

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION  
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES  
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industriel

Spécialité : Management industriel et logistique

Présenté par :

Ghezlane Jaouane

Thème

**Etude et mise en place d'une ligne de  
production de bobines de papier à base  
des déchets du carton**

Soutenu publiquement, le 06/07/2022, devant le jury composé de :

Mme Latéfa GHOMRI	Professeur	Univ. Tlemcen	Présidente
M Mustapha Anwar BRAHAMI	MCA	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M Fouad MALIKI	MCB	ESSA. Tlemcen	Co- Directeur de mémoire
M Mohammed BENNEKROUF	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur
Mme Imen KOULOUGHLI	MCB	ESSA. Tlemcen	Examinatrice
M Mustapha MEZEGHRANI	Directeur maintenance	Général Emballage SPA	invité

Année universitaire : 2021/2022

# Remerciement

*Comme chaque étudiant, je suis passée par des hauts et des bas au cours de mon cursus. Alors, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mes études et mon projet de fin d'étude et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.*

*Je voudrais dans un premier temps remercier mon encadrant Mustapha Anwar BRAHAMI et mon co-encadrant, aussi le chef de filière Génie Industriel, Mr Fouad MALIKI pour leur patience, leur disponibilité et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Aussi tous les professeurs au sein de l'école supérieure des sciences appliquées de Tlemcen qui ont tellement ajouté à mes compétences personnelles autant que professionnelles et qui j'avais un énorme plaisir d'être leur étudiante, citant parmi eux Mme Amina OUHOUD et Mr Mohammed BENNEKROUF.*

*Je désire aussi remercier toute l'équipe de Général emballage, mon tuteur Mr Nassim BEZOUÏ et mon dirigeant au sein de l'entreprise Mustapha MEZGHRANI qui m'ont fourni tous types d'aide au cours de mon stage.*

*"Ghezlane Jaouane"*

# Dédicace

*je dédie ce travail aux meilleurs parents au monde, Hadri JAOUANE et Lahouaria BENDJELIDA, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, Merci d'être mon papa et maman, vous serez toujours les premiers à qui je compte et ma force pour vivre.*

*À mes adorables frères et sœurs Habib, Islam, Imane, Yamina et Nawel et je les remercie pour leurs existantes dans ma vie et toute ma famille.*

*À ma deuxième famille, Bouchra, Hanifa Yassmine, alya, Taibi Azzi Amani Hajla, Imen, Wafaa Mbarka et Rym. Merci d'exister, mon monde sans vous serait sans saveur. Je ne trouve pas les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes sentiments, vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur lesquelles je peux compter. À mes amis Amine, Abd Eel Karim, Mohamed El Amine, Adnane et Zakaria. En témoignage de l'amitié qui nous unit et en souvenir de tous les moments passés ensemble, je vous dis merci et je vous souhaite du succès et du bonheur.*

*"Ghezlane Jaouane"*

# Résumé

Les coûts d'importation des matières premières de l'emballage, surtout les bobines de papier, sont immenses, ce qui a convaincu les dirigeants de GÉNÉRAL EMBALLAGE à penser à s'inscrire dans une stratégie de recyclage papetier.

Au cours de notre stage au sein de l'entreprise GÉNÉRAL EMBALLAGE, nous nous sommes intéressés par notre projet de fin d'étude à modéliser et simuler le processus de recyclage des déchets de papier en utilisant le logiciel de simulation Arena afin d'acquérir des connaissances et un aperçu sur ce système et ses performances.

## Abstract

The costs of importing raw materials for packaging, especially paper reels, are immense, which convinced the managers of GENERAL EMBALLAGE to think about a paper recycling strategy.

During our stage at GENERAL EMBALLAGE, we were interested in modeling and simulating the waste paper recycling process using the Software Arena simulation in order to gain knowledge and insight into this system and its performance.

## ملخص

تكاليف استيراد المواد الخام للتغليف، وخاصة لفات الورق، هائلة، الأمر الذي أقنع مديري جنرال إيمبالاج بالتفكير في اعتماد استراتيجية إعادة تدوير الورق.

خلال فترة تدريبنا، اهتمنا بمشروع نهاية الدراسة الخاص بنا في نمذجة ومحاكاة عملية من أجل اكتساب المعرفة Arena إعادة تدوير نفايات الورق باستخدام برنامج محاكاة. والرؤية حول هذا النظام وأدائه

# Table des matières

Remerciment	1
Dédicace	2
List of Figures	7
List of Tables	8
Introduction générale	9
<b>1 L'entreprise Général Emballage</b>	<b>10</b>
1.1 Introduction . . . . .	10
1.2 Présentation de l'entreprise . . . . .	11
1.2.1 Les données de l'entreprise . . . . .	11
1.2.2 L'historique . . . . .	12
1.2.3 La gamme des produits . . . . .	13
1.2.4 Identification de l'entreprise et sa forme juridique . . . . .	14
1.2.5 L'organigramme de la direction générale . . . . .	15
1.2.6 Situation géographique . . . . .	15
1.3 L'usine d'Oran . . . . .	16
1.3.1 Situation géographique d'unité d'Oran . . . . .	16
1.4 Le processus de la matière première au produit fini . . . . .	17
1.4.1 La production du carton ondulé . . . . .	17
1.4.2 La transformation . . . . .	19
1.5 Conclusion . . . . .	19
<b>2 Généralités sur le recyclage et la simulation</b>	<b>20</b>
2.1 Introduction . . . . .	20
2.2 Le recyclage papetier . . . . .	21

2.2.1	Le recyclage . . . . .	21
2.2.2	Le recyclage de papier . . . . .	22
2.3	Modélisation et simulation des systèmes de production . . . . .	27
2.3.1	Définition . . . . .	27
2.3.2	Domaines d'application de la simulation . . . . .	27
2.3.3	Les objectifs de la simulation . . . . .	28
2.3.4	Classification des modèles de simulation . . . . .	28
2.3.5	Les logiciels de simulation de flux . . . . .	28
2.3.6	Le logiciel de simulation Arena . . . . .	30
2.4	Conclusion . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Simulation du processus de recyclage papetier</b>	<b>32</b>
3.1	Introduction . . . . .	32
3.2	Description de la problématique . . . . .	33
3.3	Les fournisseurs des machines de recyclage papetier . . . . .	33
3.3.1	Le choix du fournisseur . . . . .	34
3.3.2	Estimation du prix . . . . .	34
3.4	La quantité d'eau nécessaire pour le recyclage . . . . .	34
3.5	Le calcul du besoin des machines . . . . .	34
3.6	La simulation du système . . . . .	35
3.6.1	Le pulpage . . . . .	35
3.6.2	Le nettoyage et tamisage . . . . .	38
3.6.3	Le désencrage et épaissement . . . . .	40
3.6.4	La simulation du système complet . . . . .	42
3.7	Conclusion . . . . .	44
	<b>Conclusion générale</b>	<b>45</b>
	<b>Bibliography</b>	<b>46</b>

# Table des figures

1.1	Général Emballage logo . . . . .	11
1.2	L'historique de Général emballage . . . . .	12
1.3	Organigramme de la direction générale de l'entreprise . . . . .	15
1.4	Situation géographique . . . . .	15
1.5	Plan de masse de l'usine d'Oran . . . . .	16
1.6	Situation géographique d'unité d'Oran . . . . .	16
1.7	La schématisation de l'onduleuse . . . . .	17
2.1	Recyclage logo . . . . .	21
2.2	Le cycle de recyclage papetier . . . . .	22
2.3	Les centres de collecte de vieux cartons . . . . .	23
2.4	La préparation de pâte . . . . .	24
25figure.caption.27		
2.6	Arena logo . . . . .	30
3.1	Le process du pulpage . . . . .	35
3.2	La simulation de la mise en pâte . . . . .	36
3.3	temps de traitement . . . . .	37
3.4	Les encours . . . . .	37
3.5	Le temps entre deux sorties . . . . .	37
3.6	Le nettoyage et tamisage . . . . .	38
3.7	La simulation de nettoyage et tamisage . . . . .	38
3.8	temps de traitement . . . . .	39
3.9	Les encours . . . . .	39
3.10	Le temps entre deux sorties . . . . .	39
3.11	Le désencrage et épaissement . . . . .	40
3.12	Le désencrage et épaissement . . . . .	40
3.13	temps de traitement . . . . .	41

3.14	Le temps total . . . . .	41
3.15	Le temps entre deux sorties . . . . .	41
3.16	Le headbox et la table à papier . . . . .	42
3.17	La ligne de recyclage papetier . . . . .	42
3.18	Modélisation de système . . . . .	42
3.19	Les résultats de la simulation . . . . .	43

# Liste des tableaux

1.1	Produits fabriqués par Général Emballage . . . . .	14
1.2	principaux types du carton ondulé . . . . .	18

# Introduction générale

Créer de l'autosuffisance afin de réduire les importations est un objectif stratégique pour les multinationales. L'une des solutions est la mise en place de système de recyclage qui sont souvent complexes.

Réalisé à base du carton, l'emballage est l'un des produits le plus consommé actuellement dans le monde suite à son utilisation dans différents secteurs de production des biens et des services. De ce fait, le recyclage des déchets du carton qui est composé de fibres 100% recyclable et non toxique afin de produire du papier utilisable pour la production est stratégique pour les entreprises.

L'objectif de ce projet est de concevoir un système de recyclage papetier afin de définir les différentes machines à utiliser. Ce système est simulé en utilisant les données de l'entreprise GÉNÉRAL EMBALLAGE SPA qui se présente comme un leader dans la production du carton ondulé, cette simulation permet d'avoir les indicateurs relatifs aux systèmes de production que l'entreprise vise à mettre en place dans un futur proche.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres, le premier présente l'entreprise GÉNÉRAL EMBALLAGE, son organigramme ainsi que ses produits. Une description détaillée du système de production de l'usine d'Oran est présentée à la fin du chapitre.

Le deuxième chapitre introduit des généralités sur le recyclage papetier ainsi que le processus de production du papier recyclable. Ainsi, une description des différents outils utilisés pour la simulation des flux de production sont détaillés et expliqués.

Le dernier chapitre explique les détails de l'étude effectuée avec description des machines sélectionnées, du processus défini ainsi que les résultats de la simulation effectuée avec le logiciel Arena.

Ce mémoire est clôturé par une conclusion générale et quelques perspectives.

# Chapitre 1

## L'entreprise Général Emballage

### 1.1 Introduction

Depuis la préhistoire, l'être humain avait besoin de protéger ses produits avec différents matériaux. En effet, le produit doit être transporté, stocké et protégé, ceci est fait avec l'emballage qui peut être sous différentes formes matériaux comme des pots en terre cuite et en faïence ou des paniers en fibres végétales au début, puis il s'est développé au fur et à mesure en bouteilles en plastique, les boîtes et les caisses en carton...

Bien que la première boîte en carton ait été inventée en Chine au XVI<sup>e</sup> siècle, ce n'est qu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle que son utilisation dans le but que nous connaissons aujourd'hui est devenue populaire. La révolution industrielle et la nécessité d'emballer des marchandises en minimisant ses coûts et poids à base de bois ont permis au carton ondulé de gagner du terrain dans le domaine de l'emballage. Tel qu'aujourd'hui, le carton ondulé est la solution idéale d'emballage.

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'entreprise **Général Emballage** dans laquelle nous avons fait notre stage. Nous présenterons notamment le processus de la fabrication de l'emballage en carton ondulé.

## 1.2 Présentation de l'entreprise

Général emballage est une entreprise papetière, leader dans l'industrie du carton ondulé, elle fabrique à la commande, des plaques doubles-faces (cannelures B, C et E) et doubles-doubles (BC et BE), des emballages et des displays. Aussi, elle réalise des post-impressions en Haute résolution jusqu'à 6 couleurs avec vernis intégral ou sélectif.

Général Emballage est certifié conforme au Système de management intégré Qualité-Santé et Sécurité au travail (S&ST)- Environnement (ISO 9001 en 2015, ISO 14001 en 2015, ISO 45001 en 2018).

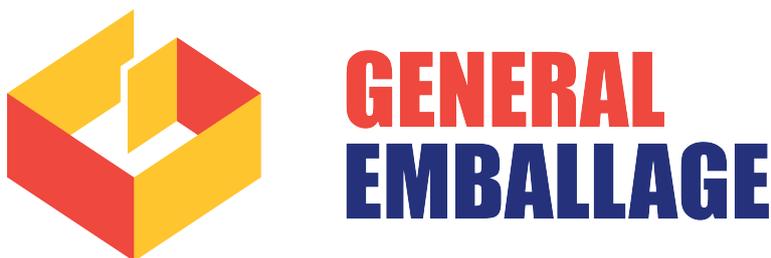


FIGURE 1.1 – Général Emballage logo

### 1.2.1 Les données de l'entreprise

Capital social	2.000.000.000 DZD
Sites industriels	Akbou, Oran et Sétif
Sites de collecte	Alger, Oran et Sétif
Employés	>1200
Chiffre d'affaires	19 milliards DZD

## 1.2.2 L'historique

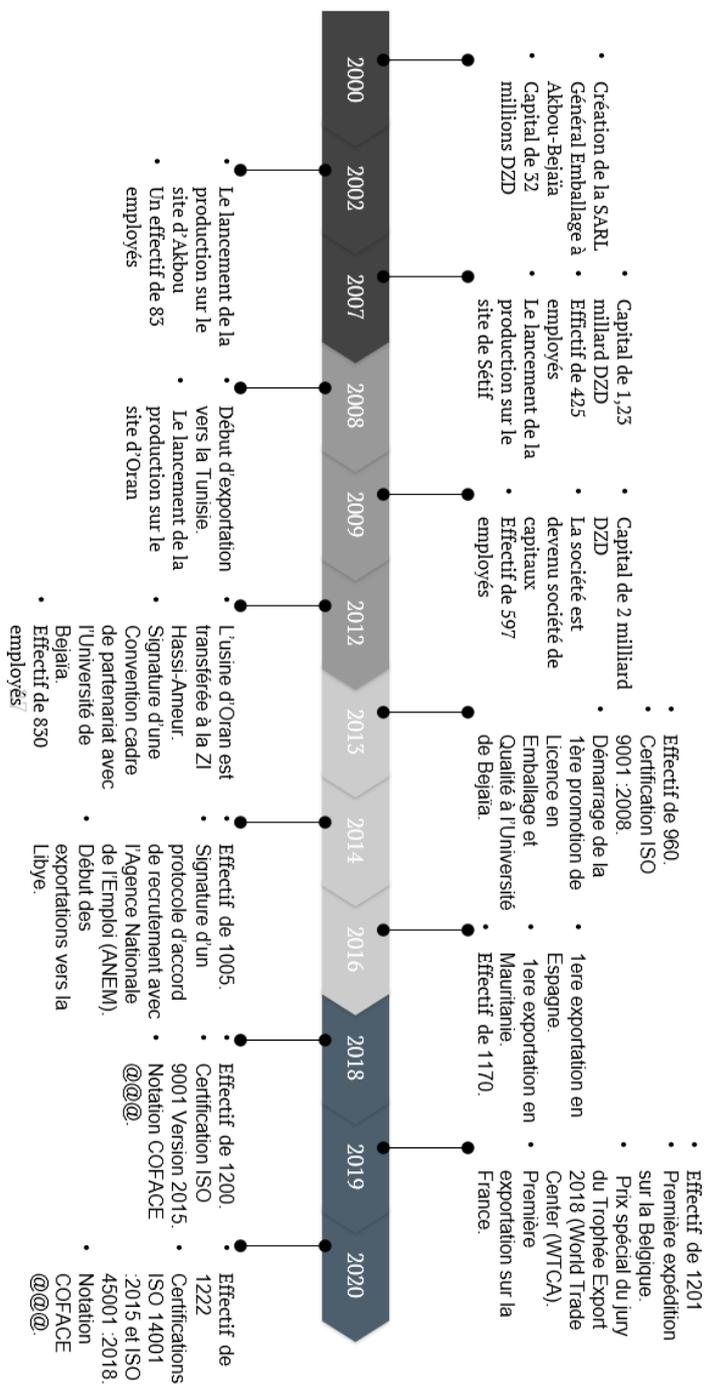


FIGURE 1.2 – L'historique de Général emballage

### 1.2.3 La gamme des produits

Général Emballage a une vaste gamme de produits de qualité pour satisfaire sa clientèle, parmi ses produits :

	<p>Plaques et intercalaires : plaques pour l'industrie de transformation de carton ondulé et intercalaires pour les besoins logistiques.</p>
	<p>Caisses américaines : est le grand classique de l'emballage, elle est utilisée pour l'emballage et le transport de marchandises de toutes tailles, livrée plat pour une fermeture par ruban adhésif ou agrafes.</p>
	<p>Box : ils sont fabriqués en papiers de gros grammages (400g/m<sup>2</sup>) et en double-double (cannelure BC) pour le transport du vrac solide et liquide, de lourdes pièces métalliques de gros volume, des pièces délicates de grande dimension, de pièces d'automobile et des granulés.</p>
	<p>Barquettes et découpes : ont la particularité d'être traité par des formes de découpes (moules), convient pour les produits porteurs : pot de yaourt, bouteilles, canettes, etc.</p>
	<p>PAV et PLV : les emballages prêts-à-vendre (PAV) combinent les utilités logistiques et marchande. Nous concevons aussi des montages pour la publicité sur les lieux de vente (PLV). Ces supports en carton ont pour fonction d'attirer l'attention de l'acheteur et de mettre en valeur les marques.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aliments à emporter : ils ont une large gamme pour aliments à emporter (boîtes pour pizza, burgers, frites, poulets rôtis et tacos), le carton utilisé est recouvert d'une fine couche de paraffine alimentaire qui le rend étanche.</li> </ul>
	<p>Bureau et archivage : est la fourniture de bureau essentiel pour organiser, conserver et classer les dossiers papiers.</p>
	<p>Plateaux fruits et légumes</p>

TABLE 1.1 – Produits fabriqués par Général Emballage

#### 1.2.4 Identification de l'entreprise et sa forme juridique

Le siège social de la société est situé à la zone industrielle d'Akbou 06200 (w) Bejaia, ALGÉRIE. Concernant sa forme juridique, l'entreprise Général Emballage est une Société par actions dont le capital social est de deux milliards de dinars algériens par conversion du compte courant associé suite à la résolution N°02 de l'Assemblée générale extraordinaire tenue le 30 juin 2009.

## 1.2.5 L'organigramme de la direction générale

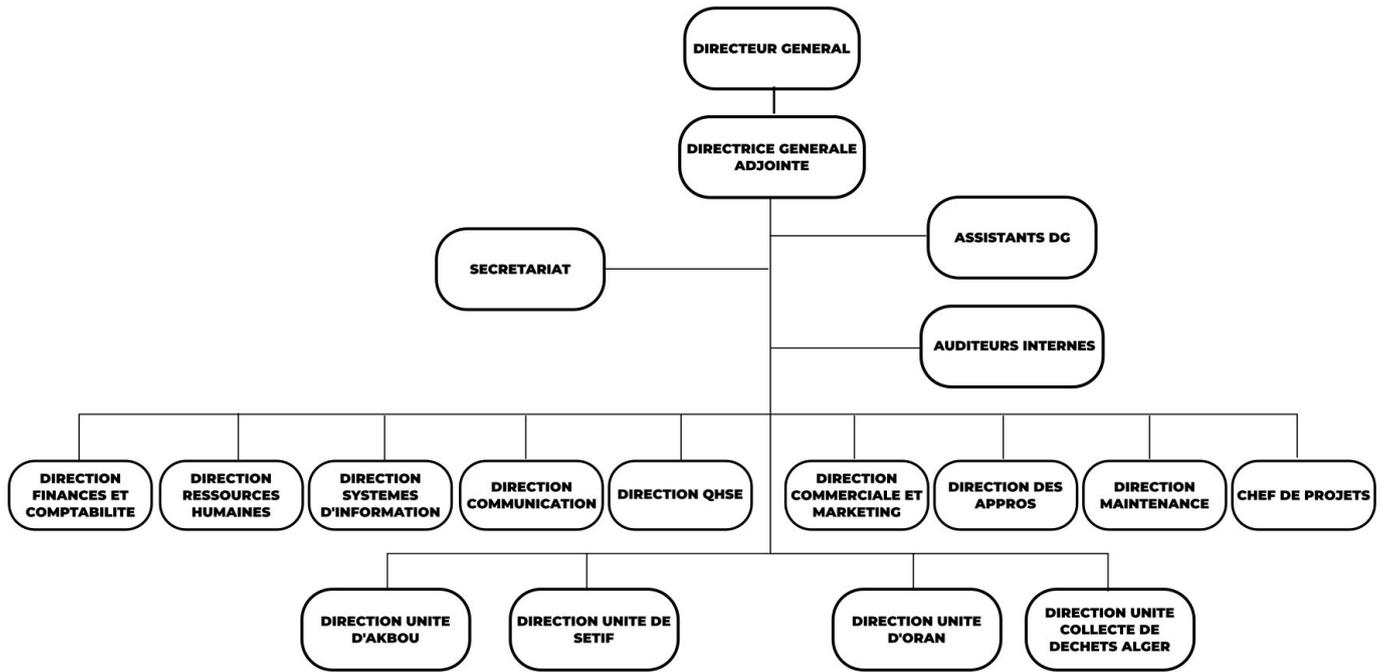


FIGURE 1.3 – Organigramme de la direction générale de l'entreprise

## 1.2.6 Situation géographique

Général Emballage est active en trois zones, Akbou, Setif et Oran. La situation géographique des usines d'accueils est indiquée sur la carte géographique de l'Algérie suivante :



FIGURE 1.4 – Situation géographique

## 1.3 L'usine d'Oran

L'unité d'Oran est la troisième unité de Général Emballage, lancée en 2008, spécialisée juste au secteur de la transformation à Hassi-Ameur puis une nouvelle unité de production est initialisé, cette dernière se trouve à Hassi-Ben-Okba wilaya d'Oran et différemment à la première, elle pratique les deux secteurs : la production du carton ondulé et la transformation.

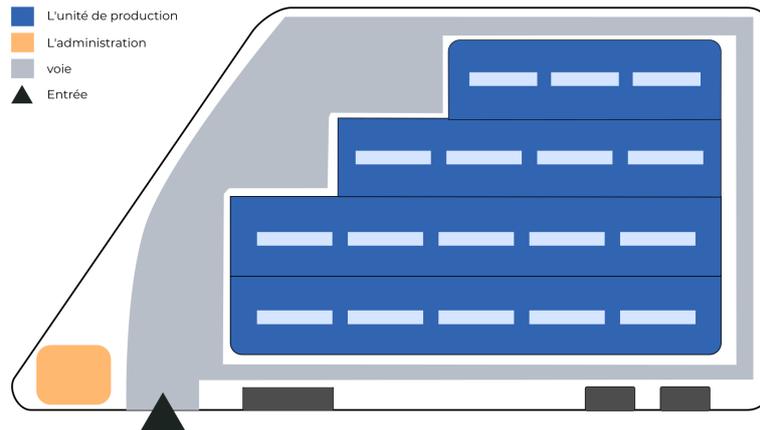


FIGURE 1.5 – Plan de masse de l'usine d'Oran

### 1.3.1 Situation géographique d'unité d'Oran



FIGURE 1.6 – Situation géographique d'unité d'Oran

## 1.4 Le processus de la matière première au produit fini

### 1.4.1 La production du carton ondulé

Le processus commence par la bobine comme matière première :

Qualité de papier	Grammage (g.m <sup>2</sup> )
Kraft écreu	115-125-135-140-200
Simili Kraft écreu	115-125-140-145
Simili Kraft Blanc	125-140-170
Test Ecreu	135-140
Test Blanc	125-135
Hydro-saica	120-135-150-160
Hydro saica plus	190
Fluting	110-125-127-130
Duo Saica	90-110-120-130-200
Test blanc couché	140-145

Cette matière première est traitée dans le train onduleur FOSBER qui se compose de deux parties :

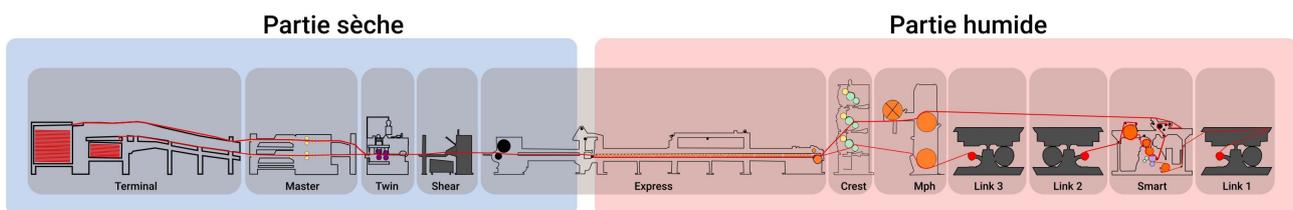


FIGURE 1.7 – La schématisation de l'onduleuse

## La partie humide

- Ensemble de machines qui composent la partie initiale de la ligne onduleuse où s'effectuent le débobinage, l'ondulation, le contre-collage et l'encollage du papier.

- Le papier est alimenté sans interruptions grâce aux machines jointeuses qui effectuent le raccordement du papier déroulé par la bobine en cours de travail avec le papier de la bobine en attente.

- Elle comprend les groupes onduleurs, les dérouleurs de bobines, les jointeuses, le préchauffeur, l'encolleuse aux tables et les tables chaudes.

cette partie produit deux types de carton ondulé :



**Simple face** ou SF une couverture unique avec une cannelure solidarifiée par un joint de colle



**Double face** ou DF une seconde couverture s'ajoute à la SF un second module SF s'ajoute au DF

TABLE 1.2 – principaux types du carton ondulé

## La partie sèche

- Ensemble de machines qui composent la partie finale de la ligne onduleuse où le tapis continu du carton ondulé en provenance de la partie humide est divisé en feuilles par l'intermédiaire d'une coupe longitudinale et transversale, comme il est possible de réaliser les rainages sur les feuilles.

- La partie sèche comprend les machines suivantes : coupeuse auxiliaire, mitrailleuse, coupeuse transversale et empileuse.

- En suite, on peut constater deux genres de sortie de l'onduleuse, soit un produit fini qui sera directement livré au client, ou bien un produit semi-fini qui va passer à la transformation.

## 1.4.2 La transformation

Les produits semi-finis vont passer successivement sur un certain nombre de machines de transformation, de manière à produire l’emballage attendu par le client.

L’unité d’Oran contient trois machines de transformation en parallèle :

- Martin OMT1.
- Martin OMT2.
- OSPO.

**Les étapes de transformation :**

- L’impression : sur machine d’impression avec groupes vernis.
- La mitrailleuse : mise au format ou création de rainages.
- La découpe : sur découpoir rotatif ou machine de découpe à plat.
- La plieuse-colleuse : pour plier et coller la caisse.
- La presse à cercle.

## 1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le leader algérien de la production de carton ondulé et de l’emballage qui est **Général Emballage**. Plus particulièrement, nous avons présenté l’unité de production et de transformation d’Oran dans laquelle nous avons effectué notre stage de fin d’études. Enfin, et avec une attention particulière, nous avons détaillé le processus de production du carton et sa transformation.

Durant notre stage, Général Emballage nous a proposé de faire une étude sur le recyclage papetier et de modéliser son processus en utilisant le logiciel de simulation Arena. En effet, Général Emballage compte enrichir prochainement ses activités à travers la mise en place du recyclage papetier et les résultats de cette étude seront éventuellement utilisés dans le lancement de cette activité. Les détails de cette étude feront l’objet des chapitres suivants.

# Chapitre 2

## Généralités sur le recyclage et la simulation

### 2.1 Introduction

Afin d'obtenir une bonne vision sur le projet à accomplir, il faut d'abord faire une très bonne étude sur l'idée proposée, aussi ses nécessités, besoins et résultats.

Ensuite, au regard des évolutions récentes et dans le but d'atteindre les exigences des clients et contrôler les crises de l'environnement, la stratégie de la supply chain doit être de plus en plus souvent revue. Une ambition qui n'est possible qu'avec des processus régulièrement mis à jour, exécutables rapidement, permettant une prise de décision agile, à différents niveaux, ceci donne lieu à la création d'un jumeau numérique de sa supply chain surtout sa chaîne de production.

Ce chapitre va nous permettre de savoir plus sur le recyclage papetier, sa définition, son processus et ligne de production en fonction des machines. Ensuite, nous présenterons la modélisation du système de production et sa simulation en utilisant le logiciel Arena.

## 2.2 Le recyclage papetier

### 2.2.1 Le recyclage

#### 2.2.1.1 Définition

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets qui permet de donner une deuxième vie à un objet et de réintroduire de nouveaux produits dans le cycle de consommation.

Le guide dans une démarche de réduction des déchets est servi par la notion des **3R** du recyclage

1. **Réduire** : le déchet le plus facile à recycler est celui qu'on ne produit pas.
2. **Réutiliser** : réemployer les objets au lieu de les jeter est un réflexe d'un mode de consommation plus sain permettant ainsi d'allonger la durée de vie de vos produits.
3. **Recycler** : si les deux premières options sont épuisées, n'hésitez pas à recycler votre déchet après un bon procédé de tri afin d'obtenir de bons résultats.



FIGURE 2.1 – Recyclage logo

#### 2.2.1.2 Le tri des produits recyclables

Au prix d'un meilleur tri de déchets, il existe des poubelles de recyclage qui sont catégorisées selon des couleurs :

<i>La couleur</i>				
<i>Le type de produit</i>	Le verre	Le plastique	Le papier	Le reste des déchets

## 2.2.2 Le recyclage de papier

Recycler le papier, c'est réutiliser la fibre présente dans le produit en papier ou en carton usagé. Ces derniers peuvent être recyclés de 5 à 7 fois tel que 94,6% de leurs quantités totales représente la quantité du nouvel papier produit.

Le recyclage d'une tonne de papier consomme  $16\text{ m}^3$  d'eau mais en même temps et suivant la page **Greentumble**, cette tonne permet de sauver en moyenne :

- 19 arbres qui peuvent absorber 127 kilogrammes de dioxyde de carbone de l'atmosphère chaque année.
- 1 500 litres d'huile.
- 2,68 mètres cubes d'espace de décharge.
- 4 400 kilowatts d'énergie.
- 29 000 litres d'eau.

### 2.2.2.1 Le process du recyclage papetier

Le recyclage du papier passe par plusieurs phases :

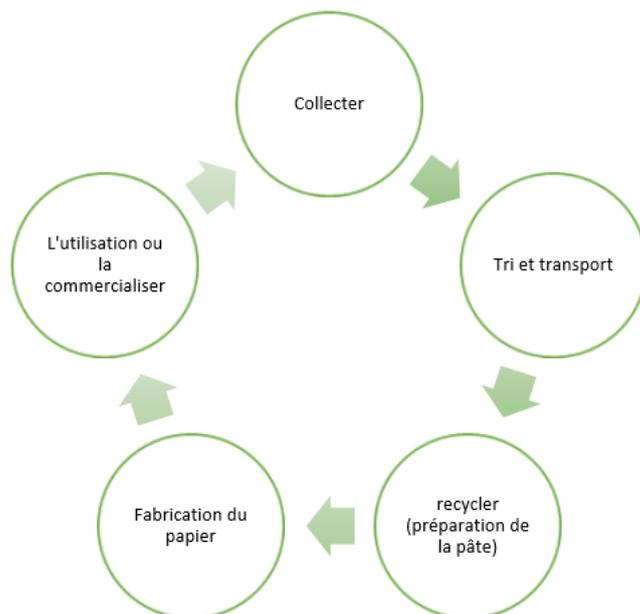


FIGURE 2.2 – Le cycle de recyclage papetier

## 1. La collecte

- Cette étape implique la collecte des papiers recyclables dans divers endroits, comme les supérettes, les magasins, les usines de production qui utilise l'emballage en carton ondulé. En plus, les déchets de production de l'emballage.

## 2. le transport, Le tri et le broyage

- Après la collecte des déchets, ces derniers sont transportés vers des unités de collectes et triés puis broyés et compressés pour obtenir des cubes compressés de papiers prêts à recycler.

**Remarque** : Au sujet de ces deux phases, Général Emballage a cinq centres de collectes dont trois sont opérationnels et deux seront ouverts prochainement.

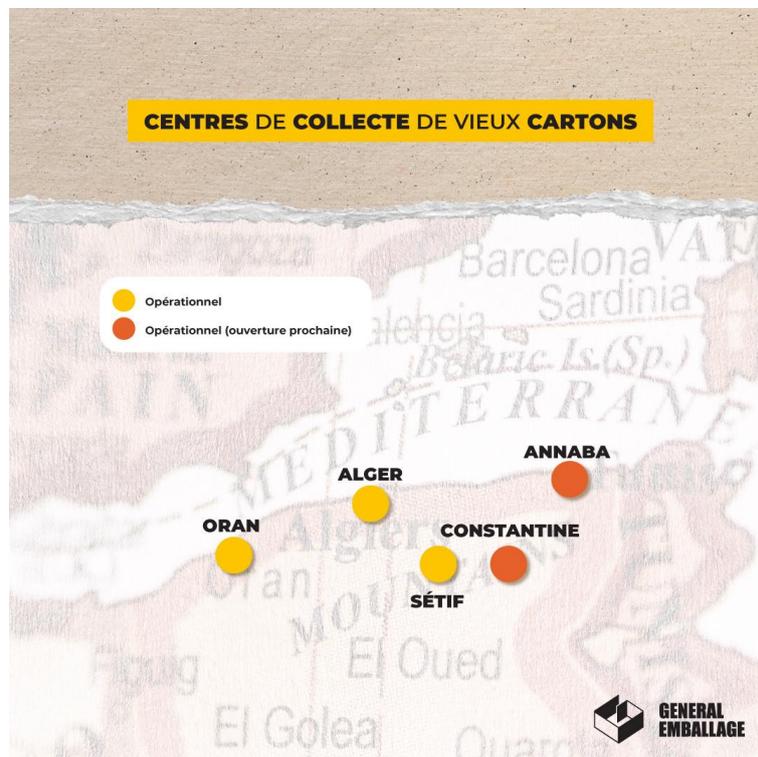


FIGURE 2.3 – Les centres de collecte de vieux cartons

### 3. La préparation de la pâte :

- Cette phase elle-même est divisée en plusieurs étapes :

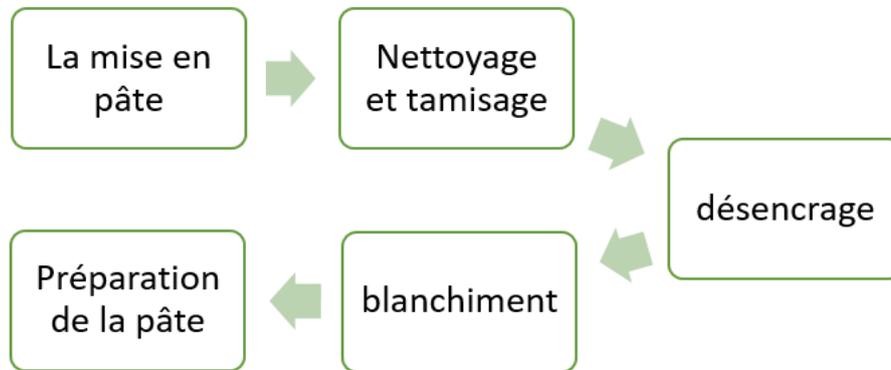


FIGURE 2.4 – La préparation de pâte

#### a. La mise en pâte

- Au cours de cette étape, le papier broyé est soumis à une grande quantité d'eau et mélangé à fin d'extraire les fibres du papier et du carton et de les transformer ensuite en pâte. Après le processus de mise en pâte, des séparateurs de trame sont appliqués pour éliminer les gros morceaux de colle, d'encre et autres contaminants.

#### b. Le nettoyage et tamisage

- En deuxième place, la pulpe est nettoyée des objets lourds comme les agrafes, les trombones et les épingles en plastique sont projetés hors des cuves cylindriques en forme de cône, tandis que les particules plus légères se rassemblent au centre d'où elles sont retirées en toute sécurité. En suite, la pâte est tamisée. En gros, la pulpe est poussée à travers des tamis qui ont des trous et des fentes de différentes formes et tailles.

#### c. Désencrage

- Ensuite, en fonction du papier, la pâte peut passer par la phase de désencrage. Ce processus permet d'éliminer les résidus d'encre, d'impression et de colle ainsi que les adhésifs.

#### d. Blanchiment

- Le papier subit ensuite un traitement supplémentaire pour séparer toutes les particules de couleur de la pâte. Après cela, si l'on veut fabriquer du papier blanc, on utilise du peroxyde d'hydrogène, de l'oxygène ou du dioxyde de chlore pour le blanchir.

*Remarque* : Si l'on veut fabriquer du carton, la pâte n'est pas blanchie.

#### 4. La fabrication de la feuille de papier-carton

Avant de devenir feuille de papier ou carton, la pâte à papier parcourt un long chemin à travers la machine à papier :

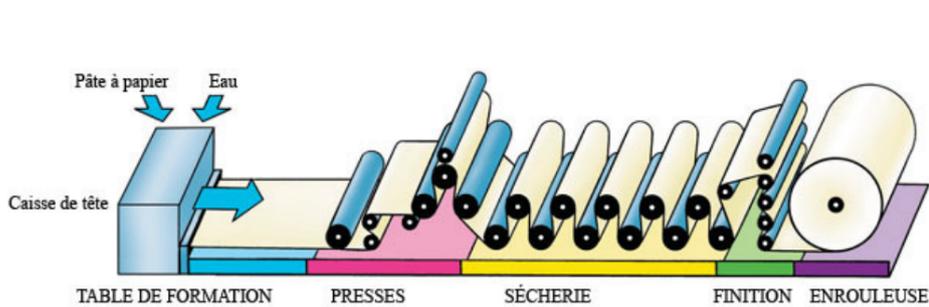


FIGURE 2.5 – Machine à papier<sup>1</sup>

##### a. La table de formation

- La pâte à papier est déposée sous forme de jet sur la table de formation.

##### b. Les presses

- La feuille est comprimée entre deux cylindres recouverts de feutre absorbant.

##### c. La sécherie

- La feuille est séchée contre des tambours de fonte chauffés intérieurement à la vapeur.

##### e. Les apprêts

- La surface du papier est égalisée par compression entre des rouleaux d'acier (lissage et calandrage).

**f. Le couchage**

- La feuille peut être recouverte sur une ou deux faces d'une couche de pigment d'origine minérale (kaolin, etc), destinée à améliorer l'aptitude à l'impression du papier.

**g. L'enrouleuse**

- La feuille est enroulée en bobines. Elle peut être ensuite découpée en feuilles ou refendue en bobines plus petites. Le papier est prêt à être livré.

## **2.3 Modélisation et simulation des systèmes de production**

### **2.3.1 Définition**

La modélisation est la démarche qui consiste à concevoir une représentation simplifiée d'un système complexe, dans le but de fournir des prédictions sur les mesures de performance (métriques) du système d'intérêt.

Une telle représentation simplifiée s'appelle un modèle, ce dernier est conçu pour certains aspects comportementaux du système modélisé, celles qui présentent un intérêt pour l'analyste / le modélisateur, afin d'acquérir des connaissances et un aperçu du comportement du système.

### **2.3.2 Domaines d'application de la simulation**

La simulation peut être utilisée dans plusieurs domaines. Par exemple :

#### **2.3.2.1 Systèmes de production**

- Conception des systèmes de transfert entre des postes.
- Dimensionnement des stocks d'un atelier.
- Gestion de ressources de fabrication.
- Évaluation et gestion de la manutention.

#### **2.3.2.2 Systèmes de transport**

- Évaluation et gestion de la manutention.
- Étude du déroulement de contrôle des flux des véhicules.
- Gestion du trafic.

#### **2.3.2.3 Systèmes informatiques et télécommunications**

- Étude de la file d'attente mémoire d'un serveur. Simulation et modélisation des systèmes de production
- Configuration des réseaux.
- Étude des comportements des utilisateurs.
- Architecture de base de données.

### 2.3.3 Les objectifs de la simulation

- Comprendre le fonctionnement.
- Générer des solutions.
- Fournir des estimations réalistes.
- Contrôler le système vers un état désiré.

### 2.3.4 Classification des modèles de simulation

La classification distingue deux modèles :

- Le modèle statique.
- Le modèle dynamique.

#### 2.3.4.1 Le modèle dynamique

Ce type comporte lui-même trois types de modèles :

- Les modèles à événements discrets (ou discontinus)
- Les modèles continus
- Les modèles combinés (ou mixtes)

### 2.3.5 Les logiciels de simulation de flux

Il existe plusieurs logiciels de simulation et de modélisation de système de production :

#### 2.3.5.1 ARENA

Un logiciel de simulation à événements discrets, développé par l'entreprise Rockwell Automation. C'est un environnement facile à utiliser qui permet une bonne visibilité et une bonne compréhension de la modélisation.

#### 2.3.5.2 Flexim

Un logiciel de simulation d'événements discrets. FlexSim comporte une bibliothèque d'objets standards contenant des logiques et des blocs d'activités prédéfinis pour l'optimisation des flux. Ce logiciel de simulation de flux intègre des fonctionnalités en langage C++.

### **2.3.5.3 AnyLogic**

Un outil de simulation développé par The AnyLogic Company. Il possède un langage de modélisation graphique et facilite également l'extension du modèle de simulation avec le code Java.

### **2.3.5.4 Simul8**

Un logiciel de simulation produit de SIMUL8 Corporation. C'est un outil de planification, de conception, d'optimisation et de réingénierie des systèmes de production, de fabrication et de logistique.

### **2.3.5.5 Le choix d'Arena**

Pour notre travail, le choix s'est porté sur le logiciel Arena Simulation de l'éditeur Rockwell Automation, nous allons voir par la suite un petit aperçu sur le simulateur Arena, ses avantages, son apport aux Systèmes de Productions (SDPs) ainsi que ses caractéristiques.

## 2.3.6 Le logiciel de simulation Arena

ARENA est un logiciel de simulation et d'automatisation des flux à évènements discrets. Leader sur le marché, ARENA est édité par Rockwell Automation en 2000, il compte plus de 370 000 utilisateurs formés dans le monde.

Doté d'un environnement de simulation graphique intégrée, il contient toutes les ressources pour la modélisation, l'élaboration de projet, la représentation des processeurs, l'analyse statistique et l'analyse des résultats. Sans oublier de citer que « SIMAN » est le langage intégré d'ARENA.

Arena a été élu par une majorité d'expert du secteur comme le plus innovant du software de simulation qui unit les ressources du langage de simulation pour faciliter l'usage dans un environnement graphique intégré.



FIGURE 2.6 – Arena logo

### 2.3.6.1 Les étapes d'une bonne modélisation

#### Étape 1 - Identifier le problème

La clé de la réussite de tout projet de simulation réside dans une définition claire du problème à résoudre et de ce qu'est la réussite.

#### Étape 2 - Modélisez votre processus

La méthodologie de modélisation par organigramme d'Areana est un moyen simple et intuitif de modéliser n'importe quel processus sans avoir recours à un code ou à une programmation personnalisée.

### **Étape 3 - Transformez votre entreprise**

Le logiciel de simulation Arena vous donne la confiance et la tranquillité d'esprit nécessaires pour savoir que les changements que vous mettez en œuvre sont les bons pour votre entreprise.

### **Étape 4 - Répéter**

L'amélioration des processus métier n'est pas une tâche ponctuelle. Il s'agit d'un processus continu que les organisations performantes entreprennent pour s'assurer qu'elles restent en tête de la concurrence.

## **2.4 Conclusion**

en rédigeant ce chapitre, on a passé dans la première partie par la définition du recyclage en général et comment trier les produits recyclables, puis on a spécifié au processus du recyclage papetier.

Ensuite, dans la deuxième partie, on a parlé de la modélisation et simulation des systèmes de production : sa définition, son domaine d'utilisation, ses objectifs et la classification des modèles de simulation, comme on a su faire une petite présentation sur les logiciels pour enfin choisir un pour l'utiliser dans le prochain chapitre qui va traiter le problème de la modélisation du système de recyclage papetier.

# Chapitre 3

## Simulation du processus de recyclage papetier

### 3.1 Introduction

Le potentiel de récupération de papier utilisé au niveau national d'Algérie est de 500.000 tonnes/an alors qu'en 2021, uniquement 100.000 tonnes sont récupérées et expédiées afin d'être réutilisées dans l'industrie de l'emballage, dont 39% de ce chiffre est le résultat de la collecte des déchets en papiers par l'entreprise Général Emballage qui veut atteindre un potentiel de 400.000 tonnes/an au futur.

Dans ce contexte, les managers de l'entreprise Général Emballage ont décidé de s'inscrire dans une stratégie de recyclage des déchets du papier afin de minimiser les importations et viser à atteindre l'autosuffisance.

L'objectif de ce chapitre est de présenter notre cas d'étude qui consiste à déterminer la quantité du papier réalisé à partir des déchets de carton en se basant sur les données de collecte de Général Emballage.

## 3.2 Description de la problématique

Au cours de notre stage au sein de l'entreprise Général Emballage, nos tuteurs de stage ont exprimé le besoin de simuler le processus de recyclage papetier. En effet, Général Emballage compte enrichir prochainement ses activités à travers la mise en place du recyclage papetier à partir des déchets du carton et papier. Pour ceci, nous avons proposé de modéliser le processus de recyclage papetier pour visualiser leur besoin pour pouvoir recycler les 39.000 tonnes de papier usagé qu'ils ont collecté en 2021 et par la suite leur objectif qui est de 400.000 tonnes.

## 3.3 Les fournisseurs des machines de recyclage papetier

Durant nos recherches, nous sommes tombés sur deux sources d'information qui nous ont aidé à décortiquer le processus de recyclage de papier et trouver les machines pour notre étude.

Ces deux sources sont **ENF recycling** qui est une source d'information de recyclage reliant les fournisseurs et les clients et **Europages** qui est utilisé par les fournisseurs européens pour assurer la visibilité internationale de leurs produits et les rendent accessibles aux acheteurs du monde entier.

Parmi les fournisseurs de la ligne de recyclage, on a :

<i><u>Le fournisseur</u></i>	<i><u>Pays</u></i>	<i><u>Lien</u></i>
A.Celli Paper	Italie	<a href="http://www.acelli.it">www.acelli.it</a>
Allimand	France	<a href="http://allimand.com">allimand.com</a>
Andritz AG	Autriche	<a href="https://www.andritz.com">https://www.andritz.com</a>
Parason	Inde	<a href="https://parason.com">https://parason.com</a>
Voith	Allemagne	<a href="https://voith.com">https://voith.com</a>
Valmet	Finlande	<a href="https://www.valmet.com">https://www.valmet.com</a>

### 3.3.1 Le choix du fournisseur

Dans notre projet, nous avons utilisé les machines du fournisseur **Parason** car c'est la maison qui nous offre la majorité des machines du processus et les données suffisantes pour faire notre étude.

Le fournisseur va être changé juste pour la dernière phase du recyclage qui est la fabrication du papier ou nous allons utiliser la table à papier de la maison Valmet.

### 3.3.2 Estimation du prix

La maison Parason a publié sur son site que « En étudiant une étude de cas en Inde, on a observé que la mise en place d'une usine de pâte chimique ou mécanique avancée et à grande échelle a une production annuelle d'environ 1,4 million de tonnes, et coûtera environ 2,5 milliards de dollars. Le coût annuel se situe entre 1 500 et 2 000 dollars par tonne et par an. La mondialisation de l'industrie du papier a généré le besoin de produire des machines rentables avec des rendements élevés. »<sup>1</sup>

## 3.4 La quantité d'eau nécessaire pour le recyclage

D'après le site **Technique de l'ingénieur**, le recyclage d'une seule tonne de papier nécessite 16 mètre cube d'eau, ceci indique que pour atteindre l'objectif voulu par l'entreprise Général Emballage qui est de 400 000 tonnes de papier à recycler, il est obligé de fournir environ 6.400.000 mètre cube d'eau :

$$16 * 400\ 000 = 6\ 400\ 000\ m^3$$

## 3.5 Le calcul du besoin des machines

Afin d'assurer la production des quantités désirées, nous devons calculer le nombre de machines nécessaires pour chacune des étapes du process. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur les équations suivantes :

---

1. <https://parason.com/pulp-machine-cost/>

$$NM = \frac{t * P}{\tau * n} \quad (3.1)$$

P : Taux de production désiré.

t : Temps de traitement.

$\tau$  : Temps total disponible.

NM : Nombre d'équipements.

## 3.6 La simulation du système

Dans ce chapitre, on a pu modéliser et simuler du processus après avoir calculé ses besoins en termes de l'équipement afin d'avoir une idée sur ce système et ensuite aider l'entreprise Général Emballage pour la conception de sa nouvelle usine.

Notre système de production est composé de quatre parties, que nous avons simulé séparément afin d'obtenir les indicateurs de performances pour chacune.

Nous précisons que la quantité sortante dans chacune des étapes est reconduite comme entrée pour l'étape suivante. Les résultats obtenus seront validés en simulons le système dans sa totalité.

### 3.6.1 Le pulpage

D'après la maison de Parason le processus de pulpage est comme suit :

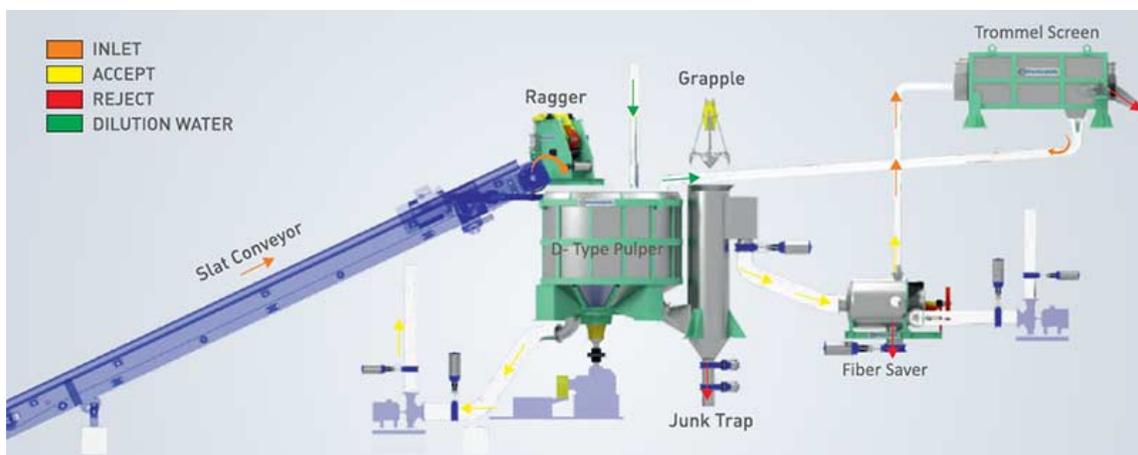


FIGURE 3.1 – Le process du pulpage

### 3.6.1.1 Les caractéristiques des machines

Machine	Description technique
pulper	Capacité : 170 m <sup>3</sup> Vitesse : 1400 t/j Fournisseur : Parason
Fiber saver	Capacité : 6 m <sup>3</sup> Fournisseur : Parason
Trommel screen	Vitesse : 40 t/j Fournisseur : Parason

### 3.6.1.2 Le calcul du pulper

$$NM = \frac{365,29 * 0,017}{8 * 0,99}$$

$$NM = 0,78 = 1$$

### 3.6.1.3 La simulation du pulping

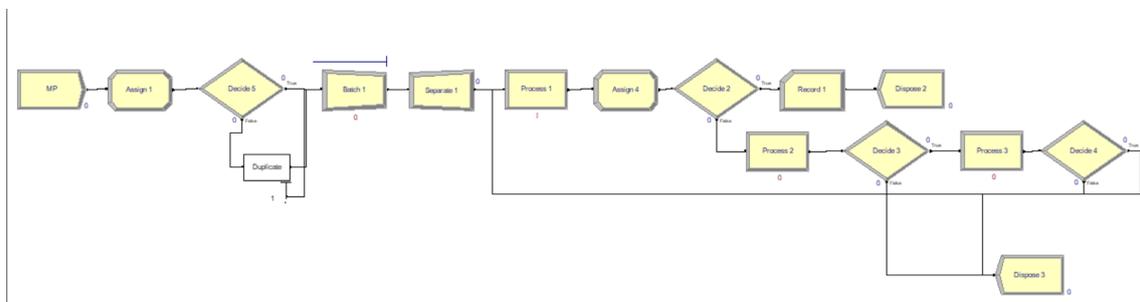


FIGURE 3.2 – La simulation de la mise en pâte

### 3.6.1.4 Les résultats de la simulation

- Le temps de traitement = 1,58 min

VA Time	Average
Entity 1	1.5831

FIGURE 3.3 – temps de traitement

- Le temps total = 1,58 min

Total Time	Average
Entity 1	1.5831

FIGURE 3.4 – Les encours

- Le temps entre deux sorties = 0,06 min

Between	Average
Record 1	0.06603662

FIGURE 3.5 – Le temps entre deux sorties

### 3.6.2 Le nettoyage et tamisage

Dans cette partie, la pulpe passe par deux cleaners et un inflow pressure screen.

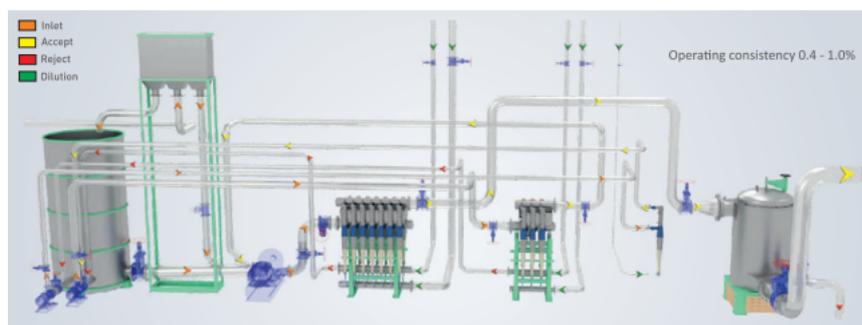


FIGURE 3.6 – Le nettoyage et tamisage

#### 3.6.2.1 Les caractéristiques des machines

Machine	Description technique
Hi-density cleaner	Vitesse : 12000 L/min Fournisseur : Parason
Low-density cleaner	vitesse : 2000 L/min Fournisseur : Parason
Pressure screen	Vitesse : 300 t/j Fournisseur : Parason

#### 3.6.2.2 Le calcul dE pressure screen

$$NM = \frac{365,29 * 0,08}{8 * 0,99}$$

$$NM = 1,84 = 2$$

#### 3.6.2.3 La simulation de nettoyage et tamisage

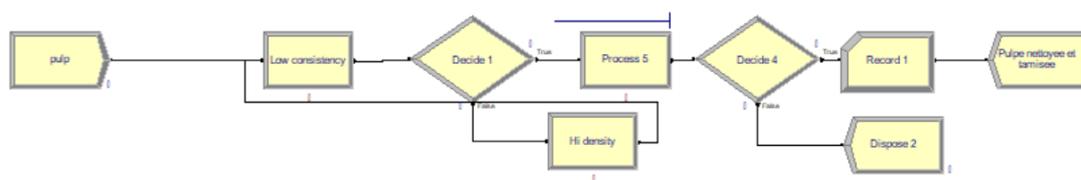


FIGURE 3.7 – La simulation de nettoyage et tamisage

### 3.6.2.4 Les résultats de la simulation

- Le temps de traitement = 2,88 min

VA Time	Average
Entity 1	4.8006

FIGURE 3.8 – temps de traitement

- Le temps total = 193

Total Time	Average
Entity 1	237.06

FIGURE 3.9 – Les encours

- Le temps entre deux sorties = 4,84 min

Between	Average
Record 1	4.8495

FIGURE 3.10 – Le temps entre deux sorties

### 3.6.3 Le désencrage et épauissement

Le processus de désencrage et épauissement est la somme de deux machines :

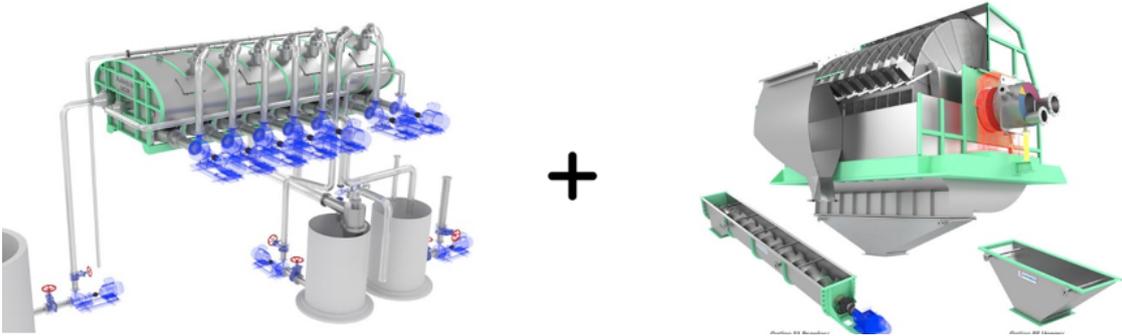


FIGURE 3.11 – Le désencrage et épauissement

#### 3.6.3.1 Les caractéristiques des machines

<u>Machine</u>	<u>Description technique</u>
DEINKING CELL	Vitesse : 620 t/j Fournisseur : Parason
Gravity thickener	vitesse : 300 t/j Fournisseur : Parason

#### 3.6.3.2 Le calcul de pressure screen

$$NM = \frac{365,29 * 0,08}{8 * 0,99}$$

$$NM = 1,84 = 2$$

#### 3.6.3.3 La simulation de désencrage et épauissement

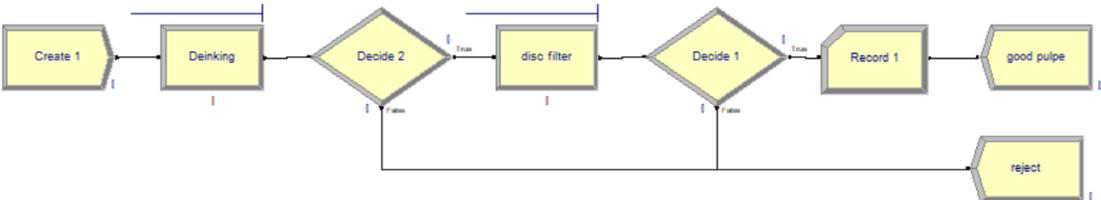


FIGURE 3.12 – Le désencrage et épauissement

### 3.6.3.4 Les résultats de la simulation

- Le temps de traitement = 2,88 min

VA Time	Average
Entity 1	5.9200

FIGURE 3.13 – temps de traitement

- Le total time = 193

Total Time	Average
Entity 1	103.92

FIGURE 3.14 – Le temps total

- Le temps entre deux sorties = 2,88 min

Between	Average
Record 1	6.4882

FIGURE 3.15 – Le temps entre deux sorties

### 3.6.4 La simulation du système complet

le système contient deux phases ; la préparation de la pâte et la fabrication du papier. Cette dernière nécessite deux parties, le Headbox et la table à papier qui est un enchaînement de plusieurs machines : Le processus de recyclage papetier est une longue ligne qui

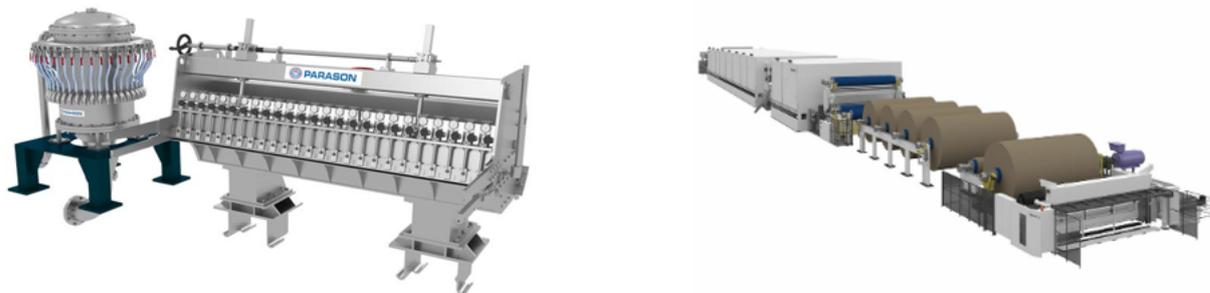


FIGURE 3.16 – Le headbox et la table à papier

contient plusieurs machines et plusieurs traitements : La modélisation suivante représente

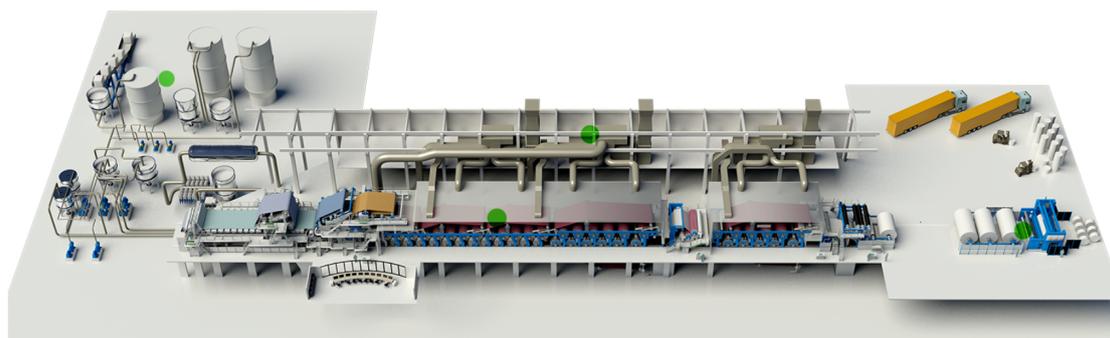


FIGURE 3.17 – La ligne de recyclage papetier

le processus complet pour faire sortir du papier recycler afin de le réutiliser :

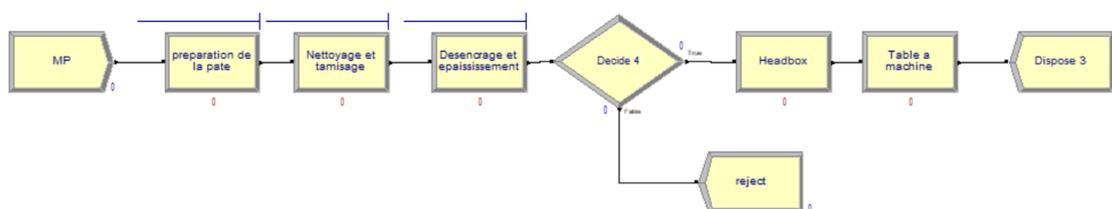


FIGURE 3.18 – Modélisation de système

Les résultats de cette simulation sont :

	<b>Le temps entre deux sorties (min)</b>	<b>Le temps de Traitement (min)</b>
Processus complet	<b>6,4</b>	<b>19,3</b>

FIGURE 3.19 – Les résultats de la simulation

## 3.7 Conclusion

La stratégie actuelle de Général emballage quant à la gestion des déchets consiste à collecter les papiers et cartons usagés en utilisant des sites de collecte localisés dans différentes régions du pays. Ces produits sont broyés et pressés afin qu'ils soient exportés.

De ce fait, l'étude effectuée nous a permis de simuler un système de production permettant d'avoir une idée préalable par rapport à l'installation d'une chaîne de production permettant la production du papier à partir des déchets.

# Conclusion générale

Le carton est composé de fibres de bois biodégradables qui sont 100% recyclables et non toxiques. Il est donc tout à fait possible de les valoriser énergétiquement en les recyclant, ce qui permettra d'économiser des ressources et de l'énergie, et donc de préserver l'environnement.

Cette opération nécessite les étapes suivantes : tri sélectif et collecte, acheminement vers un centre de tri, transformation en pattes de papier, pulpage et désencrage et reconditionnement sous la forme de bobines prête à être réutilisée.

Ce projet nous a permis de simuler ce processus en choisissant des machines spécialisées pour chacune des étapes. Les résultats obtenus en utilisant les données de GÉNÉRAL EMBALLAGE SPA sont prometteurs et permettront à l'entreprise de réduire les coûts des matières premières utilisés dans la fabrication de ses produits.

Cette étude se présente comme une solution clé en main pour l'entreprise qui peut être mise en place après une étude technico-économique détaillée et détermination du bilan financier de l'opération.

Les contraintes environnementales incitent les papetiers à développer des stratégies de gestion d'eau conduisant à une production de papiers de qualité avec un minimum d'eau claire. Cette contrainte peut être prise en considération, ceci constituera une piste intéressante pour les travaux futurs.

# Bibliographie

- [1] <https://www.generalemballage.com>
- [2] Récupération de papier : un potentiel national de 500.000 tonnes par an, Publié  
Le : mardi 10 mars 2020, ALGÉRIE PRESSE SERVICE
- [3] <https://www.parason.com>
- [4] <https://www.valmet.com>
- [5] [https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/  
materiaux-th11/papiers-et-cartons-42832210/  
gestion-de-l-eau-pour-la-fabrication-des-papiers-et-cartons-w9240/](https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/papiers-et-cartons-42832210/gestion-de-l-eau-pour-la-fabrication-des-papiers-et-cartons-w9240/)
- [6] <https://isustainrecycling.com>
- [7] <https://www.paprec.com>
- [8] Jean-Louis, juin 2017, Microsoft Word - Bulletin PAPIRECOM
- [9] <http://www.feuille-erable-lr.fr/le-procede-de-recyclage-du-papier/>
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=2aUMw25SfcY>
- [11] [https://www.cercle-recyclage.asso.fr/54-cercle-national/publi/  
dossiers/materiaux/407-recup03-recuperation-et-recyclage-des-produits-papiers-  
html](https://www.cercle-recyclage.asso.fr/54-cercle-national/publi/dossiers/materiaux/407-recup03-recuperation-et-recyclage-des-produits-papiers.html)
- [12] <https://isustainrecycling.com/understanding-the-paper-recycling-process/>
- [13] <https://www.conserve-energy-future.com/paperrecycling.php>
- [14] A Step by Step Guide for Waste Paper Recycling  
Process, [https://balajichemsolutions.com/  
a-step-by-step-guide-for-waste-paper-recycling-process/](https://balajichemsolutions.com/a-step-by-step-guide-for-waste-paper-recycling-process/)
- [15] <https://portail.polytechnique.edu/dsi/green-it/recyclage-du-papier>
- [16] <http://www.lepapier.fr>
- [17] <http://www.feuille-erable-lr.fr>

- [18] Guest Author, 2012, A 10-Step Guide on How Paper is Recycled, greener ideal
- [19] TAYFUR ALTIOK & BENJAMIN MELAMED, 2001, Simulation Modeling and Analysis With Arena, Cyber Research, Inc & Enterprise Technology Solutions, Inc.
- [20] Jean-Louis Boimond, SIMULATION SYSTÈMES DE PRODUCTION RÉSEAUX DE PETRI SIMAN - ARENA



## Résumé

Les coûts d'importation des matières premières de l'emballage, surtout les bobines de papier, sont immenses, ce qui a convaincu les dirigeants de GÉNÉRAL EMBALLAGE à penser à s'inscrire dans une stratégie de recyclage papetier.

Au cours de notre stage au sein de l'entreprise GÉNÉRAL EMBALLAGE, nous nous sommes intéressés par notre projet de fin d'étude à modéliser et simuler le processus de recyclage des déchets de papier en utilisant le logiciel de simulation Arena afin d'acquérir des connaissances et un aperçu sur ce système et ses performances.

## Abstract

The costs of importing raw materials for packaging, especially paper reels, are immense, which convinced the managers of GENERAL EMBALLAGE to think about a paper recycling strategy.

During our stage at GENERAL EMBALLAGE, we were interested in modeling and simulating the waste paper recycling process using the Software Arena simulation in order to gain knowledge and insight into this system and its performance.

## ملخص

تكاليف استيراد المواد الخام للتغليف، وخاصة لفات الورق، هائلة، الأمر الذي أقنع مديري جنرال إيمبالاج بالتفكير في اعتماد استراتيجية إعادة تدوير الورق.

خلال فترة تدريبنا، اهتمنا بمشروع نهاية الدراسة الخاص بنا في نمذجة ومحاكاة عملية من أجل اكتساب المعرفة Arena إعادة تدوير نفايات الورق باستخدام برنامج محاكاة. والرؤية حول هذا النظام وأدائه