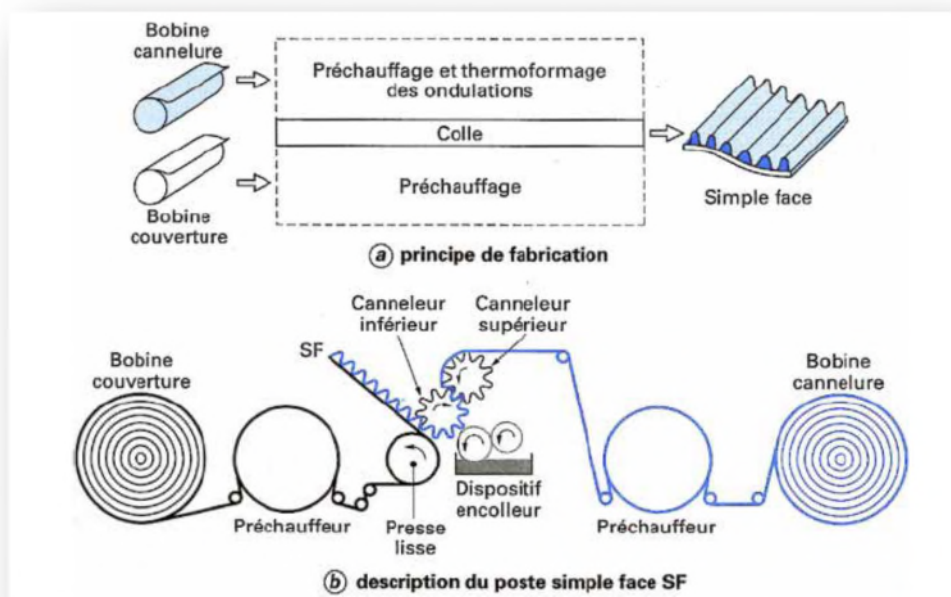


Fig.14 : Fabrication du carton ondulé simple face [10].

- **Un poste double face**

Il assemble un, deux ou trois ondulés simple face et une couverture pour réaliser du DF, du DD ou du TC. La colle est déposée sur les sommets libres des ondulés simple face qui sont engagés, ainsi que la couverture, sur des tables chauffantes pour la prise de la colle.

- **Une mitrailleuse**

Elle comporte plusieurs arbres sur lesquels sont positionnés des couteaux rotatifs circulaires et des outils rotatifs circulaires de rainage. Ces outils :

- découpent longitudinalement la nappe initiale en nappes secondaires (souvent 2, parfois 3, 4, etc.) et évacuent les rognures de laize ;

- rainent longitudinalement les nappes secondaires, c'est-à-dire écrasent localement, suivant une ligne, l'épaisseur de l'ondulé pour faciliter le pliage ultérieur des rabats.

- **Des coupeuses transversales**

Chaque nappe secondaire est débitée en plaques de longueurs voulues avec des couteaux montés sur des cylindres.

- **Une coupeuse auxiliaire**

Placée avant la mitrailleuse, elle permet de couper la nappe initiale et donc de dégager la mitrailleuse avant les changements de format [10].

6. Transformation du carton ondulé

Dans tous les cas, la matière première est la plaque de carton ondulé. Les dimensions des plaques de carton sont toujours données dans l'ordre : laize (parallèle aux cannelures) et longueur de coupe. Les trois grandes familles d'articles sont : Caisses à rabats, Articles découpés, Petits façonnages [10]. Une caisse à rabats est présentée dans la Fig.15.

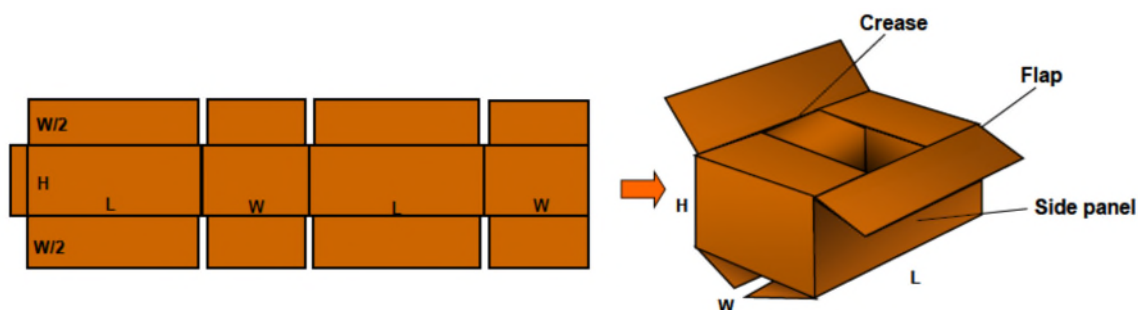


Fig.15 : Caisses à rabats, le code FEFCO 0201 [18].

1. Conception des emballages et environnement

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation qu'il est dorénavant indispensable d'intégrer dans la conception de l'emballage. La quantité de déchets d'emballage a augmentée de façon considérable depuis les années 60. Bien que ces déchets ne représentent qu'une faible partie de l'ensemble des déchets, quelques pourcent en masse, ils constituent une pollution visible, aussi bien, dans les foyers, dans les entreprises que dans la nature [23].

2. Normalisation et Réglementation

Un travail important de normalisation a été accompli depuis une dizaine d'années dans le domaine de l'emballage. Cette activité se situe tant au niveau national (instances de réglementation nationale) qu'au niveau international à l'ISO (International Standards Organization) [31].

Au niveau national, le Centre Algérien de Contrôle et de Qualité et de l'Emballage (CACQE) est un espace intermédiaire entre le ministère du commerce et les industries du domaine. Il est chargé essentiellement du contrôle analytique et de la veille réglementaire et normative. Ces analyses couvrent d'une part au plan physico chimique et bactériologique, l'ensemble des produits alimentaires, cosmétiques et d'hygiène et d'autre part, les analyses fines pour les résidus de pesticides, les produits industriels et les produits du secteur des textiles, cuirs et emballages [32].

L'union européenne a mis en place une politique d'harmonisation des mesures nationales concernant la gestion des emballages et des déchets d'emballages afin d'assurer une protection de l'environnement cohérente et de garantir le fonctionnement du marché intérieur des emballages. Cette politique européenne est appelée en pratique « éco-conception », terme devenu tellement courant qu'il a été entériné par la loi « Grenelle II » du 12 juillet 2010 [33].

3. Impact environnementale

Les impacts environnementaux de l'emballage Papier-Carton se situent essentiellement au niveau du processus de fabrication (les effluents de papeterie, amidon et eau de lavage sur onduleuse, encres et eau de lavage sur presse d'impression) et au niveau du produit (les déchets d'emballages en carton ondulé) [12].

4. Recyclage

Parmi les différents modes de traitement, le recyclage matière paraît avoir actuellement la faveur du législateur. Le recyclage, par un retour du matériau à sa matière première, permet de fabriquer un produit similaire (recyclage interne ou haute valeur) ou un produit différent (recyclage externe ou basse valeur).

Le recyclage des papiers-cartons récupérés consiste à :

- séparer les produits fibreux des autres produits que le tri n'a pas éliminés;
- séparer les fibres des emballages papier-carton des autres éléments qui leur sont associés tels que l'encre, le vernis...etc.

Ces opérations sont réalisées en trois phases :

- le pulpage qui assure le tri complémentaire et le défibrage;
- l'épuration qui sépare les fibres des éléments qui leur sont associés;
- le raffinage qui optimise les caractéristiques des fibres récupérées à l'issue de ces diverses phases [34].

La pâte recyclée ainsi obtenue sera seule ou en mélange avec d'autres pâtes, utilisée pour fabriquer des papiers ou des cartons [10]. La Fig.16 montre le taux d'utilisation de papier et cartons recyclés en France.

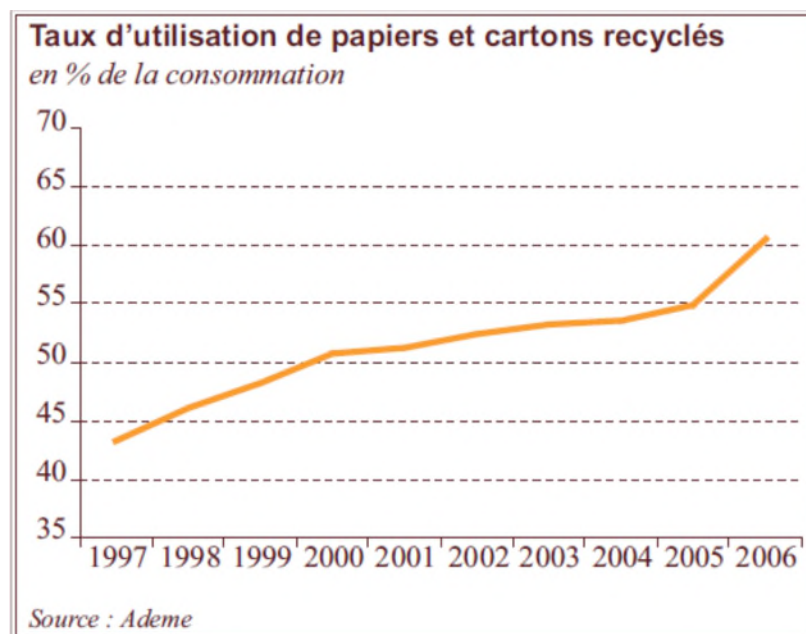


Fig.16 : Taux d'utilisation de papier et cartons recyclés [6].

1.1 Présentation de l'organisme d'accueil

Général Emballage est une entreprise algérienne leader dans la fabrication et la transformation de carton ondulé. La SARL Général Emballage est créée avec un capital de 32 millions de Dinars dans la Zone d'activités commerciales de Taharacht (Akbou) en 2000. En 2008, elle acquit deux nouvelles usines de transformation (Sétif et Oran). En 2009, elle change sa forme juridique, et devient la SPA Général Emballage. En 2011, le chiffre d'affaires de Général Emballage était de 4,28 milliards de dinars, en progression de 21 à 25% par rapport à l'exercice 2010. En termes de production, les trois sites du complexe cumulent une production annuelle de 130 000 tonnes de cartons ondulés, soit près de 80% de l'ensemble de la consommation nationale. En 2012, elle a signée une Convention cadre de partenariat avec l'université de Bejaia. En 2013, son organigramme est présenté dans la Fig.18.

La SPA « Générale Emballage » compte parmi ses clients de grands acteurs de la scène économique nationale comme la SPA CEVITAL, DANONE, SOUMMAM, IFRI..., et à l'étranger. L'entreprise intègre également le recyclage des chutes et déchet. En effet, elle exporte les déchets de fabrication vers l'étranger (Espagne, les pays bas, l'Arabie Saoudite...).

Elle s'approvisionne sur le marché étranger, à 93% des matières premières (bobines de papier de différents types) viennent de l'étranger et 7 % viennent du marché national (ingrédients de colle, amidon.....). Parmi ces produits fabriqués on trouve (Voir Fig.17) : plaque de carton ondulé, Caisse à fond automatique, Caisse télescopique, et Barquette à découpe spéciale.



Fig.17 : Types de caisse produite chez GE [14].

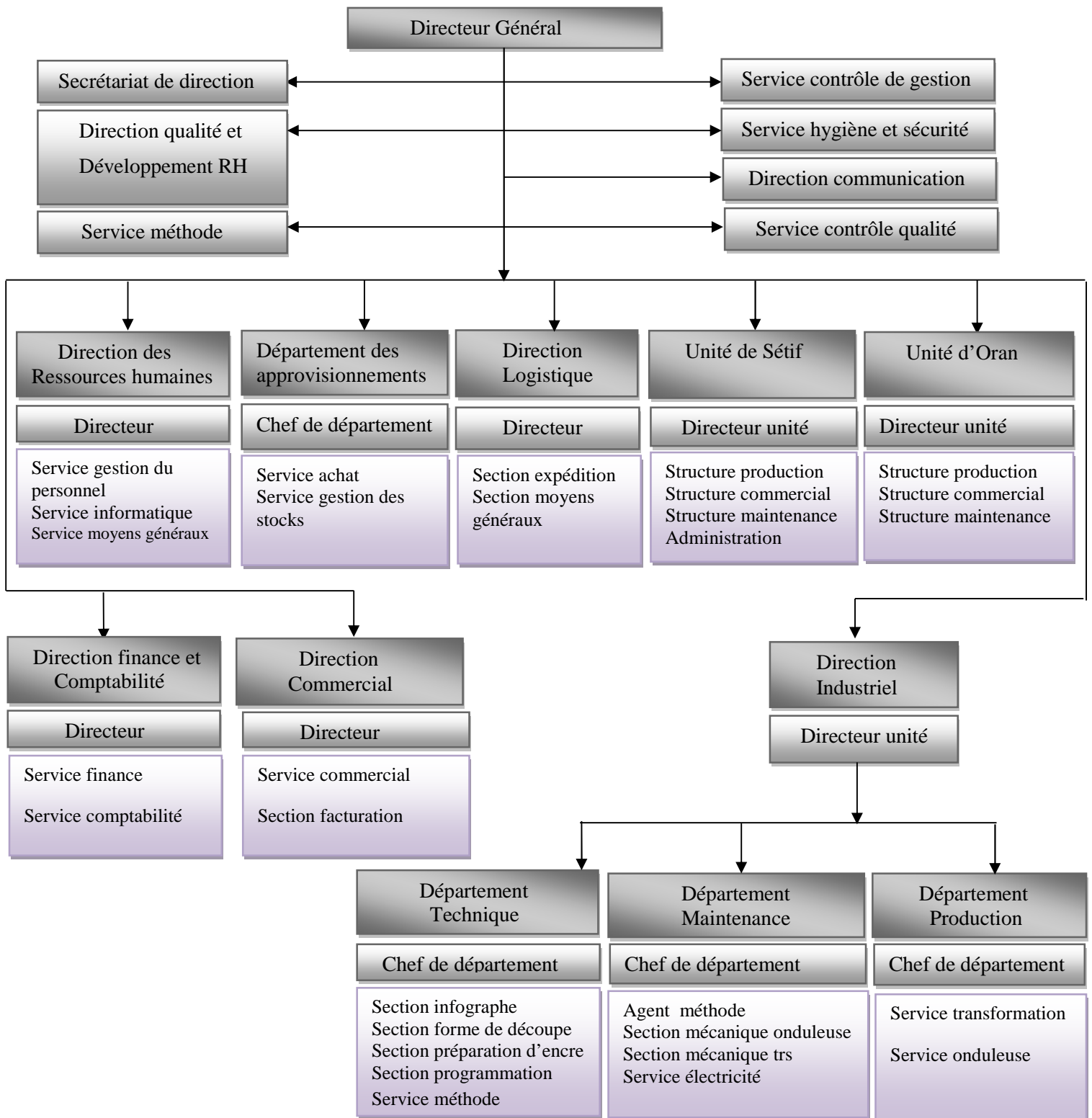


Fig.18 : Organigramme de l'entreprise Général Emballage [14].

1.2 Plan expérimental

Comme indiqué en introduction, notre travail est réalisé dans le cadre de l'établissement d'une base de donnée utilisable au niveau de l'entreprise GE afin de déterminer la meilleur RCV en fonction de :

1. Type de cannelure.
2. Composition de l'éprouvette (papier cannelé et couvertures), voir la fiche technique en annexe 1.
3. Effet du blanchiment.

1. Les classes de cannelure utilisées dans l'expérimentation sont :

- **C**, pour moyenne cannelure : épaisseur du carton ondulé (C.O.) voisine de 4 mm, 120 à 135 cannelures au mètre, coefficient d'ondulation voisin de 1,45.
- **B**, pour petite cannelure : épaisseur du C.O. voisine de 3 mm, 150 à 160 cannelures au mètre, coefficient d'ondulation voisin de 1,35.
- **E**, pour micro cannelure : épaisseur inférieur à 2 mm, 290 à 310 cannelures au mètre, coefficient d'ondulation voisin de 1,25.

2. Les différents types de papier utilisés dans l'expérimentation sont :

Codification	Désignation	caractéristiques	grammage g/m ²
KE	Kraft écru	Papier issu de fibres neuves	(140, 145, 200, 400)
SM	Semi Kraft	Papier issu de fibres neuves et recyclées écru	140
SKB	Semi Kraft Blanc	Papier issu de fibres neuves et recyclées blanchi	140
TE	Test écru	Papier a base de fibres recyclées	140
TB	Test Blanc	Papier a base de fibres recyclées blanchi	140
DS	DuoSaica	Papier issu du test écru et du fluting	(110, 120, 130,150)
FL	Fluting	Papier issu des fibres recyclées	127

Dans la nomenclature industrielle il est de coutume d'utiliser les lettres de la codification associées au grammage. Exemple : FL127. Dans la discussion de nos résultats, nous utiliserons ce mode de nomenclature.

3. Effet du blanchiment du papier utilisé

Les types de papiers utilisés : le Testliner écru avec le Testliner blanchi, et le Semi-Kraft écru et le Semi-Kraft blanc.

Une comparaison entre les résultats de l'ECT est réalisée en fonction des types de carton :

- Double face (DF).
- Double/double (DD).

Evaluation de l'ECT

La résistance à la compression sur chant du carton ondulé est la force de compression maximale qu'une éprouvette peut supporter avant d'être écrasée, l'éprouvette reposant sur une tranche et la force étant appliquée sur la tranche opposée dans des conditions spécifiées.

L'ECT peut être affectée par la transformation du carton en emballage (rainage, impression, la manutention...). Elle est aussi affectée lorsque l'emballage est utilisé.

1.3 Appareillage

- **Principe**

Une éprouvette rectangulaire du carton ondulé est placée entre les plateaux d'un appareil de compression, avec les cannelures perpendiculaires aux plateaux, et est soumise à une force de compression croissante jusqu'à ce qu'intervienne la rupture. La force maximale supportée par l'éprouvette est enregistrée et la résistance à la compression sur chant calculée.

Ce test ECT est réalisé selon le standard FEFCO (Voir la Fig.19)

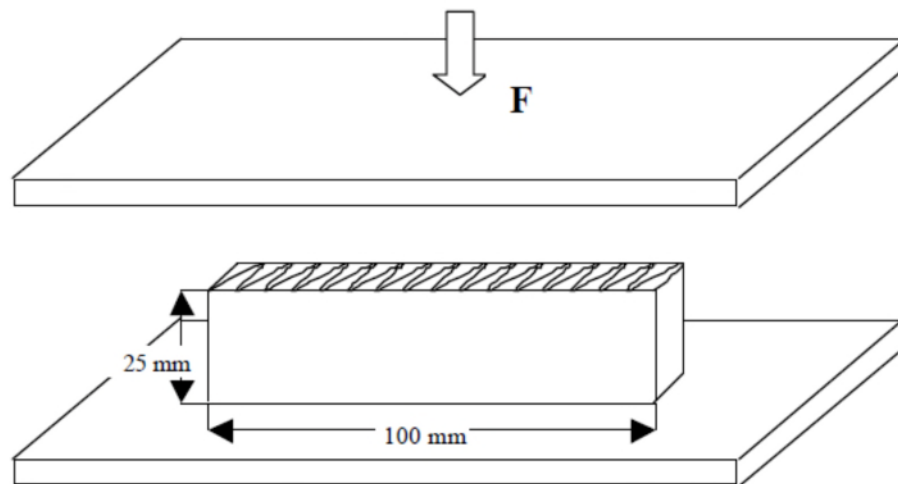


Fig.19 : Schéma du test ECT selon le standard FEFCO [35].

- **Equipement de découpe**

Equipement de découpe conçu pour donner des éprouvettes rectangulaires avec des tranches droites, parallèles et sans bavure. La découpe doit être réalisée perpendiculairement aux cannelures en une opération, par exemple avec des lames simple biseau qui ont une

épaisseur d'environ 0,5 mm, utilisés pas plus de 50 fois, ou avec une scie rotative à grande vitesse, pour cela nous avons utilisés un plotter (Voir la Fig.20).



Fig.20 : Plotter de type 'Laser-Combinations System' [36].

- **Echantillonnage**

Echantillonner selon la méthode d'essai FEFECO n° 1.

- **Conditionnement**

Les échantillons doivent être conditionnés conformément à la norme EN 20 187 ($23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, $50\% \pm 2\%$ d'humidité relative).

- **Préparation des éprouvettes**

- Du carton à essayer, des bandes de $100\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ de large sont coupées dans le sens des lignes de colle (Voir la Fig.21).
- De ces bandes perpendiculairement aux lignes de colle, des éprouvettes de $25\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ de hauteur nominale sont coupées. Le défaut maximal entre dimensions de même valeur nominale ne doit pas être supérieur à 0,2 mm.
- Sauf spécification contraire, 10 éprouvettes du carton doivent être essayées.
- Lorsque du carton transformé est essayé, les éprouvettes devraient être exemptes de traces de machine de transformation, d'impression et de toutes zones d'endommagement.

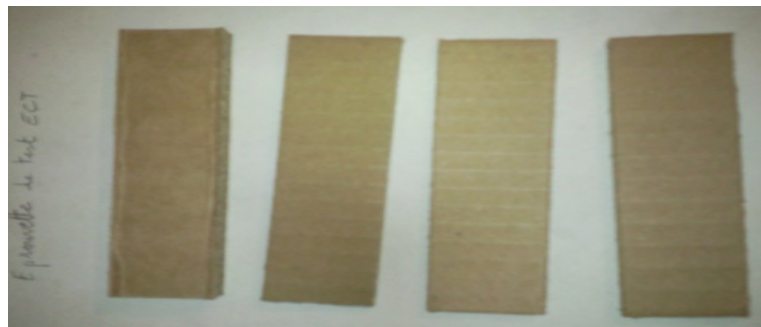


Fig.21 : Les éprouvettes des tests.

- **Appareil de mesure**

Nous avons utilisé un compresseur TechLab Systems "TLS" (Voir la Fig. 22) pour la détermination de la résistance à la compression sur chant des éprouvettes du carton ondulé, Conforme aux normes: ISO 7263 -13805 - 3035 - 13192 TAPPI T808 - T809 - T811 - T818 - T821 - T 822 - T823 - T824 - T 825 - T839 - EN 23035 - NF FEFCO.

- **Caractéristiques**

- Plage de mesure de 10 à 5000 N (résolution 0,01% = 0,5N)
- Choix des Unités en N - Kg & lb
- Statistiques: Max - Min - Moyenne et Ecart Type
- Interface USB interface avec contrôle en boucle fermée depuis PC
- Retour automatique du plateau inférieur après chaque essai
- Protection en cas de surcharge
- Compatible avec le logiciel Test Management
- Avec Logiciel d'essais de Compression **LYNX**



Fig.22 : L'appareil de mesure " compresseur" TechLab Systems [37].

- **Vitesse de compression**

L'appareil fonctionne avec un plateau fixe, et l'autre mobile, à une vitesse de rapprochement entre les deux, qui doit être de 12,5 mm/min \pm 2,5 mm/min.

- **Mode opératoire**

L'éprouvette doit être placée au centre du plateau avec ses côtés les plus courts perpendiculaires aux plateaux et supportés par les blocs de guidage.

Par action de l'appareil d'essai, la charge est accrue jusqu'à ce que l'éprouvette s'effondre, la charge maximale supportée est arrondie aux plus proches 10 N.

Calculer la résistance à la compression de chant R, en kilonewtons par mètre selon la formule ci-dessous où F est la charge maximale, en Newtons, L est la longueur de l'éprouvette en millimètres (ici L = 100).

$$R = \frac{F}{L} \text{ kN/m}$$

1. Mode de calcul du RCV en fonction de l'ECT

Pour une caisse de 160 × 120 × 110 (cm) de type B (SM140 / FL127 / TE140), d'une épaisseur de 3 mm avec ECT = 4.433 KN/m (Voir l'annexe 2). Le calcul du RCV selon la formule simplifiée de McKee (formule 2 en page 13) est comme suite :

$$P = 2 \times (160+120) \times 10^{-3} = 56 \times 10^{-2} \text{ m.}$$

D'où RCV = 3.375 KN.

2. Effet du type de cannelure

L'effet du type de cannelure est représenté dans les deux figures Fig.23 (DF) et Fig.24 (DD).

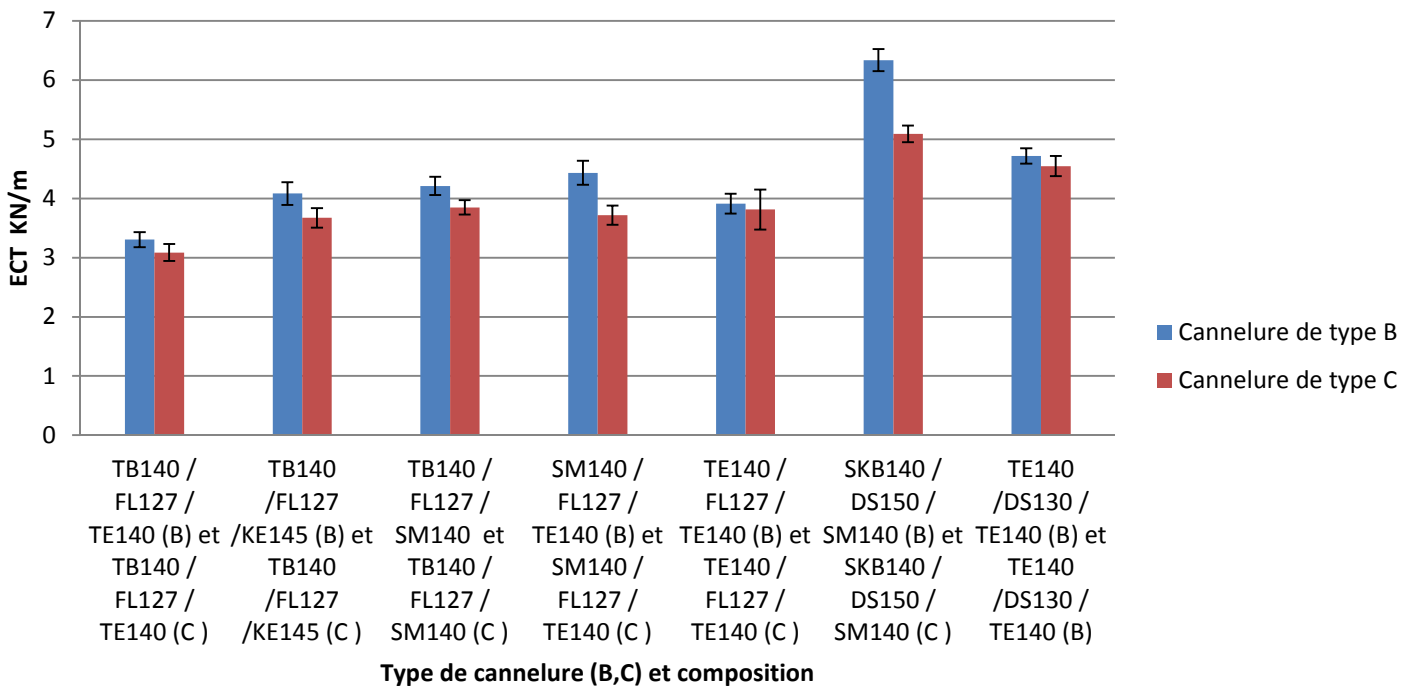


Fig. 23 : Effet du type de la cannelure en double face (B et C)

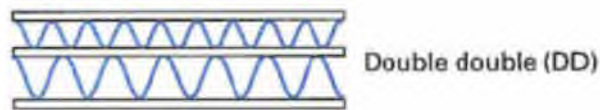
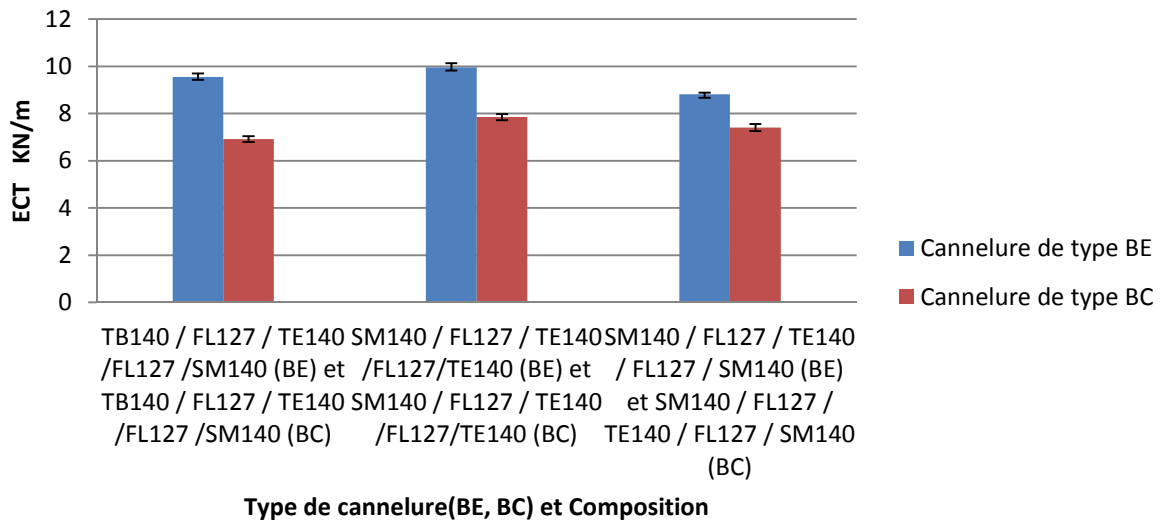


Fig.24 : Effet du type de la cannelure en double/double (BE et la BC)

Dans la Fig.23, pour la combinaison DF TB140/FL127/TE140 (B) et TB140/FL127/TE140 (C) on remarque que l’ECT est meilleure dans la cannelure de type B, quelque soit la composition de l’éprouvette. Dans le cas de la structure DD (fig. 24), il est constaté un ECT plus élevé pour le type BE par rapport au type BC. Par ailleurs, les valeurs de l’ECT enregistrée avec la structure DD sont nettement supérieures (le double de la moyenne) à celles obtenues avec la structure DF.

Ces résultats peuvent être expliqués par le nombre important de cannelures par mètre dans le type B par rapport au type C (B : 150 à 160 cannelures au mètre ; C : 120 à 135 cannelures au mètre) (structure DF). Cela se traduit par une meilleure résistance au gerbage des cartons réalisés avec la cannelure de Type B. le même raisonnement peut expliquer les résultats obtenus dans le cas de la structure DD.

3. Effet du type de papier cannelé

La Fig.25 et la Fig.26 montrent l'effet du type du papier cannelé sur l'ECT.

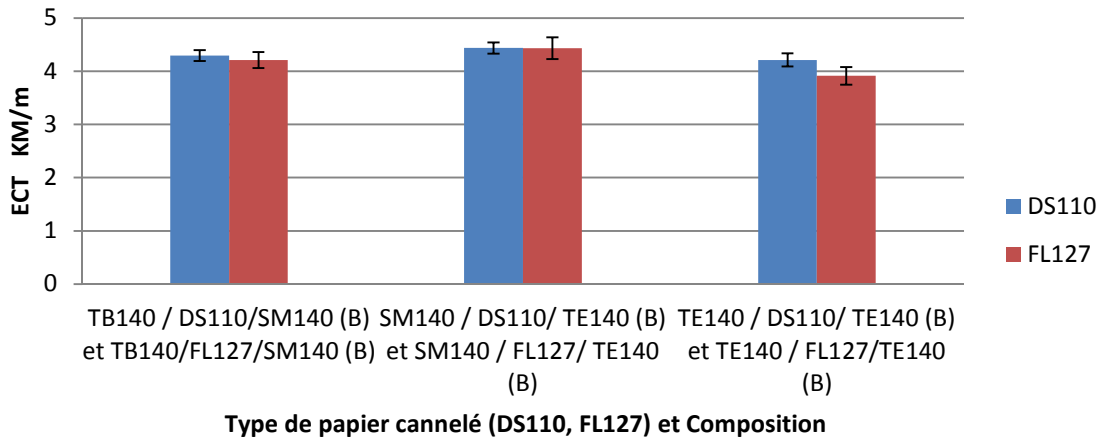


Fig. 25 : Effet du type de papier cannelé sur l'ECT (Comparaison entre FL127 et DS110).

Dans la Fig.25, il est remarqué que les résultats de l'ECT obtenus entre les compositions TB140/DS110/SM140(B) et TB140/FL127 /SM140 sont très proche, et c'est valable pour toutes les compositions de carton testées.

Bien que la composition des deux types de papiers soit différente (FL127, constitué uniquement de fibres recyclées ; DS110, constitué par un mélange de fibres vierges et recyclées), la similitude des ECT trouvés est vraisemblablement due au plus grand grammage que présente le FL (127 g/m²) par rapport au DS (110 g/m²). En effet, W.J. Whitsitt, (1988), a montré que l'ECT augment avec l'augmentation du grammage.

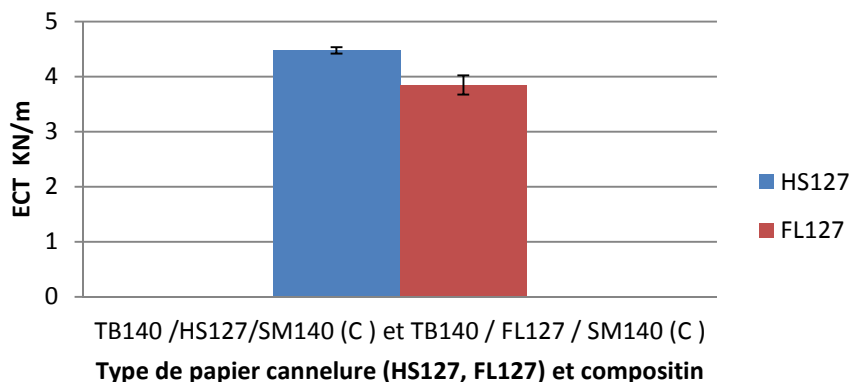


Fig.26 : Effet du type de papier cannelé sur l'ECT (HS127 et FL127)

La Fig.26 montre une comparaison entre le HS127 et FL127, il est constaté une meilleure résistance pour le HS127, cela est probablement dû à l'effet du procédé de fabrication (cf. II. 2.). En effet, les fibres papetières du type HS127 ont été mis en contact avec de l'eau pendant une durée importante, ce qui a favorisé les liaisons hydrogènes (-OH) inter fibre, entraînant ainsi une meilleure fibrillation. A cela s'ajoute, la composition du papier HS qui est un mélange de fibres vierges et recyclées, alors que le FL est constitué uniquement des fibres recyclées. Nos résultats corroborent avec ceux de W.J. Whitsitt, (1988).

4. Effet de la couverture

L'effet de la couverture sur l'ECT est représenté dans les figures 27, 28 et 29.

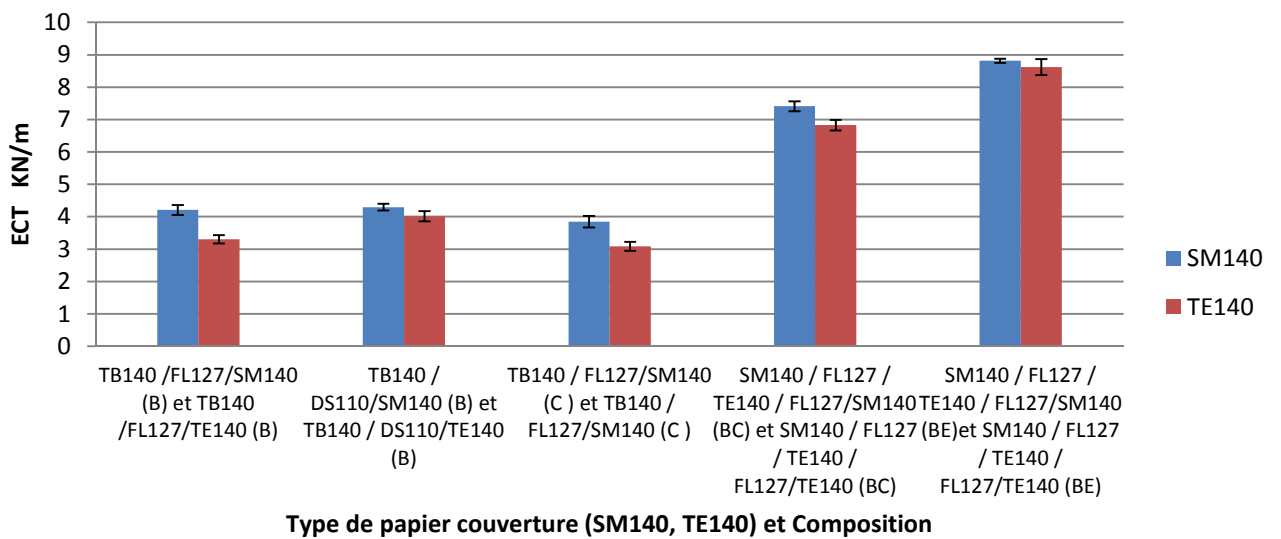


Fig.27 : Effet du type de papier couverture sur l'ECT (SM140, TE140).

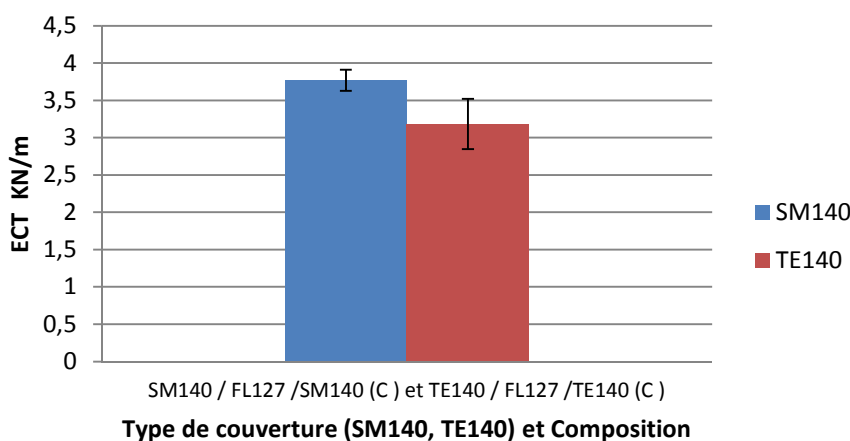


Fig. 28 : Effet du type de papier couverture sur l'ECT (SM140 et TE140).

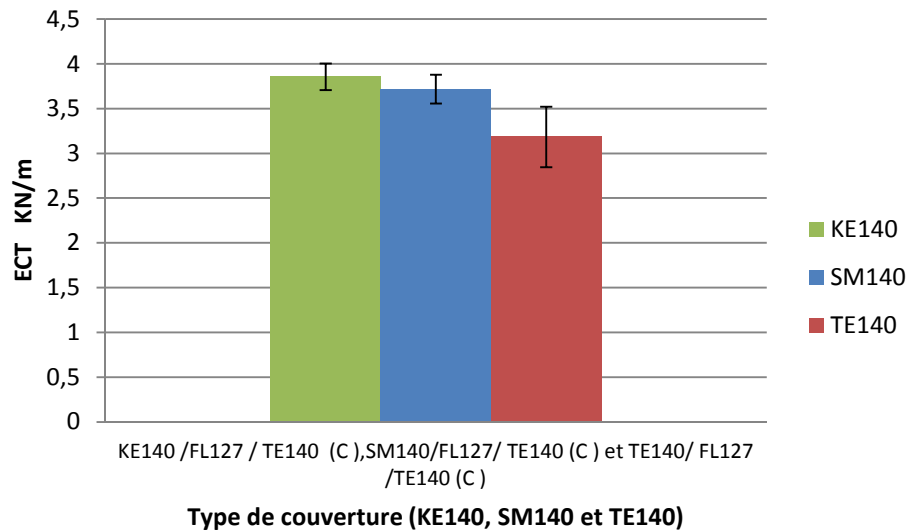


Fig.29 : Effet du type de papier couverture sur l’ECT (KE140, SM140 et TE140)

Dans la Fig.27 et la Fig. 28, il est constaté que chaque composition avec une couverture SM140 donne des valeurs ECT meilleures en comparaison à celle réalisée avec le type TE140. Dans La Fig. 29, il est remarqué, que la composition avec une couverture KE140, permet d’avoir un ECT supérieur à celle élaborée avec une couverture SM140 ou TE140.

Ces résultats peuvent être expliqués par la différence du taux des fibres vierges utilisées dans chaque type de papier (KE : 100% fibres neuves, SM : 50% fibres neuves, TE essentiellement constituée de fibres recyclée). En effet, les fibres vierges sont caractérisées par de longues chaînes macromoléculaires, ce qui se traduit par des propriétés mécaniques élevées, contrairement aux fibres recyclées qui ont subis un recyclage (cf. III. 3. 4). Ces dernières ont ainsi subi des séquences de frottement entraînant une perte de matière. (E.CERETTY *et.al.* (2003)).

5. Effet du blanchiment

Les figures 30 et 31 montrent l'effet du blanchiment du papier sur l'ECT.

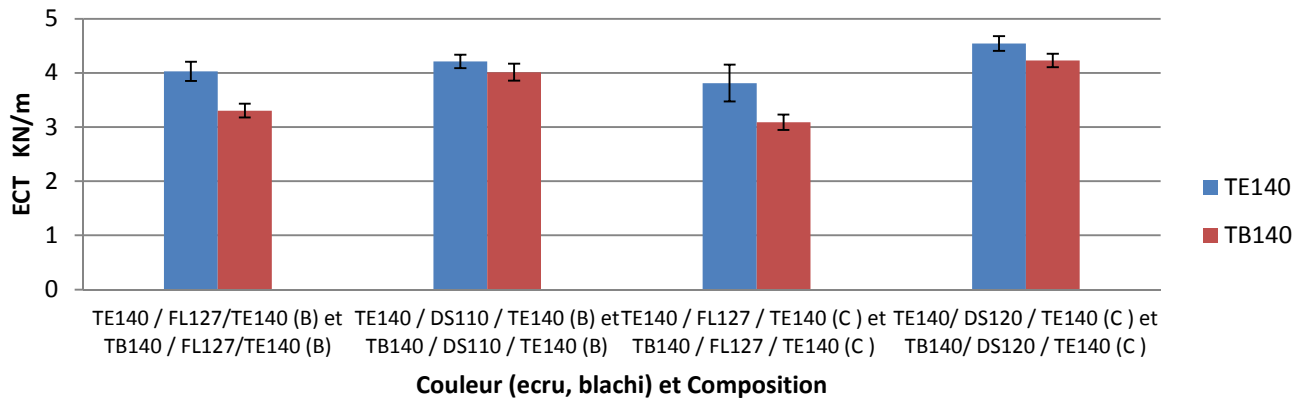


Fig.30 : Effet du blanchiment (TE140 et TB140)

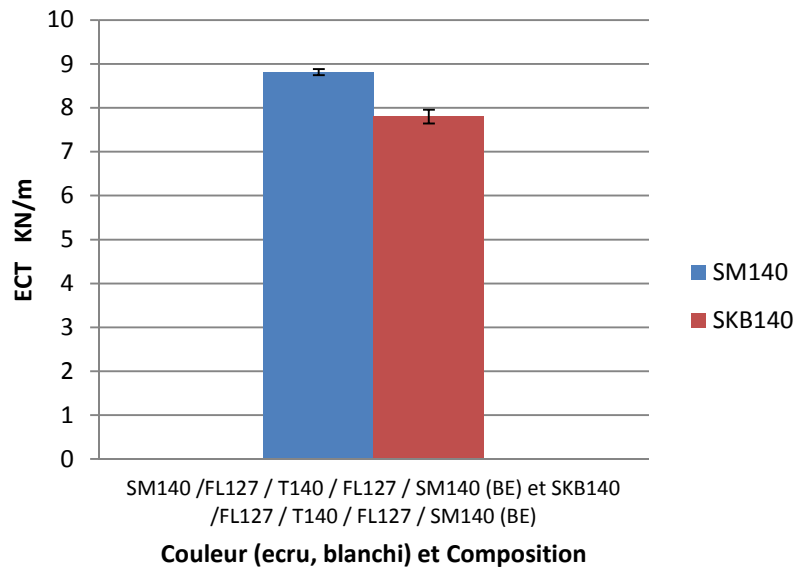


Fig.31 : Effet du blanchiment (SM140 et SKB140).

Dans la Fig.30, il est constaté que le TE140 donne des résultats ECT meilleures par rapport au TB140.

Cette perte de résistance peut être expliquée probablement par le procédé de blanchiment qu'à subi le papier de type Testliner. Ce dernier est constitué essentiellement de fibres recyclées. En effet, le blanchiment des pâtes mécaniques se fait dans des conditions sévères (températures élevées, oxydation atmosphérique, action mécanique...) ce qui provoque la dégradation des fibres cellulosiques, et par conséquent une diminution des propriétés mécaniques.

Dans la Fig. 31, il est remarqué une différence de résistance entre les deux compositions. Aussi, Le SM140 présente un ECT bien supérieur par rapport au SKB140.

Cette différence est probablement due au procédé de blanchiment. En effet le blanchiment des pâtes chimiques, permet d'éliminer totalement la lignine, qui malgré sa pigmentation, elle contribuerait à une meilleure résistance des papiers qui la contiennent. En outre, une dégradation éventuelle des fibres celluloseuses n'est pas à écarter pendant le procédé de blanchiment entraînant ainsi une perte de résistance mécanique.

Conclusion

II. Conclusion

La présente étude a traité sur les facteurs intervenant, lors de la fabrication, dans la qualité du carton ondulé fabriqué au niveau de l'entreprise Générale Emballage. La résistance au gerbage (RCV) est considérée comme l'un des critères de qualité les plus recherchés. La RCV est évaluée grâce à la mesure de la résistance à la compression sur chant.

Les résultats globaux permettent de conclure que les principaux facteurs influençant sur la résistance à la compression sur chant sont :

- Type de papiers utilisés (composition en fibres neuves et recyclées, grammage, type de procédés de fabrication...);
- Le traitement de blanchiment des papiers utilisés ;
- Le type cannelure (B, C, BE, BC);
- Le type de carton (DF ou DD).

Les type DuoSaica de grammage 110 et le Fluting de grammage 127, donne des résistances voisines, et donc la possibilité de remplacer l'un avec l'autre en cas de rupture ou en fonction de prix de vente dans le marché.

Concernant les couvertures de type Test-liner et le Semi-Kraft blanchies, une diminution des propriétés mécaniques est constatée. Ce constat est pris en considération lors de la prise de décision de production. La composition et la cannelure de type double/double donne les plus grandes valeurs d'ECT (de l'ordre du double par rapport à la double face), suivi par l'effet du type de papier utilisé.

Bien que préliminaires, les résultats obtenus permettent de mettre au point une base de données consultative dans les conditions et matériel utilisée dans cette étude. Un tel outil permettra de calculer et de prédire la résistance à la compression des caisses produite au niveau de l'entreprise Générale Emballage.

Il serait très intéressant de lancer la construction de modèles mathématiques de prédiction en se basant sur les résultats préliminaires. D'autres part, d'inclure d'autres facteurs, à savoir, le taux d'humidité, d'autres types de papiers avec une discrimination plus approfondies.

Références
bibliographiques

III. Références bibliographiques

[1] J. REQUENA, 1998, Choix de l'emballage, Techniques de l'ingénieur, réf. A9750.

[2] H.HOLIK, 2006, Handbook of Paper and Board, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim,Germany, Pages 465-493.

[3] La Confédération française de l'industrie des papiers, cartons et cellulose (COPACEL), Avril 2013, [http:// www.carton-iledefrance.fr](http://www.carton-iledefrance.fr).

[4] P.CONIL, 2003, Fabrication des pâtes, Techniques de l'ingénieur, réf. j6901

[5] M. Alava et K. Niskanen, 2006, Physics of paper, Institute of physics publishing, Page 673.

[6] Le service des études et des statistiques industrielles (SESSI), Avril 2013, France, [http:// www.industrie.gouv.fr/sessi](http://www.industrie.gouv.fr/sessi).

[7] C. T. J. DODSON, 1970, The nature of bonds in paper and the behaviour of paper under mechanical strain, Reports on progress in physics, volume 33, part I, Pages 4-6.

[8] J.W. Glomb, D.D. Mulligan, R.G.C. Arridge, L.N. McCartney, M.R. O'Halloran, D.C. Prevorsek, P.J. Mills, 1994, Paper and paperboard, Concise Encyclopedia of Composite Materials, , Pages 225-248.

[9] R.J. Hernandez, S.E. Selke, 2001, Packaging Corrugated Paperboard, Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Pages 6637-6642.

[10] l'Union syndicale française du carton ondulé, 1996, Emballages en carton ondulé, Techniques de l'ingénieur, réf. A9765.

[11] W. J. Whitsitt, 1988, Papermaking Factors Affecting Box Properties, the Institute of Paper Chemistry IPC technical paper series number 288.

[12] A. BOUAKIL, 2000, Le Carton Ondulé, Formation des commerciaux, Générale Emballage.

[13] Cartonnages Ramade, Mai 2013, France, [http:// www.carton-iledefrance.fr](http://www.carton-iledefrance.fr).

[14] Générale Emballage, Avril 2013, Akbou, Algérie, [http:// www.generaleemballage.com](http://www.generaleemballage.com).

[15] N. Navaranjan, R. Jones, 2010, Lock-in infrared thermography for the evaluation of the structural performance of corrugated paperboard structures, *Composite Structures*, Volume 92, Pages 2525-2531.

[16] Le Groupement Belge des fabrications de Carton Ondulé et l'Association Hollandaise, Carton Ondulé, Avril 2013, <http://www.cartonondule.org>.

[17] Laboratoire d'essais METROPACK, Avril 2013, France, <http://www.metropack.fr>.

[18] T. Nordstrand, 2003, Basic testing and strength design of corrugated board and containers, thèse de doctorat.

[19] Harper/Love Adhesive Corporation, Mai 2013 <http://www.harperlove.com>.

[20] D. Eagleton, 1995, Creep properties of corrugated fiberboard containers for produce in simulated road transport environment, Victoria University of Technology.

[21] Diana Twede; Susan E M Selke, 2005, *Cartons, crates and corrugated board: handbook of paper and wood packaging technology*, DEStech Publications.

[22] Y.Zhang, J.Chen, Y.Wu, J, Sun, 2011, Analysis on Hazard Factors of the Use of Corrugated Carton in Packaging Low-Temperature Yogurt during Logistics, *Procedia Environmental Sciences*, Volume 10, Part B, , Pages 968-973.

[23] N. Navaranjan, A. Dickson , J. Paltakari, Kai Ilmonen; 2012., Humidity effect on compressive deformation and failure of recycled and virgin layered corrugated paperboard structures, *Composites Part B: Engineering*, Volume 45, Issue 1, Pages 965-971.

[24] H.MARCEL, 1997, Conditionnement et emballage, *Techniques de l'ingénieur*, réf. A5 280.

[25] École polytechnique fédérale de Lausanne EPFL, *Mais 2013*, Laboratoire de matériaux de construction, Suisse, <http://www.epfl.ch>.

[26] M. TROUY-TRIBOULOT, P. TRIBOULOT, 2012, Matériau bois Structure et caractéristiques, *Techniques de l'ingénieur*, réf. C925.

- [27] N. JARROUX, 2008, Les biopolymères : différentes familles, propriétés et applications, Techniques de l'ingénieur, réf. am3580.
- [28] A. LEMAÎTRE, 2003, Préparation des pâtes, Techniques de l'ingénieur, réf. J 6 901.
- [29] J.ROUX, 2008, Désintégration et raffinage de la pâte à papier, Techniques de l'ingénieur, réf. J 6 903.
- [30] A. LEMAÎTRE, 2003, Machines à papier, Techniques de l'ingénieur, réf. J 6 902.
- [31] A. GALPIN, 2000, Normalisation des emballages, Techniques de l'ingénieur, AG6050
- [32] Le Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et de l'Emballage, Avril 2013
<http://www.cacqe.org>.
- [33] S. MARTIN, 2012, Droit et pratique des emballage-Législation de l'éco-conception, ag6270.
- [34] J. POTHET, 1998, Emballage et environnement, Techniques de l'ingénieur a9730.
- [35] M. A. JIMENEZ, E. LIARTE, 2003, Simulation of the Edge Crush Test of corrugated paperboard using ABAQUS, Instituto Tecnológico de Aragón Área de Mecánica y Nuevos Materiales C/ Maria de Luna 8, 50018 Zaragoza.
- [36] The finishing Equipment Specialists , Mai 2013, <http://www.friedheim.co.uk>.
- [37] Techlab Systems , Mai 2013, <http://www.techlabsystems.com>.
- [38] E.D. CERETTI, E. FELDER, J.M. HAUDIN, 2003, Étude et analyse des surfaces de polymères, Techniques de l'ingénieur, réf. AM 3279.

Annexes

IV. Annexes

Annexe 1

Tableau 1: résultats ECT des compositions de type B

Composition(B)	Moyenne	Ecart type
TB140 / FL127 / KE145	4.082	0.190
TB140 / FL127 / SM140	4.211	0.153
TB140 / FL127 / TE140	3.304	0.128
TB140 / FL127 / DS120	3.587	0.105
TB140 / DS110 / SM140	4.295	0.104
TB140 / DS110 / DS130	3.999	0.064
TB140 / DS110 / DS110	4.279	0.128
TB140 / DS110 / TE140	4.013	0.155
TB140 / DS120 / SM140	4.655	0.128
TB140 / DS140 / KE145	4.763	0.170
TB140 / DS120 / SM140	4.835	0.140
KE145 / DS110 / TE140	5.246	0.187
DS130 / FL127 / DS130	4.052	0.158
DS120 / FL127 / DS120	3.197	0.174
DS110 / DS110 / DS110	3.643	0.120
DS130 / DS120 / DS120	4.199	0.080
DS130 / FL127 / DS130	3.97	0.124
SM140 / FL127 / TE140	4.433	0.203
SM140 / DS110 / TE140	4.438	0.105
SKB140/ DS110/ KE145	5.161	0.317
SKB140/ DS150/ SM140	6.336	0.186
TE140 / DS110 / TE140	4.212	0.124
TE140 / DS130 / TE140	4.717	0.130
TE140 / FL127 / TE140	3.914	0.115

Tableau 2 : Résultats ECT des compositions de type C

Composition (C)	Moyenne	Ecart type
TB140 / FL127 / KE145	3.671	0.164
TB140 / FL127 / TE140	3.086	0.142
TB140 / DS120 / TE140	4.231	0.124
TB140 / HS127 / SM140	4.478	0.060
TB140 / FL127 / DS130	3.661	0.177
TB140 / DS120 / DS130	3.841	0.120
TB140 / FL127 / SM140	3.849	0.176
TB140 / FL127 / FL127	3.481	0.051
KE145 / DS120 / DS130	3.692	0.195
KE140 / FL127 / TE140	3.856	0.148
KE145 / DS120 / KE145	4.732	0.134
KE200 / DS130 / KE145	6.788	0.228
KE140 / DS150 / SM140	5.677	0.160
SM140 / DS130 / TE140	5.961	0.135
SM140 / FL127 / TE140	3.717	0.162
SM140 / HS127 / SM140	5.109	0.111
SM145 / HS127 / SM140	6.074	0.197
SM140 / FL127 / SM140	3.770	0.142
SKB140 / DS120 / KE145	5.124	0.137
SKB140 / DS150 / SM140	5.089	0.142
TE140 / DS130 / TE140	4.545	0.171
TE140 / DS120 / TE140	4.541	0.137
TE140 / FL127 / TE140	3.184	0.338
DS120 / FL127 / DS130	3.447	0.085
DS130 / FL127 / TE140	3.728	0.067

Tableau 3 : résultats ECT des Compositions de type BE

Composition (BE)	Moyenne	Ecart type
TB140 / DS110 / TE140 / DS110 / KE145	7.760	0.130
TB140 / DS120 / DS130 / DS110 / SM140	8.550	0.168
TB140 / FL127 / TE140 / FL127 / SM140	9.541	0.157
TB140 / FL127 / FL127 / FL127 / SM140	8.065	0.182
TB140 / FL127 / DS120 / FL127 / SM140	7.812	0.143
TB140 / DS130 / DS130 / DS110 / SM140	8.938	0.142
KE140 / FL127 / TE140 / FL127 / SM140	8.715	0.163
SM140 / FL127 / TE140 / FL127 / TE140	8.620	0.243
SM140 / DS130 / DS130 / DS110 / SM140	9.420	0.113
SM140 / FL127 / TE140 / FL127 / DS130	8.481	0.092
SM140 / DS120 / TE140 / DS120 / TE140	9.252	0.138
SM140 / FL127 / TE140 / FL127 / SM140	8.814	0.067
SKB140 / DS110 / TE140 / HS127 / KE140	9.240	0.175
SKB140 / DS110 / TE140 / DS150 / SM140	10.730	0.094
SKB 140 / FL127 / TE140 / FL127 / SM140	7.800	0.155

Tableau 4 : résultats ECT des Compositions de type BC

Composition (BC)	Moyenne	Ecart type
TB140 / DS130 / TE140 / DS130 / TE140	8.652	0.114
TB140 / FL127 / TE140 / FL127 / SM140	6.922	0.122
KE145 / FL127 / TE140 / FL127 / KE145	7.100	0.264
KE400 / FL127 / TE140 / FL127 / SM140	15.940	0.128
KE200 / FL127 / TE140 / FL127 / SM140	8.203	0.127
KE200 / DS130 / DS130 / DS130 / SM140	10.614	0.123
KE140 / FL127 / DS120 / FL127 / DS130	6.870	0.127
KE200 / DS130 / TE140 / DS130 / TE140	9.828	0.214
DS130 / FL127 / DS130 / FL127 / DS130	6.610	0.085
DS130 / DS130 / DS130 / DS110 / DS130	6.880	0.096
SM140 / FL127 / TE140 / FL127 / SM140	7.410	0.149
SM140 / FL127 / TE140 / FL127 / TE140	6.830	0.162

Annexe 2

Exemple d'une fiche technique :

 GENERALEMBALLAGE INDUSTRIE DU CARTON ONDULE	Réf: IM.R5.G Révision: 01 Date : 04/06/2012 Page : 1 / 1
	FICHES TECHNIQUES MATIERES PREMIERES

I. DESIGNATION DU PRODUIT		
PRODUIT :	PAPIER FLUTING	
UTILISATION :	Destiné à la réalisation des cannelures	
II. SPECIFICATION TECHNIQUE		
PARAMETRES	UNITE	VALEURES
Grammage	Gr/m ²	120 (+/- 3%)
Humidité	%	8.5 (-2, +1)
CMT DM min	N	>192
Indice CMT	N.m ² /g	>1.6
SCT DT min	KN/m	>2.00
Indice SCT	N.m/kg	>16.6

Résumé

Vu l'importance grandissante de l'utilisation du carton ondulé dans quasiment tous les secteurs d'activité, la résistance et la fiabilité de cet emballage est au cœur des préoccupations du fabricant et de l'utilisateur. Dans ce contexte notre étude a pour objet principale l'évaluation de la résistance à la compression verticale (RCV) du carton ondulé produit par l'entreprise Générale Emballage. Cette grandeur est obtenue par la mesure de la résistance à la compression sur chant (ECT). Il est apparu que l'ensemble des facteurs étudiés à savoir : la composition du carton, le type de papier utilisé, le type de cannelure ainsi que l'effet du traitement de blanchiment, influencent plus ou moins les valeurs de l'ECT et par conséquent la RCV. La composition et la cannelure de type double/double donne les plus grandes valeurs d'ECT (de l'ordre du double par rapport à la double face), suivi par l'effet du type de papier utilisé. Il est également ressorti la possibilité de remplacement des ces derniers grâce à des compromis entre les différents facteurs étudiés (le cas du DS110 et FL127). Les résultats obtenus d'initier une base de données consultative pour le fabricant. Un tel outil permettra de calculer et de prédire la résistance à la compression des caisses produite au niveau de l'entreprise Générale Emballage.

Mots clés : carton ondulé, résistance à la compression verticale, compression sur chant.