

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



## MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

**Domaine** : Sciences et Technologie

**Filière** : Génie Mécanique

**Parcours** : Master

**Spécialité** : Construction Mécanique

### Thème

Etude et conception d'un disque  
(broyeur) d'une machine de fabrication  
du papier

Préparé par :

DJAFI Aissa.  
BENSAHA Youcef

Soutenu publiquement le : 29 / 09 / 2021, devant le jury composé de :

M. MADANI Ahmed	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. HADDOUCHE K.	Professeur (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. ELGUERRI M.	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. ATHMANI H.	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadreur
M. TRARI B.	Maître Assistant "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Co-Encadreur

Année universitaire : 2020– 2021

## Remerciements :

*Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir accordé la santé, le courage et les moyens pour suivre nos études et la volonté, la patience et la chance pour la réalisation de ce travail.*

*Nos sincères remerciements et notre profonde gratitude s'adresse à notre encadreur M. ATHMANI H., pour avoir accepté de diriger ce travail. Nous tenons à exprimer à monsieur TRARI BENAÏSSA chef au Département de physique et monsieur GUEMMOUR M.B enseignant au Département de génie mécanique, notre gratitude, pour la confiance qu'il nous a accordée, pour nous 'avoir toujours très bien guidé, encouragé et motivé, pour nous avoir aidé à finaliser ce travail., pour sa patience, ses encouragements, ses orientations et ses conseils précieux dans la conception de notre travail.*

*Nos profondes gratitudes vont aussi aux membres de jury qui n'ont fait un grand honneur en acceptant de consacrer du temps à la lecture et l'évaluation de ce travail. Enfin à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail*

# Dédicace

*Je dédie ce travail à mes chers parents pour leur soutien, leur encouragement,  
leur amour, leur tendresse et leur prière durant mon parcours scolaire*

*A mes frères : SABRINE. RITAJ et KHALED*

*A toute ma famille*

*A mes chères Amis qui m'ont toujours encouragé, mon binôme B. YUCEF,*

*M. DJILLALI et T. RABEH*

*A tous ceux que j'aime, je dédie ce mémoire*

**DJAFJ AJSSA**

# Dédicace

*Je dédie ce travail à mes chers parents pour leur soutien, leur encouragement,  
leur amour, leur tendresse et leur prière durant mon parcours scolaire*

*A mes frères : KHALED ET SARA*

*A toute ma famille*

*Ames chères Amis qui m'ont toujours encouragé, mon binôme D.*

*AISSA, SLIMANI MBAREK ET BELARBI MADJID.*

*A tous ceux que j'aime, je dédie ce mémoire*

**B ENSAHA YOUNEF**

## Table de Matière

<b>Remerciements</b> .....	<b>i</b>
<b>Dédicaces</b> .....	<b>ii-iii</b>
<b>Sommaire</b> .....	<b>v</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>vii</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I</b>	<b>Généralités</b>
<b>I.1 Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2 Historique</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3 La fabrication de la pâte à papier</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3.1 Les constituants du bois</b> .....	<b>4</b>
<b>I.4 Les procède de mise en Pâte</b> .....	<b>5</b>
<b>I.4.1 Cas de pâte mécanique</b> .....	<b>5</b>
<b>I.4.1.1 Procédés utilisant des défibreurs à meule</b> .....	<b>6</b>
<b>I.4.1.2 Procédés utilisant des raffineurs</b> .....	<b>7</b>
<b>I.4.1.3 Les pates thermomécanique</b> .....	<b>7</b>
<b>I.4.1.4 Les pates chimico-thermomécanique</b> .....	<b>8</b>
<b>I.4.1.5 Blanchiment des pâtes mécaniques</b> .....	<b>9</b>
<b>I.4.2 Cas de pate chimique</b> .....	<b>10</b>
<b>I.4.2.1 Procédé au sulfate ou procédé kraft</b> .....	<b>10</b>
<b>I.4.2.2 Procédés de fabrication acide</b> .....	<b>11</b>
<b>I.4.2.3 Blanchiment des pates chimiques</b> .....	<b>11</b>
<b>I.4.3 Cas de pate recyclé</b> .....	<b>11</b>
<b>I.4.3.1 Traitement des fibres de récupération</b> .....	<b>11</b>
<b>I.4.3.2 Désencrage et blanchiment</b> .....	<b>12</b>
<b>I.5. Types de machines</b> .....	<b>15</b>
<b>Chapitre II</b>	<b>Raffinage</b>
<b>II.1 Introduction</b> .....	<b>18</b>
<b>II.2 Raffinage &amp; raffineurs</b> .....	<b>18</b>
<b>II.3 Le principe de fonctionnement d'un raffineur</b> .....	<b>18</b>

<b>II.4 Types de raffineur</b>	<b>19</b>
<b>II.4.1 Raffineur simple</b>	<b>19</b>
<b>II.4.2 Twin raffineur</b>	<b>20</b>
<b>II.5 Conception des raffineurs</b>	<b>20</b>
<b>II.5.1 Raffineurs coniques</b>	<b>21</b>
<b>II.5.2 Raffineur à disque</b>	<b>21</b>
<b>II.6 Théorie du raffinage</b>	<b>25</b>
<b>II.7 Les notions des bases sur MDF</b>	<b>25</b>
<b>II.7.1 Régimes d'écoulement</b>	<b>25</b>
<b>II.7.1.1 Expérience de Reynolds</b>	<b>26</b>
<b>II.7.1.2 Classification des Fluides</b>	<b>27</b>
<b>II.7.1.2.a) Fluide Newtonien</b>	<b>27</b>
<b>II.7.1.2.b) Fluide non Newtonien</b>	<b>28</b>
<b>II.8 Fluides utilisés dans le processus fabrication de papier</b>	<b>27</b>
<b>II.8.1 Le rôle d'eau</b>	<b>27</b>
<b>II.8.2 Circuits d'eau et récupération des fibres.</b>	<b>28</b>
<b>II.9 Consommation d'eau</b>	<b>31</b>
<b>Chapitre III</b>	<b>Simulation et résultats</b>
<b>III.1 Introduction</b>	<b>34</b>
<b>III.2. Description du problème</b>	<b>34</b>
<b>III.2.1 Hypothèses</b>	<b>36</b>
<b>III.2.2 Caractéristiques techniques (machine. disque. segment)</b>	<b>37</b>
<b>III.3 Simulation numérique</b>	<b>37</b>
<b>III.3.1 Création de la géométrie (CAO)</b>	<b>38</b>
<b>III.3.2 SolidWorks simulation</b>	<b>40</b>
<b>III.3.3 Résultats et interprétation</b>	<b>45</b>
<b>III.4 Conclusion</b>	<b>54</b>

## Liste des figures

		<b>Pages</b>
<b>Figure I.1</b>	Représentation schématique d'une fibre de bois	4
<b>Figure I.2</b>	Différents types de défibreur à meule	6
<b>Figure I.3</b>	Représentation de l'action d'un grain de la meule Sur une fibre lors de la production de pâte mécanique de meule	6
<b>Figure I.4</b>	Modèles de segments de disques de raffineurs utilisés pour la fabrication de pâtes mécaniques	7
<b>Figure I.5</b>	Schéma de principe d'une unité de production de pâte TMP	8
<b>Figure I.6</b>	Schéma de principe d'une unité de production de pâte	8
<b>Figure I.7</b>	Image en microscopie optique d'une pâte Kraft de pin maritime	10
<b>Figure I.8</b>	Schéma de principe d'une unité de production de pâte TMP	12
<b>Figure I.9</b>	Les déchets de papier de pâte effet séparateur de fibre unique de la machine	13
<b>Figure I.10</b>	Machine pulper recyclé le stock de papier	14
<b>Figure I.11</b>	Double disque raffineur pour battre en continu de pâte à papier vierge	15
<b>Figure I.12</b>	Description d'un raffineur à double disque	16
<b>Figure II.1</b>	Schéma d'un raffineur simple	19
<b>Figure II.2</b>	Schéma d'un Twin raffiner	20
<b>Figure II.3</b>	Diverses configurations de raffineur	21
<b>Figure II.4</b>	Exemples de disques de raffinage	22
<b>Figure II.5</b>	Mécanisme de raffinage	23
<b>Figure II.6</b>	Coupe transversale du papier	24
<b>Figure II.7</b>	Branches de la mécanique des fluides	24
<b>Figure II.8</b>	Régimes d'écoulement	25
<b>Figure II.9</b>	Courbes comportement des différents fluides	27
<b>Figure II.10</b>	Schéma simplifié des circuits d'eau et de la pâte dans une papeterie	29
<b>Figure II.11</b>	Points de la demande d'eau fraîche dans une papeterie	31
<b>Figure II.12</b>	Logo SOLIDWORKS	31
<b>Figure III.1</b>	Principe d'une machine pour le procédé RMP	34

<b>FigureIII.2</b>	Processus de broyage des fibres	35
<b>FigureIII.3</b>	Création du segment	37
<b>FigureIII.4</b>	Création du disque porteur	38
<b>FigureIII.5</b>	Créations de l'assemblage : a) Segment (b) Disque porteur (c) Disque de raffinage	39
<b>FigureIII.6</b>	Mise en situation	40
<b>FigureIII.7</b>	Définition du type d'étude	41
<b>FigureIII.8</b>	Déplacement imposée.	41
<b>FigureIII.9</b>	Effort de cisaillement	42
<b>FigureIII.10</b>	Maillage	43
<b>FigureIII.11</b>	Distribution des contraintes entre segment	44
<b>FigureIII.12</b>	Distribution du déplacement statique pour le segment	45
<b>FigureIII.13</b>	Déformation statique de segment	46
<b>FigureIII.14</b>	Distribution des contraintes entre segment	47
<b>FigureIII.15</b>	Distribution du déplacement statique pour le segment	48
<b>FigureIII.16</b>	Déformation statique de segment	48
<b>FigureIII.17</b>	Distribution des contraintes entre segment	49
<b>FigureIII.18</b>	Distribution du déplacement statique pour le segment	50
<b>FigureIII.19</b>	Déformation statique de segment	50

# Introduction générale

Le papier est un matériau très commun, malgré l'émergence de l'informatique et d'Internet son utilisation reste primordial dans le quotidien de chaque individu quel que soit son domaine d'activité ce que lui a permis de résister et de continuer à se développer.

Le papier est fabriqué à partir de fibres cellulosiques. Il existe deux grandes sources de matières premières pour ces fibres : le bois et les papiers récupérés provenant de la collecte des papiers ayant subi un premier cycle de vie. L'industrie papetière est constituée d'un enchaînement d'étapes visant à augmenter la production, minimiser les coûts, améliorer la qualité et la spécificité de chaque papier. C'est dans cette problématique que la recherche en papeterie intervient. La compréhension des phénomènes complexes mis en jeu lors des opérations du procédé papetier en particulier le raffinage, mais aussi l'influence des matières premières (fibres, charges, etc.) sur les caractéristiques finales du matériau sont deux des objectifs importants de ce secteur de la recherche.

Le procédé est réalisé à l'aide d'un raffineur, équipé du système de disques stator et rotor rainurés, qui, en passant très près l'un de l'autre, traitent mécaniquement les fibres en améliorant leurs capacités de liaison. Les raffineurs fonctionnant en continu peuvent être divisés en deux groupes, à savoir de type conique et raffineurs à disques. Dans notre étude on opté pour la deuxième solution.

Le présent travail est organisé en trois chapitres :

Dans le premier, nous commençons par donner des généralités concernant fabrication de pâte à papier et la chronologie de son développement.

Dans le second chapitre, nous avons étudié le processus de raffinage de la pâte à papier. Dans le dernier chapitre, nous présentons les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations et une proposition de conception du disque de raffinage.

Enfin, une conclusion générale sur l'étude réalisé avec les principaux résultats et les perspectives possibles.

# **Chapitre I**

## ***Généralités***

**I.1 Introduction :**

Dans ce premier chapitre une étude bibliographique concernant la fabrication de pâte à papier et l'histoire de sa création, nous commençons décrire les constituants de bois, après sa nous avons expliqué les différents procédés de mise en pâte qui se divisent en plusieurs types, pâte mécanique, pâte chimique et pâte recyclée. Et enfin nous avons décrit des machines utilisées dans le domaine d'industrie de papier.

**I.2 Historique :**

Le papier a certainement été inventé en Chine au premier siècle de notre ère. Par le biais des mongols puis des arabes, la technique de sa fabrication se répandit dans le Moyen-Orient puis dans l'Occident. Le papier était essentiellement, et ce pendant plus de 500 ans, produit à partir de chiffons de lin et de chanvre. Ce n'est qu'à partir du 17<sup>ème</sup> siècle que le bois fut considéré comme source potentielle de fibres papetières. Avec l'essor de l'industrialisation au 19<sup>ème</sup> siècle et l'augmentation de la production et de la consommation, le papier fut essentiellement fabriqué à partir de bois selon les différents procédés que nous allons aborder.

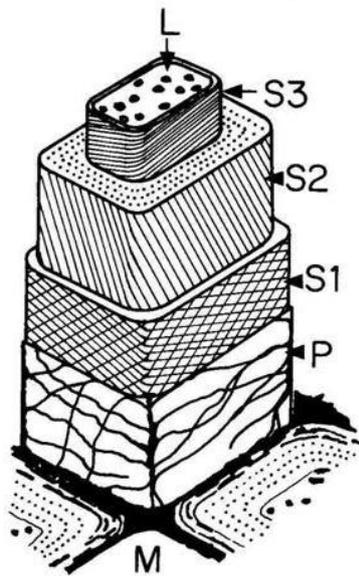
La technologie de préparation des pâtes à papier, des papiers et des cartons a beaucoup évolué depuis son invention jusqu'à nos jours. De la forme manuelle, couramment utilisée par le papetier, jusqu'à la machine à papier moderne produisant une feuille à plus de 1000 m/min sur une largeur de plus de 8 m, l'évolution de la technologie a été considérable, grâce d'une part à l'invention de la machine à papier en continu par Louis-Nicolas Robert au 19<sup>ème</sup> siècle, d'autre part à l'automatisation et à l'informatique. L'industrie papetière est devenue une industrie moderne associant les dernières technologies (électronique, régulation automatique, informatique, mécanique...) aussi bien en matière de production que d'environnement. [1]

**I.3 La fabrication de la pâte à papier :**

La fabrication d'un papier nécessite l'utilisation de pâte à papier produite principalement à partir de bois ou de papiers récupérés. Nous allons décrire les différents constituants du bois, ainsi que les procédés de mise en pâte.

### I.3.1 Les constituants du bois :

Les papiers, qu'ils soient fabriqués à partir de pâtes issues de bois ou de papiers récupérés, utilisent la même brique unitaire : la fibre cellulosique. Celle-ci est une cellule de longueur variable (2 à 4 millimètres), comportant plusieurs parois et liée à d'autres fibres par la lamelle mitoyenne (figure I.1). Cette lamelle est essentiellement constituée de lignine (environ 70%), d'hémicelluloses, de substances pectiques et d'une très faible quantité de cellulose. La lignine est à l'origine de la rigidité des fibres. Ce polymère thermoplastique se ramollit lors d'une élévation de la température.



**Figure I.1** : Représentation schématique d'une fibre de bois [2]

L'essentielle de la lamelle mitoyenne (M, middle lamelle) est contenue dans la paroi secondaire (S), elle-même constituée de trois sous-couches S1, S2 et S3 riches en cellulose. La lamelle mitoyenne est séparée de la paroi secondaire par une paroi primaire (P). Le lumen (L) est une zone remplie d'air constituant l'intérieur des vaisseaux (feuillus) ou des trachéides (résineux), dans lesquels s'effectuent les activités vasculaires durant la période vivante du bois.

Les parois primaires et secondaires sont constituées de trois polymères principaux : lignine, cellulose et hémicelluloses. A eux seuls, ces polymères représentent 90 à 95% des constituants chimiques du bois (**tableau I.1**).

**Tableau I.1** : Composition moyenne du bois (en %) (Alén) [3]

	Pin (résineux)	Bouleau (feuillu)
Cellulose	40	40
Hémicelluloses	25-30	30-35
Lignine	25-30	20-25
Autre (extraits)	<5	<5

Les 5 à 10% restants sont constitués de substances extractibles telles que cires, graisses, terpènes, composés phénoliques (phénols simples, lignines, flavonoïdes, tannins...) et de composés minéraux. La composition des extractibles varie suivant les essences (résineux ou feuillus), mais aussi en fonction de leur localisation dans la plante où ils sont considérés.

#### **I.4 Les procédés de mise en pâte :**

Les pâtes à papier peuvent être obtenues à partir de plusieurs sources de matières premières : le bois, les plantes annuelles, les papiers récupérés issus de collectes .... La fabrication d'une pâte à papier consiste à désolidariser les fibres cellulosiques les unes des autres sans trop toutefois les dégrader. Cette séparation peut être réalisée selon différents procédés : soit par voie mécanique, soit par voie chimique. Dans le cas de l'utilisation de papiers récupérés, la pâte, dite désancrée, est obtenue par des étapes de repulpage des papiers et de désencrage (élimination de l'encre) de ces derniers. [3]

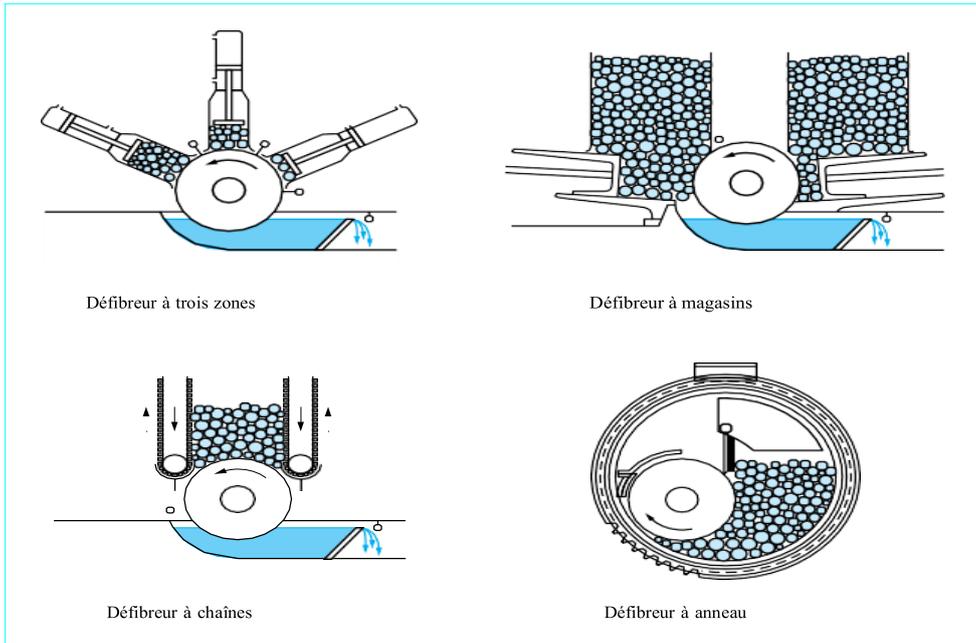
##### **I.4.1 Cas de pâte mécanique :**

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

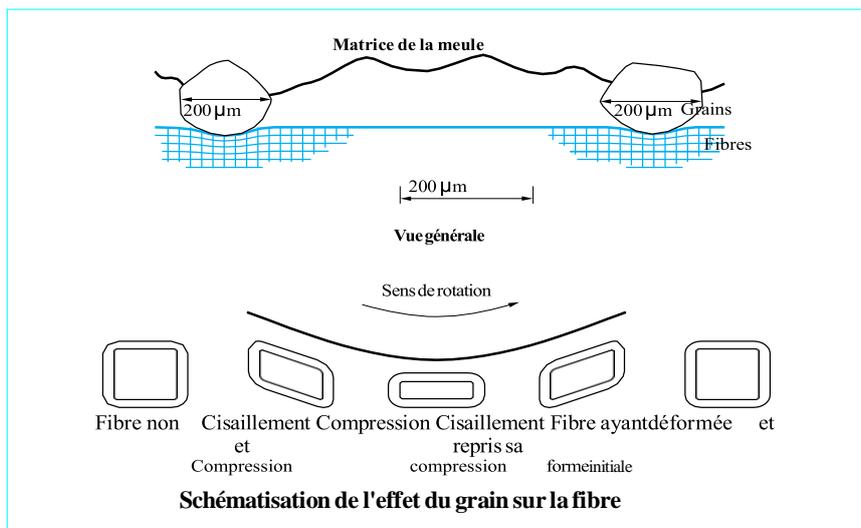
- Les procédés mécaniques utilisant une meule abrasive en rotation pour transformer des rondins de bois en fibres soit à pression atmosphérique (SGW Stone Ground Wood) soit sous pression (PGW Pressure Ground Wood) ;
- Les procédés mécaniques sur des copeaux utilisant des raffineurs à disques sans traitement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

**I.4.1.1 Procédés utilisant des défibreurs à meule :**

Les rondins de bois, préalablement écorcés, sont soumis à l'action d'une meule abrasive en rotation (figure I.2) . La meule comporte en surface des grains abrasifs qui viennent en contact avec la surface du bois (figure I.3) . Les fibres sont en contact, à chaque instant, avec en moyenne 4 à 5 grains sur leur longueur. Chaque fibre est soumise à des forces de compression et de contrainte quand le grain de la meule passe sur elle.



**Figure I.2 :** Différents types de défibreur à meule [4]

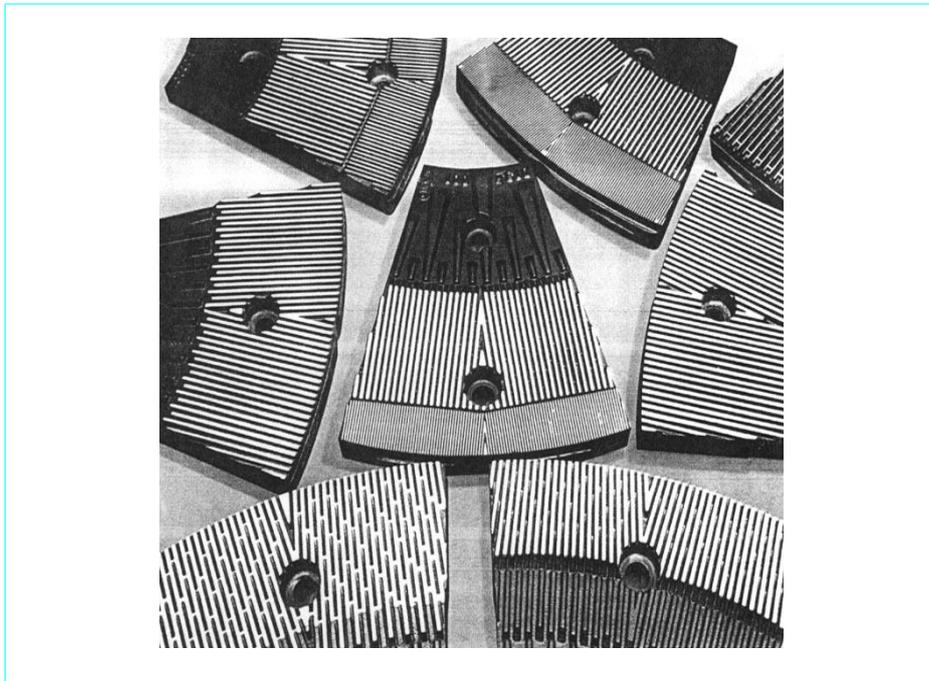


**Figure I.3 :** Représentation de l'action d'un grain de la meule Sur une fibre lors de la production de pâte mécanique de meule [4]

En général, les pâtes mécaniques de meule sont utilisées pour leurs propriétés optiques et principalement pour augmenter l'opacité des papiers grâce à leur coefficient de diffusion élevé mais aussi au faible taux de liaisons inter fibres.

#### I.4.1.2 Procédés utilisant des raffineurs :

Le procédé est basé sur l'emploi de disques possédant des lames et des rainures particulières en rotation pour séparer les fibres de la structure initiale (figure I.4). Les particules de bois lors de leur passage sur les lames des disques subissent des cycles répétés de compression et de détente. Ces cycles réalisés en présence d'eau provoquent une absorption d'énergie qui entraîne la rupture mécanique des liaisons qui maintiennent les fibres ensemble. [5]



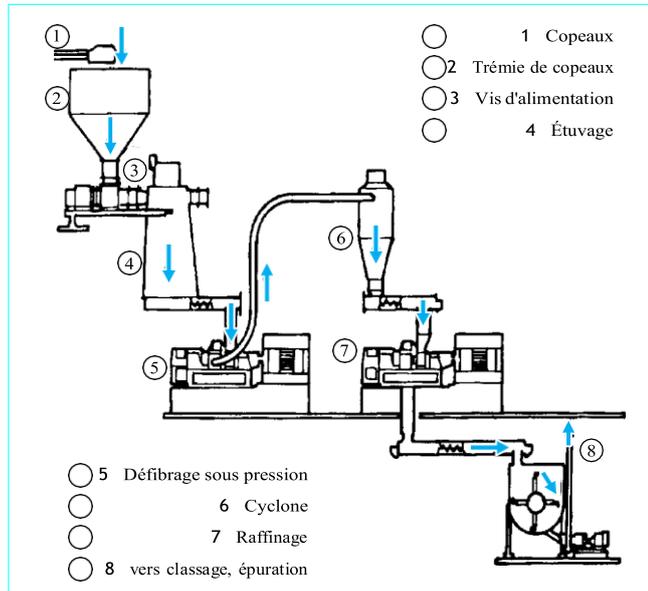
**Figure I.4 :** Modèles de segments de disques de raffineurs utilisés pour la fabrication de pâtes mécaniques. [5]

#### I.4.1.3 Les pâtes thermomécanique :

Afin d'obtenir des caractéristiques mécaniques supérieures aux fibres provenant de pâtes mécaniques de raffineur, les copeaux sont soumis avant le défibrage à un traitement thermique par de la vapeur d'eau. Cette première étape de défibrage se déroule sous pression et à une température comprise entre 110 et 130°C, dans cette gamme de température, la séparation des fibres est plus aisée, limitant ainsi leur endommagement. Ensuite, une deuxième étape de raffinage est réalisée à pression atmosphérique. Il en résulte une pâte dite thermomécanique qui possède des caractéristiques mécaniques supérieures à la pâte mécanique

de raffineur, une plus faible teneur en bûchettes et une fraction de fibres longues plus importante.

Figure I.5 : Schéma de principe d'une unité de production de pâte TMP. [6]



**I.4.1.4 Les pâtes chimico-thermomécanique :**

Le deuxième type de procédé pour obtenir de la pâte associe moyen mécanique et moyen chimique, permettant d'obtenir des pâtes dites chimico-thermomécaniques. Dans ce cas, un prétraitement chimique est effectué à la place du traitement thermique à la vapeur d'eau. Les pâtes chimico-thermomécaniques possèdent des caractéristiques mécaniques supérieures et une meilleure aptitude au blanchiment que les pâtes thermomécaniques.

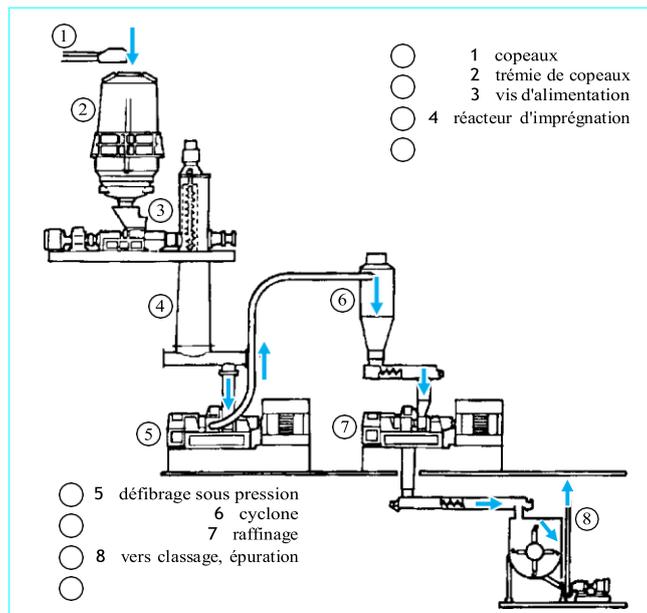


Figure I.6 : Schéma de principe d'une unité de production de pâte [6] .

D'une manière générale, les procédés conduisant à la production de pâte mécaniques présentent plusieurs avantages. Ces procédés ont un faible coût d'investissement et des

rendements supérieurs à 90%. Du fait du mode de fabrication, la composition d'une pâte mécanique est proche de celle du bois, 40 à 50% de cellulose, 25 à 30% de lignine, 25 à 30% d'hémicelluloses et des traces de tanins et résines. La pâte est en réalité constituée d'un mélange de bûchettes, de fibres individualisées, de lambeaux de parois et de fines. Ces pâtes servent à la fabrication de papier journal, de papier magazine, de cartons, de papiers à usages domestiques et sanitaires...Le tableau I.2 rassemble, à titre comparatif, les caractéristiques des différentes pâtes en fonction de leur mode d'obtention.

**Tableau I.2 :** Caractéristiques des différents types de pâtes mécaniques obtenues à partir d'un bois de sapin [7]

	Pâte mécanique de meule	Pâte mécanique de raffineur	Pâte thermo-mécanique	Pâte chimico-thermo-mécanique
Masse volumique (cm <sup>3</sup> /g)	2,60	2,80	2,87	2,88
Longueur de rupture (m)	3000	3600	3800	4800
Teneur en bûchettes (%)	1,6	1,2	0,4	0,2
Indice de déchirement (mN.m <sup>2</sup> /g)	3,5	6,5	8,0	9,0

#### I.4.1.5 Blanchiment des pâtes mécaniques :

Les pâtes mécaniques sont soit blanchies, soit éclaircies, selon leur utilisation dans le produit final. Étant donné que tous les composants du bois sont présents et que la cellulose est de couleur blanche, la couleur brune de ces pâtes provient essentiellement de la lignine. De plus, les conditions de préparation sont propices à la coloration : températures élevées, oxydation atmosphérique, action mécanique... Le but du blanchiment n'est pas d'extraire la lignine mais de modifier sa structure chimique en éliminant les groupements colorés ou chromophores présents dans la paroi des fibres. [6]

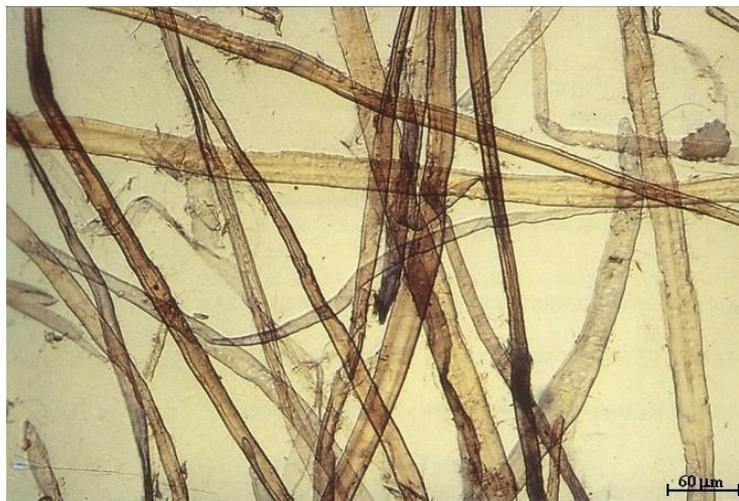
### I.4.2 Cas de pâte chimique :

Les pâtes chimiques sont obtenues par cuisson des copeaux de bois en présence de produits chimiques. Le but du traitement chimique est de dépolymériser et solubiliser la lignine, tout en conservant l'intégrité des fibres cellulosiques. Durant ces traitements, les hémicelluloses très sensibles aux agents chimiques sont généralement fortement dégradées. La composition chimique de la pâte est d'environ 95% de cellulose et 5% de lignine. Le traitement chimique peut se faire sous conditions acides (procédé au bisulfite), ou alcalines (procédé kraft, à la soude ou à la soude-anthraquinone).

#### I.4.2.1 Procédé au sulfate ou procédé Kraft :

Le procédé au sulfate de sodium ou procédé Kraft est le plus utilisé dans le monde pour de nombreuses matières lignocellulosiques (bois, plantes annuelles).

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 sulfure de sodium est préparé directement à partir du sulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  par combustion. Lors de la cuisson, le sulfure de sodium est hydrolysé en soude, en  $\text{NaHS}$  et en  $\text{H}_2\text{S}$ . Les différents composés soufrés présents réagissent avec la lignine pour donner des thiolignines plus facilement solubles. La soude joue aussi un rôle de délignification qui s'associe à celui du sulfure et de ses dérivés.



**Figure I.7 :** Image en microscopie optique d'une pâte Kraft de pin maritime. [8]

#### **I.4.2.2 Procédés de fabrication acide :**

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.

L'anhydride sulfureux est préparé par combustion à partir du soufre dans un excès d'air. Le bisulfite est directement obtenu par réaction de l'anhydride sulfureux.

#### **I.4.2.3 Blanchiment des pâtes chimiques :**

Les pâtes chimiques écrues peuvent être utilisées dans certaines catégories de papiers ou de carton tels que les sacs d'emballage kraft mais en grande partie, il est nécessaire de les blanchir pour une introduction dans les papiers de qualité supérieure comme les papiers impression ou écriture. Les pâtes écrues contiennent encore une quantité de lignine. 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.

D'une manière générale, une séquence de blanchiment consiste en l'alternance de stades d'oxydation de la lignine et de stades d'extraction alcalins. Chaque stade de blanchiment est suivi d'un stade de lavage pour retirer les matières dissoutes par l'action des agents de blanchiment sur la pâte et éviter que les matières ne consomment des réactifs chimiques dans le stade ultérieur.

#### **I.4.3 Cas de pâte recyclé :**

##### **I.4.3.1 Traitement des fibres de récupération :**

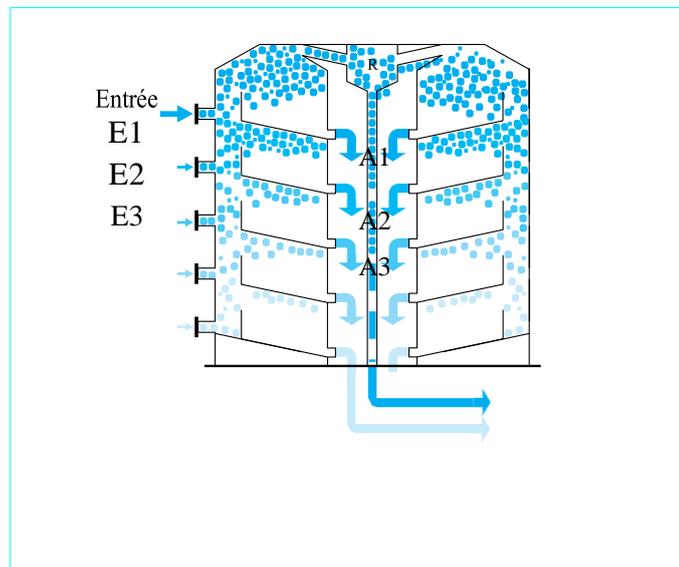
Le traitement des papiers recyclés a pour fonction principale la mise en suspension des fibres et l'élimination des contaminants présents (encres, particules...). Le principe est basé sur la séparation des contaminants de la suspension par des opérations de décontamination et d'épuration poussées afin de ne recueillir que les fibres cellulosiques et les charges dans certains cas. La désintégration dans l'eau des papiers recyclés s'effectue dans un pulpeur qui est une cuve cylindrique dans laquelle un rotor spécialement conçu crée de fortes turbulences, de manière à bien désagréger les papiers tout en évitant la fragmentation des contaminants.

### I.4.3.2 Désencrage et blanchiment :

La trituration et l'épuration des papiers imprimés ne permet pas d'obtenir une pâte de fibres cellulosiques blanches. Du fait de la présence d'encre, la pâte ainsi préparée est d'apparence grise et son emploi dans la fabrication de certaines qualités de papier pour impression ou de papiers sanitaires et domestiques blancs ne sera possible qu'en éliminant l'encre résiduelle décrochée ou encore accrochée aux fibres.

Pour cette opération, il est nécessaire d'optimiser le décrochage des particules d'encre en agissant sur différents paramètres : la quantité et la nature des produits chimiques ajoutés dans le pulpeur (silicate, soude, savon, peroxyde d'hydrogène...), le pH, la température, le temps de contact, ...

La principale technique utilisée est le procédé par flottation qui est basé sur les différences physiques et physico-chimiques superficielles des fibres et des particules d'encre pour obtenir leur séparation



**Figure I.8 :** Schéma de principe d'une cellule de flottation (cellule MAC de Lamort) [9]

**I.5. Types de machines :**

**Figure I.9 :** Les déchets de papier de pâte effet séparateur de fibre unique de la machine.

[10]

**a) Description du produit**

La fibre le séparateur est principalement utilisé pour séparer les impuretés légères et lourdes dans la pulpe, et à écraser la pâte pour une deuxième fois. La machine a une structure compacte et de haute efficacité. Il combine de concassage, de l'enlèvement des impuretés et de dépistage, ce qui simplifie considérablement les déchets de papier de la transformation, la consommation énergétique réduite, est un must de l'équipement pour la production de haute et moyenne du papier de qualité. Il est principalement composé de deux parties : Une partie est l'écrasement, et l'autre est la partie de la grille de pression, qui a les avantages de la structure compacte, bon effet de supprimer les impuretés et de multiples fonctions d'une machine.

**b) Fonctionnalité**

1. Shell conique est en faveur de la séparation et le retrait des impuretés et légers et lourds défibrerions en même temps.

2. Séparer efficacement les impuretés légères et lourdes, défibrent suffisamment, efficace et économe en énergie.



**Figure I.10** : Machine pulper recyclé le stock de papier [10]

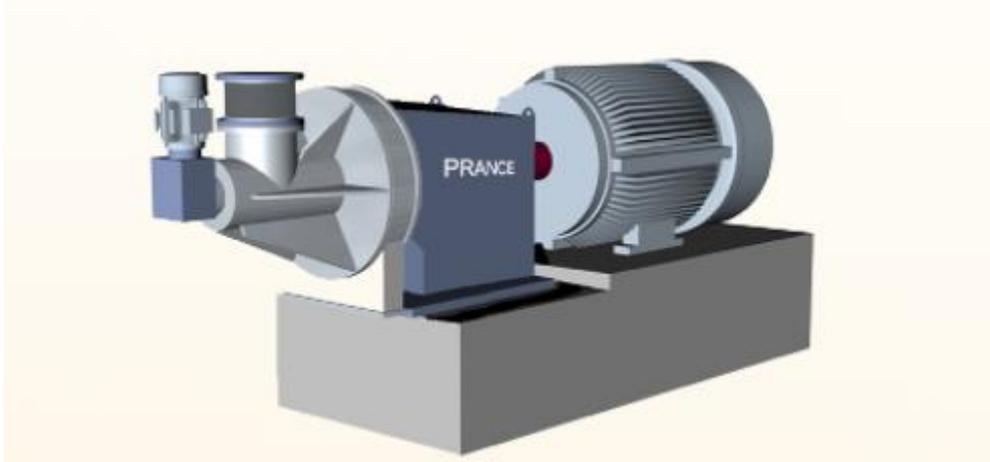
**a) Description du produit**

L'Hydra pulper de type D est principalement utilisé pour le déchetage toutes sortes de pâtes, papier endommagé du conseil et de toutes sortes de déchets de papier. Ses principales caractéristiques sont : Le centre du rotor vols hors position, de sorte que le papier et le rotor contact plus rapide, une fréquence plus élevée. Hydra pulper conventionnel produit un tourbillon sans entrave dans lequel le papier se déplace de l'entrée point à la centrale du rotor dans une trajectoire en spirale. Le type D à ce mode de débit Hydra pulper changements pour rendre le papier contact avec le rotor plus rapidement, ce qui peut raccourcir le temps du papier à la déchiqueteuse et améliorer la capacité de production sans augmenter la puissance et de volume.

**b) Fonctionnalité**

1. Position excentrée du rotor du pulper, de sorte que les déchets de papier puissent toucher le rotor plus rapidement et à une fréquence plus élevée.

2. Le rotor du pulpeur et le plateau de pulpe sont plus hauts que le plan inférieur de la rainure du pulpeur, ce qui peut réduire le contact du rotor du pulpeur et des impuretés, de sorte que prolonger la durée de vie, empêchant l'enroulement du câble tordu sur le rotor.



**Figure I.11** : Double disque raffineur pour battre en continu de pâte à papier vierge [10]

#### a) Description du produit

Double disque raffineur est un battement d'équipement, doté de la conformation compact, moins de surface de plancher, une plus grande efficacité, abaisser la consommation énergétique, bien l'adaptabilité, sympa L'exploitation, l'ajustement flexible et facile d'entretien. C'est un système relativement idéal à la pâte en continu à présent. Tel que requis par les usines de pâte, papier peut choisir un ensemble unique ou plusieurs ensembles pour fonctionnement parallèle ou série de fonctionnement.

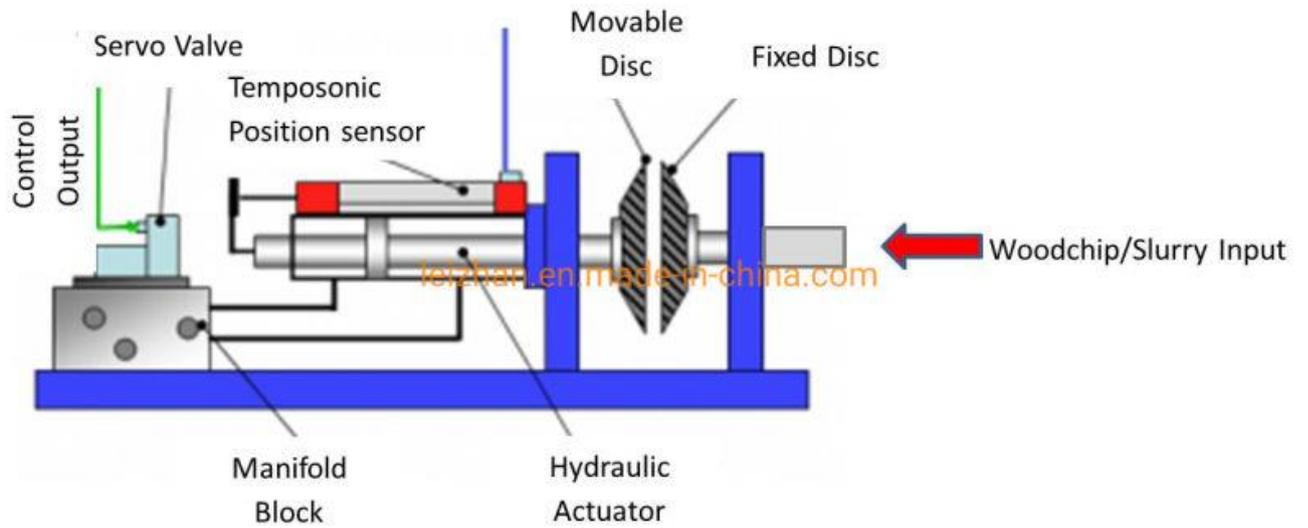
#### b) Avantage

\*Selon l'exigence de raffinage, la clairance est réglable par le biais de dispositif électromécanique.

\*Outil spécial pour le changement facile et rapide de raffineur disque.

\*Haute résistance pour assurer la stabilité de la structure soudée et un fonctionnement fiable.

\*Les coups d'effet est stable et uniforme.



**Figure I.12** : Description d'un raffineur à double disque. [11]

## **Chapitre II**

# **Raffinage**

**II.1 Introduction :**

Le raffinage, dans le domaine de la papeterie, est un type de traitement mécanique de la pâte à papier en vue d'obtenir l'hydratation, la fibrillation ou la coupe des fibres. Selon le type de raffineur utilisé.

**II.2 Raffinage & raffineurs :**

Le raffinage ou le battage joue un rôle essentiel dans le processus de fabrication du papier. C'est un processus dans lequel les copeaux de bois sont traités mécaniquement pour produire des fibres et la même structure de fibres est modifiée pour améliorer ses propriétés mécaniques. Les propriétés de la pâte telles que l'absorbance, la porosité et la capacité de liaison des fibres sont également améliorées. Malheureusement, avec les techniques de raffinage actuelles, à côté des changements structurels souhaités, quelques changements non recherchés dans la structure de la fibre se produisent également, tels que des dommages à la fibre de pâte. Ainsi, le raffinage mécanique est un compromis entre les changements souhaitables et indésirables des propriétés des fibres. Dans un processus de réduction en pâte mécanique idéal, les phénomènes suivants sont attendus : les fibres doivent être séparées de la matrice du bois, la longueur des fibres doit être conservée, les fibres doivent être délaminées, des fines abondantes doivent être générées en décollant les couches externes de la lamelle moyenne, primaire et secondaire couches de paroi fibreuse, et enfin la surface de la paroi secondaire restante doit être fibrillé [11] [12].

**II.3 Le principe de fonctionnement d'un raffineur :**

L'opération de raffinage permet de diversifier les propriétés mécaniques, optiques et d'« imprimabilité » du papier, et ce, pour répondre aux exigences croissantes des utilisateurs finaux. Le raffinage est une opération primordiale.

Une fois mise en pâte, la matière première se présente sous forme d'une suspension de fibres cellulosiques dispersées dans l'eau (concentration de 20 à 60 kg·m<sup>-3</sup>). Celle-ci est conduite dans l'entrefer d'une machine tournante. L'entrefer est l'espace, de quelques centaines de micromètres, existant entre les surfaces de lames en vis-à-vis, disposées sur des disques (ou des cônes) en mouvement relatif. Pendant quelques millisecondes, les fibres y subissent à la fois une compression et un cisaillement.

Le raffinage est obtenu au prix de dépenses énergétiques considérables (entre 0,4 et 40 MJ·kg<sup>-1</sup> de matière sèche). Il existe deux types de raffineurs : le raffineur conique et le raffineur à disques.

Cette première opération apporte une amélioration de l'épair, une stabilité dimensionnelle, de la rigidité, de la résistance à la traction ou à l'éclatement.

## II.4 Types de raffineur :

### II.4.1 Raffineur simple :

La ressource n'est plus sous forme de rondins mais de copeaux de bois : les plaquettes.

Ces raffineurs sont constitués d'une chambre de raffinage au centre de laquelle deux disques parallèles prennent place comme présenté en figure II.1.

Le premier disque le stator, est fixe, le second est mobile, entraîné par un moteur, c'est le rotor. Les plaquettes vont être désintégrées entre les disques à une vitesse de rotation entre 1 500 et 1 800 tr/min. La pâte produite est expulsée vers l'extérieur par force centrifuge. Cette transformation des plaquettes de bois en pâte est l'étape de défibrage. Afin de développer les aptitudes papetières des fibres, un passage supplémentaire dans un autre raffineur est réalisé. C'est l'étape de raffinage. Cette étape de raffinage peut se répéter plusieurs fois afin de développer encore d'avantage les fibres. Toutefois, chaque passage entraîne une consommation d'énergie supplémentaire. Une dégradation de la pâte peut également intervenir passé un certain seuil de développement.

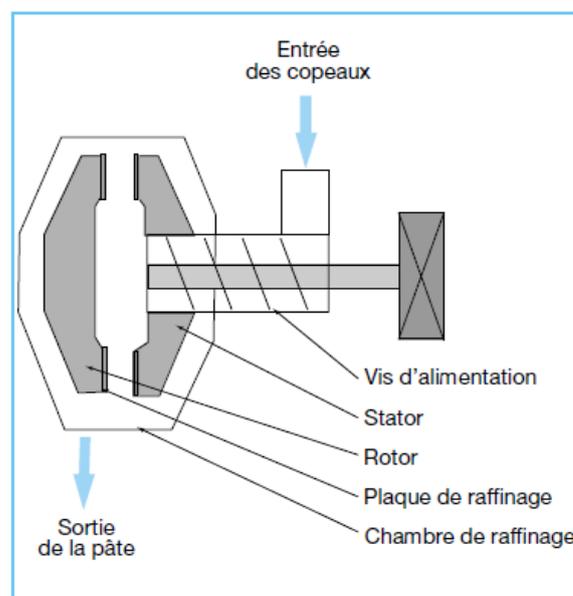


Figure II.1 : Schéma d'un raffineur simple [14]

### II.4.2 Twin raffineur :

Afin d'augmenter les capacités de production, les raffineurs ont été améliorés. Des appareils avec une capacité plus importante que celle des raffineurs simple disque ont été développés. Ils sont équipés de deux zones de raffinage sur un même bâti, comme schématisé ci-dessous.

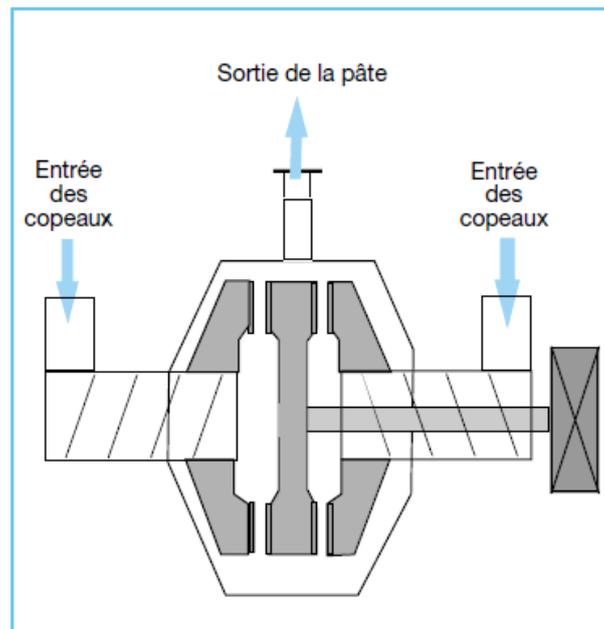


Figure II.2 : Schéma d'un Twin raffineur [14].

### II.5 Conception des raffineurs :

Il existe deux conceptions principales de raffineurs qui sont largement utilisées dans l'industrie avec une légère variation dans la conception des plaques, les angles des barres et la disposition des plaques ;

1. Raffineurs coniques.

2. Raffineur de disque

#### a) Raffineurs coniques :

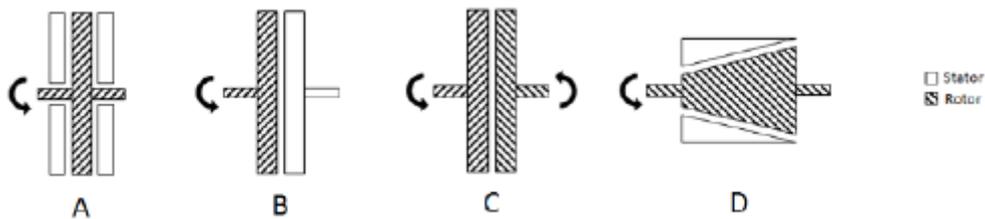
Les raffineurs coniques ont un rotor conique et il tourne à l'intérieur d'un stator conique voir figure II.4. Le fluide est pompé dans la plus petite extrémité du cône et est pressé entre le cône rotatif et stationnaire. Dans les raffineurs coniques, l'écart entre le stator et le rotor peut être contrôlé très précisément en ajustant la position axiale du rotor.

#### b) Raffineur à disque :

Un raffineur à disque se compose de deux disques verticaux avec des surfaces dentelées ou profilées. Un disque tourne, tandis que l'autre reste immobile ou tourne dans le sens opposé à celui du premier disque. Le fluide pénètre dans la machine axialement, c'est-à-dire au centre du disque et le disque rotatif transmet de l'énergie au fluide, le faisant sortir de la machine dans le

sens radial à une pression relativement plus élevée. Lorsque le fluide est poussé vers l'extérieur en raison du disque en rotation, le fluide est comprimé dans l'espace étroit entre le rotor et le stator. L'abrasion subie par les fibres au cours de ce processus coupe, ramollit, frotte et disperse les fibres au degré souhaité. L'écart entre les disques peut être élargi ou raccourci, en fonction de l'étendue du raffinage approprié à l'utilisation finale du papier à produire. Les raffineurs à disques sont largement utilisés dans l'industrie papetière en raison de leur simplicité de conception et de leurs meilleures performances par rapport aux raffineurs coniques.

Le raffineur étudié dans ce travail est un raffineur à disque utilisé à Inventai. C'est un raffineur à double disque avec un plateau tournant au milieu de deux plateaux fixes. Les plaques tournantes et fixes ont le même motif de barres et de rainures. Les barres et les rainures sont orientées selon un certain angle.



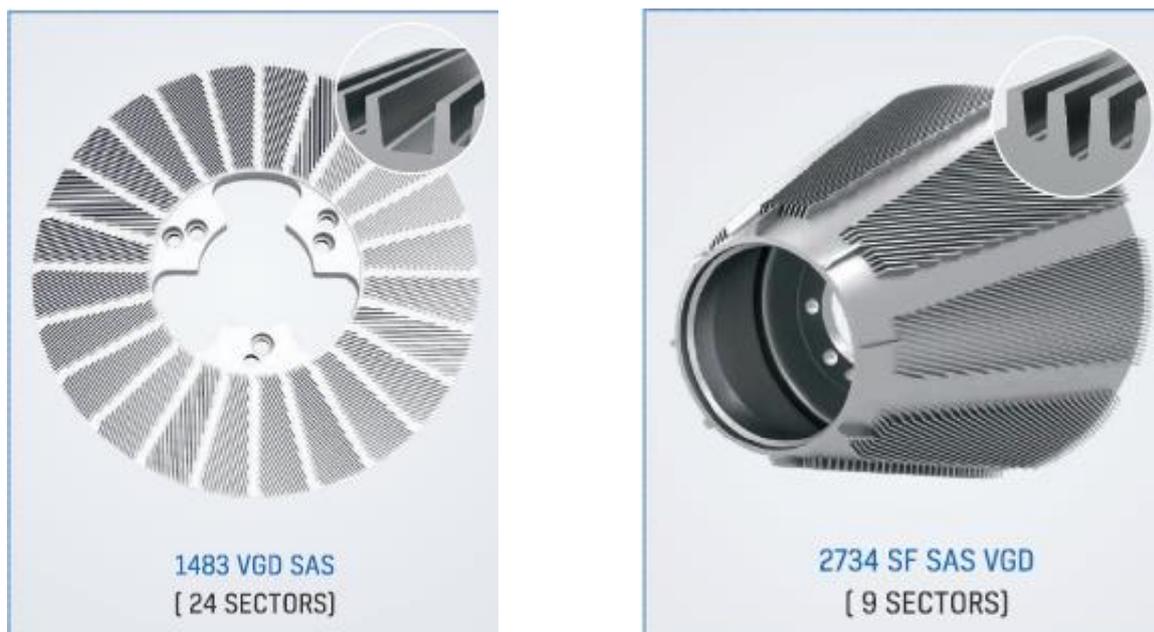
**Figure II.3** : Diverses configurations de raffineur [15].

A : Un stator au milieu et deux plaques tournantes de chaque côté de la plaque de stator. Le raffineur d'Inventai est de ce type.

B : Un seul rotor et stator.

C : Deux plateaux contrarotatifs.

D : Un raffineur conique.



**Figure II.4 :** Exemples de disques de raffinage [16]

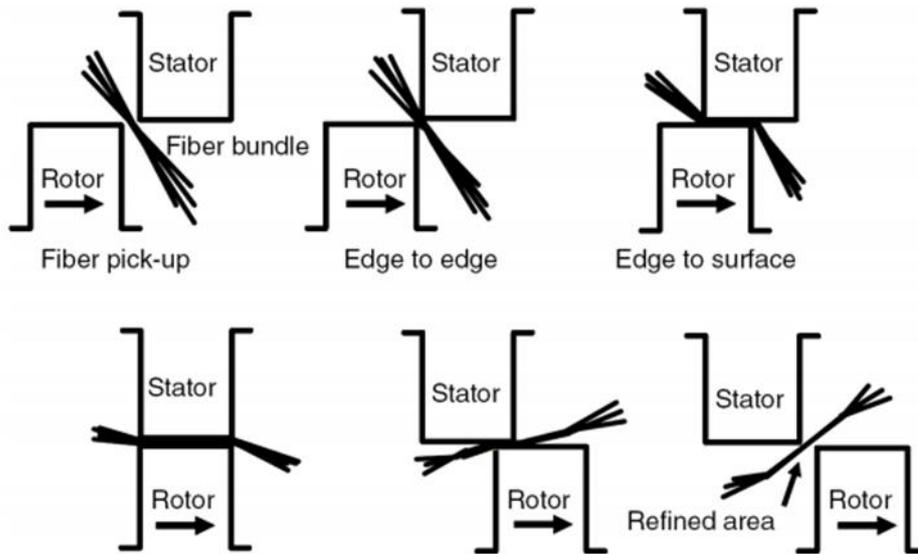
## II.6 Théorie du raffinage :

Dans cette section, les détails du processus de raffinage de la préparation des stocks seront examinés de plus près. Ce sera montré que les propriétés des fibres et de la pâte peuvent être manipulées en modifiant la configuration des plaques du raffineur et les conditions opératoires d'un raffineur afin d'obtenir une combinaison optimale des propriétés du papier.

La pâte est un processus dans lequel les floccs de fibres s'accablent sur les bords des barres de fibres et sont raffinés déformés par

Forces de compression et de cisaillement telles que la paroi cellulaire d'au moins certaines des fibres est modifiée de façon permanente.

La nature de la modification de la paroi cellulaire dépend de l'amplitude des contraintes de compression (ou déformations) qui se produisent lors de la déformation des floccs de fibres. L'étendue de la modification de la paroi cellulaire dépend de la fréquence à laquelle les floccs sont collectés et la fibre déformée pour une masse de fibre donnée.



**Figure II.5 :** Mécanisme de raffinage. [17]

Dans le raffinage de la pâte, nous nous intéressons à la fois à l'ampleur et à la fréquence de ces déformations.

Au sein de chaque floc de fibres, la déformation moyenne de la paroi cellulaire des fibres individuelles est directement liée à la déformation du floc lui-même : par ex. Si le floc n'est que légèrement déformé, la déformation moyenne de la paroi cellulaire des fibres sera également faible. En revanche, si le floc est fortement déformé, alors les contraintes et la déformation des parois cellulaires individuelles sera beaucoup plus importante. Si la déformation du floc de fibre est si extrême quant à le couper en deux, une partie des fibres à l'intérieur du floc est également susceptible d'être coupée.

Reconnaître que la déformation de la paroi cellulaire d'une fibre individuelle pendant le raffinage ne peut être accomplie qu'en déformant le floc de fibre dans lequel elle se trouve est un concept très important. Tout d'abord, cela rend assez évident que la nature des déformations est très variée. Même s'il était possible de contrôler précisément le degré de déformation du floc, les fibres réparties de manière aléatoire au sein du floc seraient soumises à une large gamme de développement.

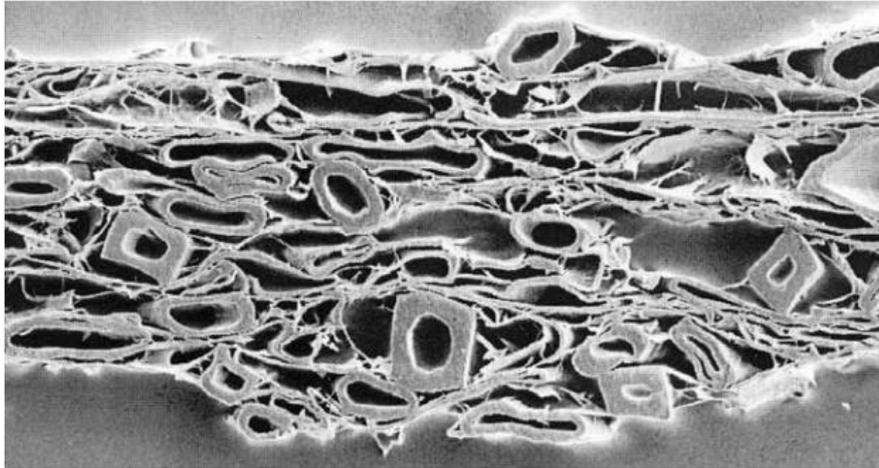


Figure II.6 : Coupe transversale du papier [18].

**II.7 Les notions des bases sur MDF :**

La dynamique des fluides concerne l'étude des fluides en mouvement. Il s'agit d'une partie importante du génie des procédés car la majorité des opérations nécessite le transport de fluides ou la réalisation de mélanges fluide-fluide ou fluide-solide. Ce chapitre vise à aborder les notions de base permettant de traiter ces aspects.

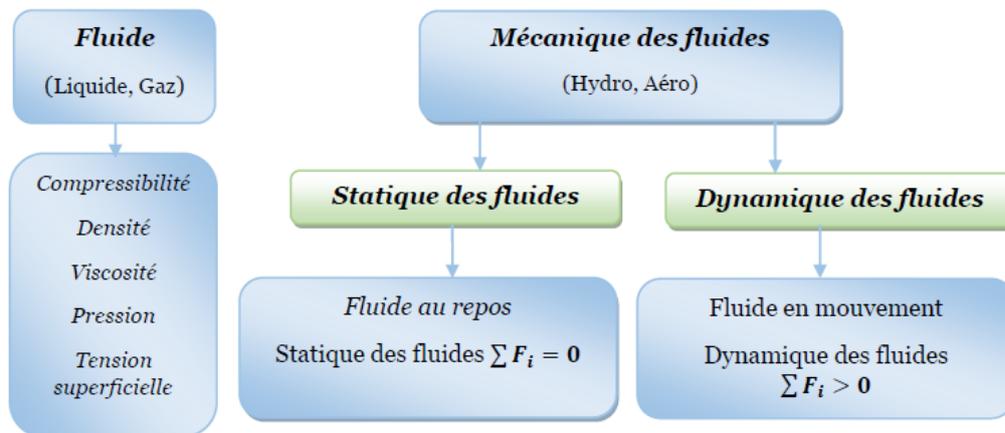


Figure II.7 : Branches de la mécanique des fluides [19] .

**II.7.1 Régimes d'écoulement :**

Un fluide réel en écoulement se distingue par deux types de comportement qui ont été expérimentés par *Reynolds* en 1883. Ces expériences ont été réalisées par écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive également un filet de liquide coloré permettant d'élucider l'existence de deux régimes d'écoulement : régime laminaire et régime turbulent.

### II.7.1.1 Expérience de Reynolds :

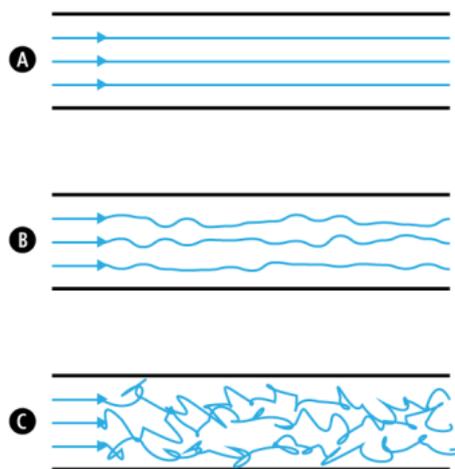
Les expériences réalisées par *Reynolds* (1883) lors de l'écoulement d'un fluide dans une conduite cylindrique rectiligne, ont montré l'existence de deux régimes d'écoulement : **laminaire** et **turbulent**.

En utilisant des fluides divers (viscosité différente), en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, Reynolds a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds **Re**.

La connaissance du régime d'écoulement d'un fluide est un point clé en génie des procédés, car il a une influence sur la plupart des phénomènes, en particulier les transferts de chaleur, de matière, les pertes de charges etc...

Trois grands régimes d'écoulement ont été définis par Reynolds (1883) :

- L'écoulement laminaire : écoulement rectiligne, le fluide s'écoule en filets parallèles à l'axe de la conduite, sans mélange.
- L'écoulement intermédiaire : l'écoulement est plus ou moins rectiligne, avec un peu de mélange (petits tourbillons).
- L'écoulement turbulent : l'écoulement se fait avec de grands tourbillons, avec un mélange important.



**Figure II.8** : Régimes d'écoulement [20].

**A** : écoulement laminaire

**B** : écoulement intermédiaire

**C** : écoulement turbulent

Le régime d'écoulement dépend du débit de fluide, du diamètre de la conduite et des propriétés du fluide. Il est déterminé grâce au nombre de Reynolds, défini comme suit dans le cas d'un écoulement dans une conduite cylindrique :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

$Re$  : Nombre de Reynolds (sans dimension)

$\rho$  : Masse volumique du fluide ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

$u$  : vitesse moyenne du fluide ( $\text{m.s}^{-1}$ )

$D$  : Diamètre de la conduite (m)

$\mu$  : viscosité dynamique du fluide (Pa.s)

$\nu$  : viscosité cinématique du fluide ( $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ )

Si  $Re < 2000$  le régime est « **LAMINAIRE** »

Si  $2000 < Re < 3000$  le régime est « **INTERMEDIAIRE** »

Si  $Re > 3000$  le régime est « **TURBULENT** » [20].

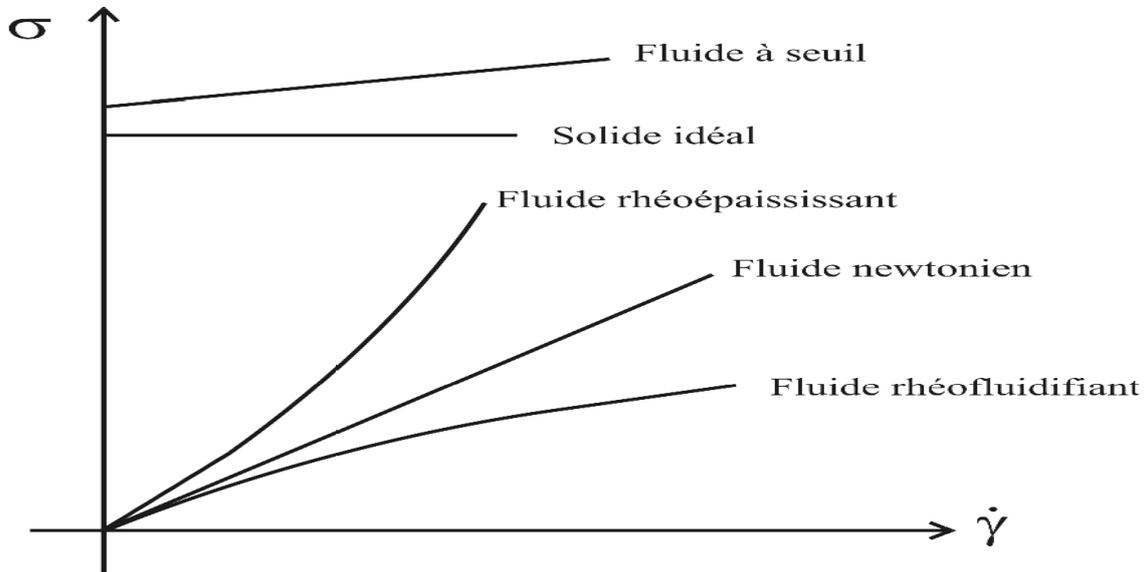
### II.7.1.2 Classification des Fluides :

Un fluide non newtonien est un fluide qui ne suit pas la loi de viscosité de Newton, c'est-à-dire une viscosité constante indépendante de la contrainte. Dans les fluides non newtoniens, la viscosité peut changer lorsqu'elle est soumise à une force pour devenir plus liquide ou plus solide.

#### a) **Fluide newtonien :**

Un fluide est dit newtonien lorsque le tenseur des contraintes visqueuses est une fonction linéaire du tenseur des taux de déformation. Le facteur de proportionnalité se nomme viscosité, il est constant et indépendant du taux de cisaillement.

Pour la plupart des fluides usuels (eau, lait, jus de fruits naturels .....), [à la plupart des miels, huiles minérales, solvants organiques, etc.] dans des conditions standards, ce modèle est très satisfaisant .



**Figure II.9 :** Courbes comportement des différents fluides [21]

### b) Fluide Non Newtonien :

Un fluide est dit non newtonien lorsque le tenseur des contraintes visqueuses n'est pas une fonction linéaire du tenseur des taux de déformation. Autrement dit, lorsque sa vitesse de déformation (par exemple le taux de cisaillement) n'est pas directement proportionnelle à la force qu'on lui applique. Le meilleur exemple est celui du sable mouillé en bord de mer : quand on frappe le sable, il a la viscosité élevée d'un solide, alors que lorsqu'on appuie doucement dessus, il se comporte comme une pâte [21].

## II.8 Fluides utilisés dans le processus fabrication de papier :

L'eau est un élément indispensable dans la fabrication du papier.

### II.8.1 Le rôle d'eau :

En effet, l'eau est un élément qui favorise l'assemblage naturel des fibres cellulosiques hydrophiles (ie. ont une affinité avec l'eau). L'eau assure donc la cohésion des fibres et la souplesse de la feuille de papier.

Au cours de la fabrication du papier, cet élément se retrouve à de multiples stades :

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

### II.8.2 Circuits d'eau et récupération des fibres :

Une papeterie comprend trois circuits d'eau de process : le circuit primaire, le circuit secondaire et le circuit tertiaire. Un schéma des circuits d'eau d'une papeterie est reproduit dans la figure II.10.

Dans le circuit primaire (circulation courte), l'eau riche en fibres, particules fines et charges obtenue dans la zone de formation de la feuille de la section de la toile (eau blanche I) est recyclée pour diluer la pâte épaisse dans le système de distribution de la pâte. Le circuit primaire est maintenu au maximum en circuit fermé.

L'eau en excès de la section de formation de la feuille, l'eau d'aspiration et de pressage ainsi que l'eau de nettoyage est appelée eau blanche II est circule dans le circuit secondaire (circulation longue). Typiquement, l'eau blanche qui s'égoutte de la toile est traitée à l'aide de ce que l'on appelle un ramasse-pâte, qui peut être une installation de décantation ou de flottation ou une unité de filtration tel qu'un filtre à tambour ou à disque. Cette eau est alors appelée eau clarifiée (ou eau claire).

On utilise aussi des systèmes de flottation comme ramasse-pâte. Dans des conditions optimales, le rendement des systèmes de flottation pour éliminer les matières en suspension est souvent proche de 100 %, soit une concentration de matières en suspension de 10 à 50 mg/l (pour la pâte vierge). La consistance des boues de flottation est comprise entre 3 et 10 %. Les installations de flottation se composent d'un bassin de décantation avec élimination des boues, d'une installation d'aération de l'eau clarifiée et d'une installation de dosage pour les produits chimiques de flottation. L'avantage de la flottation est qu'elle permet d'éliminer également les

matières colloïdales de petite taille (sous réserve d'une floculation convenable préalablement à la flottation).

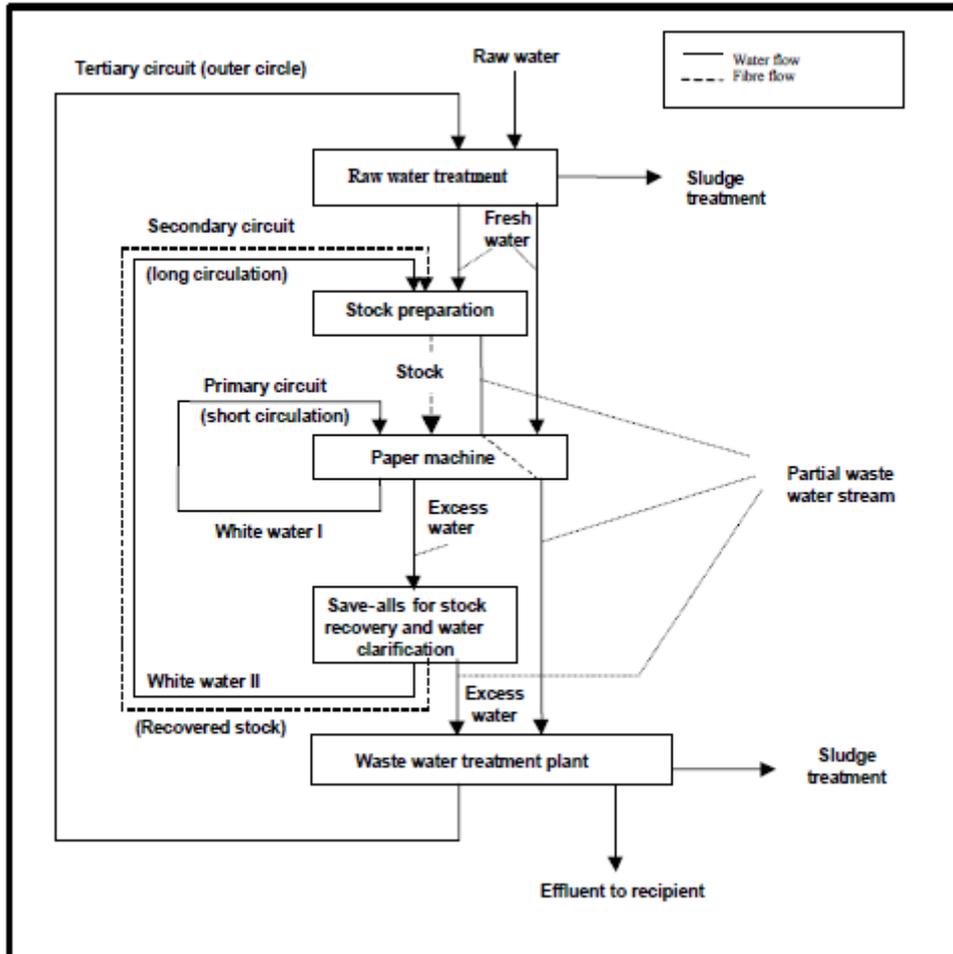


Figure II.10 : Schéma simplifié des circuits d'eau et de la pâte dans une papeterie [22].

Cela est un avantage important dans les installations utilisant des papiers de récupération avec désencrage, dans lesquelles une grande partie des matières solides dans l'eau de process sont colloïdales (dans une installation avec désencrage, la boue de flottation est pompée vers l'installation de déshydratation de la boue au lieu d'être recyclée dans le processus).

Le circuit tertiaire contient l'eau en excès du circuit secondaire et, en plus, toute l'eau de process qui n'est pas ou pas directement réutilisable en raison de son degré de pollution. Ces eaux sont traitées dans des installations de traitement physico-chimique et/ou biologique des eaux usées. Jusqu'à présent, la réutilisation de l'eau purifiée n'est pas intégralement applicable pour toutes les qualités de papier. Dans certains cas, l'eau purifiée est partiellement renvoyée

dans le processus, en fonction de la qualité requise du produit et des conditions locales. La mise en circuit fermé du système d'eau n'est réalisée que dans un petit nombre d'usines produisant du papier pour onduler à base de papiers de récupération ou du carton.

### **II.9 Consommation d'eau :**

Dans les papeteries, l'eau fraîche sert essentiellement :

- Comme eau de nettoyage pour l'eau dite des rinceurs de la machine à papier. La fonction de ces rinceurs est de lubrifier et de nettoyer les toiles de la table de formation et les feutres de la presse humide pour garantir un résultat satisfaisant de l'égouttage : 5 à 20 m<sup>3</sup>/t.
- Comme eau d'étanchéité et de confinement dans les presse-étoupe, les caisses aspirantes, les systèmes à vide et les épurateurs : 1 à 6 m<sup>3</sup>/t.
- Comme diluant et agent de dispersion pour les charges et les adjuvants : 1,5 à 3 m<sup>3</sup>/t.
- Pour certains types de papiers : eau d'appoint dans la préparation de la pâte
- Refroidissement du matériel utilisé pour le processus : 3 à 10 m<sup>3</sup>/t. Ces eaux sont souvent recyclées et utilisées comme eau de process. D'autres usines les rejettent à part. C'est pourquoi, normalement, cette eau n'est pas incluse dans les rapports sur la consommation d'eau des papeteries.
- Unité de production d'énergie : 2 à 3 m<sup>3</sup>/t. Normalement, cette eau n'est pas incluse dans les rapports sur la consommation d'eau des papeteries.

Le schéma simplifié de la figure II.11 illustre, au moyen d'un exemple, les principaux points correspondant à la consommation d'eau fraîche. On présuppose que l'eau de refroidissement est recyclée dans le processus. Les papeteries qui rejettent de l'eau de refroidissement auront besoin d'une quantité comparativement plus élevée d'eau fraîche. En comparant les chiffres sur la consommation d'eau dans les papeteries, il faut s'assurer que les chiffres comparés portent bien sur les mêmes points de consommation.

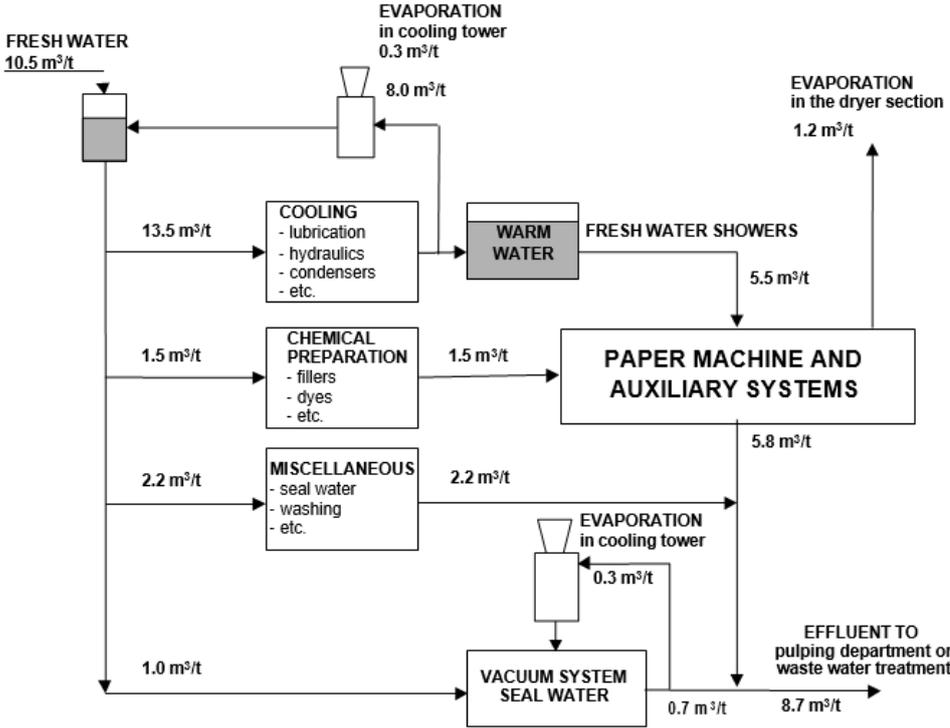


Figure II.11 : Points de la demande d'eau fraîche dans une papeterie [22].

## **Chapitre III**

# **Simulation et Résultats**

### III.1 Introduction

Le but principal du présent chapitre est une simulation numérique sous environnement de SolidWorks du comportement mécanique de l'organe effecteur à savoir le disque d'une machine à raffiner la pulpe de bois. A cet effet, notre choix s'est porté sur une machine dédiée au procédé mécanique du raffinage de la pulpe de bois du fabricant PARSON. Le centre d'intérêt étant le disque, il fait l'objet d'une modélisation géométrique dans l'environnement CAO de SolidWorks suivi d'une analyse statique en environnement IAO sous SolidWorks simulation en vu de déterminer la distribution des contraintes, déformations et déplacement. Enfin une interprétation des résultats obtenus sera discutée.

### III.2. Description du problème :

Les principaux objectifs de la réduction en pâte sont de libérer les fibres du bois de la lignine qui les lie ensemble, puis de suspendre les fibres dans l'eau dans une suspension adaptée à la fabrication du papier. En tant que forme la plus ancienne de réduction en pâte, la réduction en pâte mécanique utilise l'énergie mécanique pour affaiblir et séparer les fibres du bois via une action de broyage. L'avantage de la mise en pâte mécanique est qu'elle produit des rendements beaucoup plus élevés que les procédés de mise en pâte chimique jusqu'à 97 % [BREF, 2010. p. 422]. Notre étude de cas concerne l'un des procédés de la mise en pâte mécanique à savoir la RMP.

La RMP (Refiner Mechanical Pulping) ou raffinage de pâte mécanique est un procédé dans lequel la matière première du bois est broyée entre deux disques rainurés. Le procédé conserve les avantages de rendement élevé du procédé SGW (Stone Ground Wood), tout en produisant des fibres un peu plus longues avec une plus grande résistance. Cela permet d'utiliser du papier plus léger pour l'impression et d'obtenir plus de supports d'impression par tonne de matière première. Le processus RMP peut utiliser des matières premières en bois autres que les grumes, telles que les déchets de bois et la sciure de bois provenant des scieries.

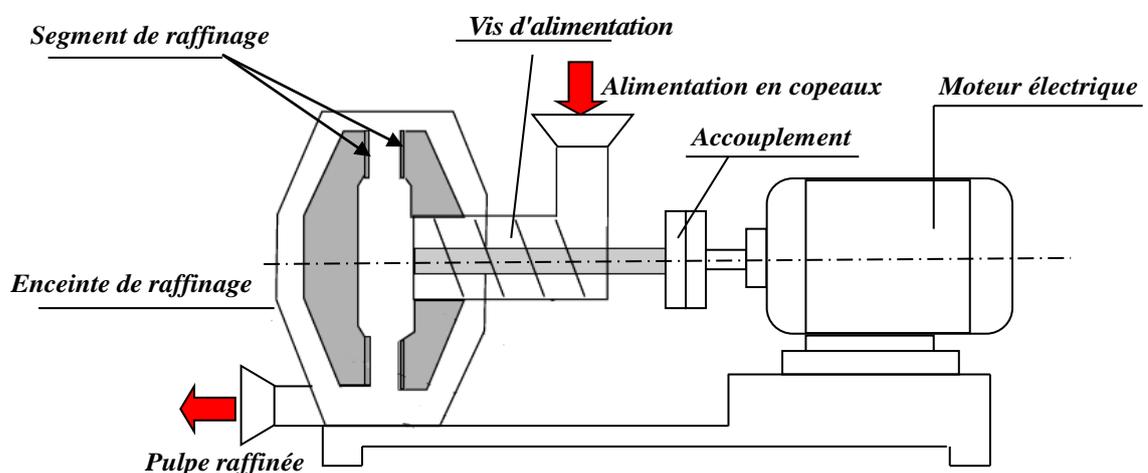
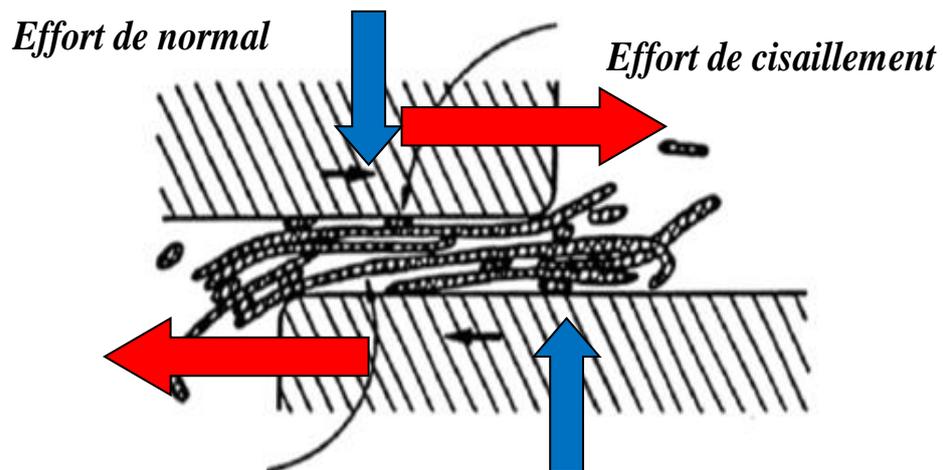


Figure III.1 : Principe d'une machine pour le procédé RMP

### III.2.1 Hypothèses :

Afin d'analyser les contraintes et les déformations affectant les segments de raffinage, des hypothèses simplificatrices doivent être supposées :

- Les segments de raffinage sont assemblés par éléments filetés (Vis d'assemblage)
- Le segment de raffinage est considéré comme solide déformable
- Seuls les petits mouvements élastiques sont considérés,
- Toutes les déformations seront régies par la théorie de l'élasticité linéaire
- Les segments comportent des rainures de section transversale en forme de U
- Le matériau considéré pour les segments est un matériau métallique ferreux inoxydable.
- Le phénomène de cisaillement de la fibre étant prépondérant, l'effort normal exercé sur le disque sera négligé (**Figure III.2**).



**Figure III.2** : processus de broyage des fibres

### III.2.2 Caractéristiques techniques

#### III.2.2.1 Caractéristiques de la machine

Marque	PARSON
Modèle	TDR-38
Diamètre du disque (mm)	965
Taux de remplissage (%)	4-5
Puissance du moteur (CV)	900 - 1200
Vitesse de rotation (tr/min)	525
Pression d'entrée (kg/cm <sup>2</sup> )	1.5 – 2.0
Poids approximatif (kg)	5 500

### III.2.2.2 Caractéristiques du disque

En raison des diverses hypothèses formulées lors de l'élaboration du modèle une étude qualitative et quantitative a été réalisée à l'aide d'une simulation à éléments finis d'un disque/ Segment de raffinage ayant les paramètres numériques données dans le **Tableau III.2**.

**Tableau III.2** : Paramètres du disque [24]

Désignation	Symbole	Valeur (mm)
Diamètre extérieur	$D_d$	<i>1251.94</i>
Diamètre intérieur	$d_d$	<i>445.26</i>
Epaisseur	$E_d$	<i>50.40</i>

### III.2.2.3 Caractéristiques du segment

Les dimensions du segment sont données dans le tableau suivant :

**Tableau III.3** : Paramètres du segment [24]

Désignation	Symbole	Valeur (mm)
Diamètre extérieur	$D_s$	<i>1219.2</i>
Diamètre intérieur	$d_s$	<i>533.4</i>
Epaisseur	$E_s$	<i>43</i>
Nombre de segments	$N_s$	<i>9</i>
Matériau <b>X30 Cr 13</b>		
Dimensions des rainures		
Largeur	$l_r$	<i>4.6</i>
Hauteur	$h_r$	<i>7.1</i>

### III.3 Simulation numérique

La simulation numérique est amenée à jouer un rôle majeur dans les réponses que les sciences et techniques pourront apporter aux enjeux de demain. Il s'agit alors pour les ingénieurs de proposer les modèles qui, à partir du minimum d'ingrédients, permettent de rendre compte de la réalité. Pour cela, l'option MSM (Modélisation et Simulation Mécanique) permet d'acquérir des compétences en méthodes numériques et en modélisation, ainsi que la connaissance des limites des modèles, outils numériques utilisés. Ce volet décrit une étude de cas d'un modèle géométrique Segments réalisé à l'aide du logiciel SOLIDWORKS, dans l'intérêt d'exécuter une analyse statique afin de déterminer la distribution des contraintes, déformations et déplacement, en prenant trois matériaux différents (**1-Acier allié inoxydable / 2-Acier inoxydable chromé /3- Acier inoxydable corroyé**) et deux formes différentes des rainures en "U" et en "V".

### III.3.1 Création de la géométrie (CAO)

Dans notre cas, le problème consiste à identifier à travers une simulation numérique sous SolidWorks simulation, le champ des contraintes, des déplacements et des déformations générés par les chargements externes qui sollicitent un segment lors de son action sur les fibres de bois contenues dans le mélange (Eau-fibres)

La mise en œuvre d'une simulation numérique nécessite la réalisation du modèle 3D, les dimensions et le matériau qui constituent la pièce ainsi les contraintes et les chargements appliqués au Segment. Dans notre cas, on a fait appel au logiciel de CAO SolidWorks. Ce dernier est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises. Pour lancer **SolidWorks** : Bureau Windows→ Icône **SolidWorks**

#### 1° Créations des pièces

##### a. Création du segment

- **Création de l'esquisse** (Figure III.3 a)
  - **Barre des menus**→Menu **Fichier**→**Ouvrir**→Fenêtre **Nouveau** →Pièce → Ok
  - Arbre **Feature Manager**→Plan de face → Sélectionner le plan (YX) pour l'esquisse
  - Onglet **Esquisse**→ zone graphique création du profil transversal du segment.
- **Création du volumique** (Figure III.3 b)
  - Onglet **Fonction**→ **Bossage**→ Pointez l'axe de révolution ensuite pointez l'intérieur du profil → Ok
  - Arbre **FeatureManager**→**Matériau**→**Éditer le matériau**→**Solidworks DIN** **martials**→**115CrV**

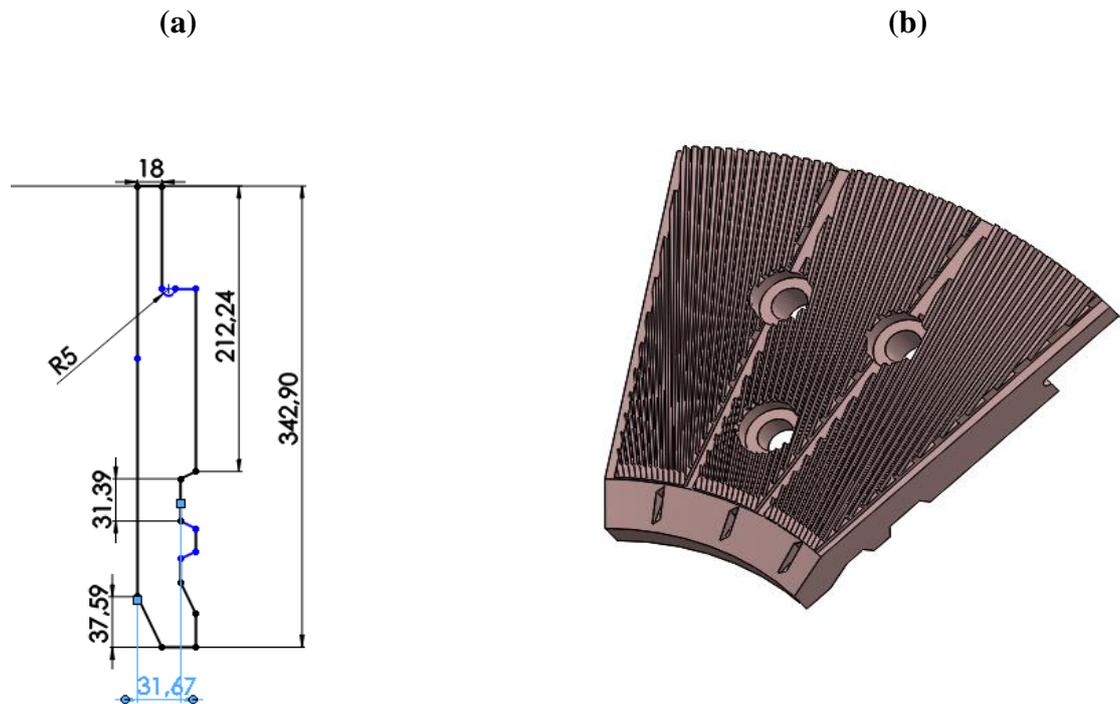


Figure III.3 : Création du segment

#### b. Création du disque porteur

- **Création de la section transversale (Figure III.4) (a)**
  - Barre des menus → Menu **Fichier** → **Ouvrir** → Fenêtre **Nouveau** → Pièce → Ok
  - Arbre **Feature-Manager** → Plan de face → Sélectionner le plan (YX) pour l'esquisse.
  - Onglet **Esquisse** → **Ligne** → **Ligne de construction** → (1) ligne de construction horizontale (Axe de révolution); (2) ligne de construction verticale (Axe de symétrie)
  - Onglet **Esquisse** → **Rectangle** → (1) Dessiner un rectangle dans le plan de l'esquisse. (2) Positionnez le bord supérieur du rectangle à de l'axe de révolution.
  - Onglet **Esquisse** → **Cercle** → Positionnez le centre du cercle à la distance déterminé à partir de l'axe de révolution → Définir son rayon.
  - Onglet **Esquisse** → **Congé**
  - Onglet **Esquisse** → **Chanfrein**
  - Onglet **Esquisse** → **Cotes** → **Général**
- **Création du volume Figure III.4 (b)**
  - Onglet **Fonction** → **Bossage** → Property Manager → **Axe de révolution** → Sélectionnez l'axe de révolution

- Arbre **Feature-Manager**→**Matériau**→**Éditer le matériau**→**Solidworks DIN**  
**martiaux**→**115CrV3**

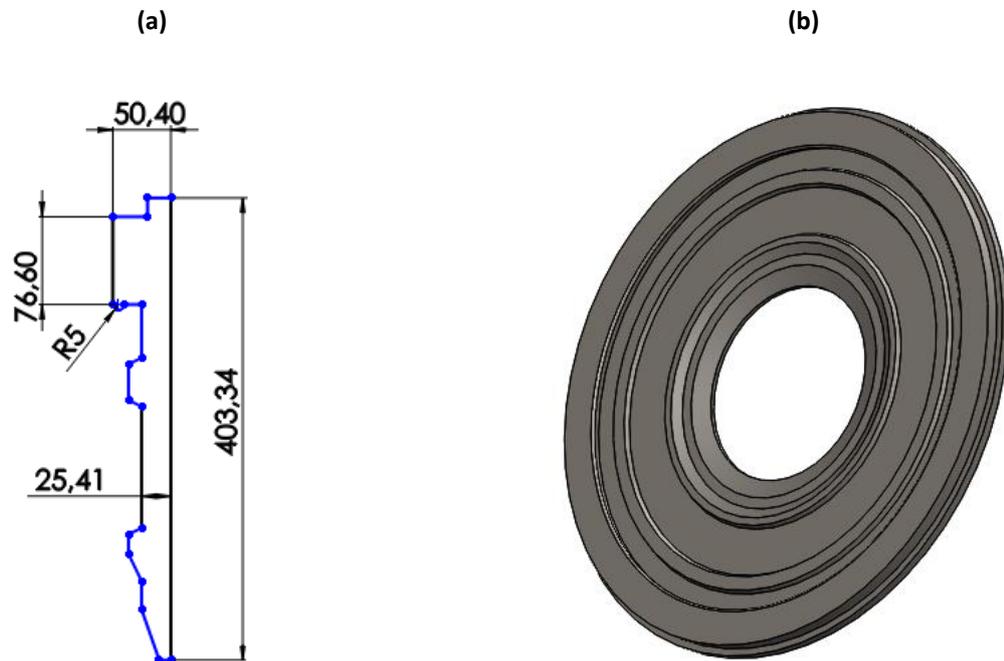


Figure III.4 : Création du disque porteur

## 2°. Créations de l'assemblage

Un assemblage est une combinaison d'au moins deux pièces connexes, également appelées composants. L'assemblage des composants est enregistré dans un même fichier Solidworks portant l'extension « .asm ». Dans notre cas, l'assemblage à créer sera constitué de trois composants : le disque porteur et les segments. L'obtention du disque de raffinage, passe par les étapes suivantes :

### a. Mise en place du segment

Arbre **Property-Manager** :

- (1) Pièce/assemblage à insérer→parcourir→Sélectionnez le fichier " **segment** "
- (2) Placez le centre du segment avec l'origine de l'assemblage **Figure III.5 (a)**

### b. Mise en place de la bague intérieure

Arbre **Property-Manager** :

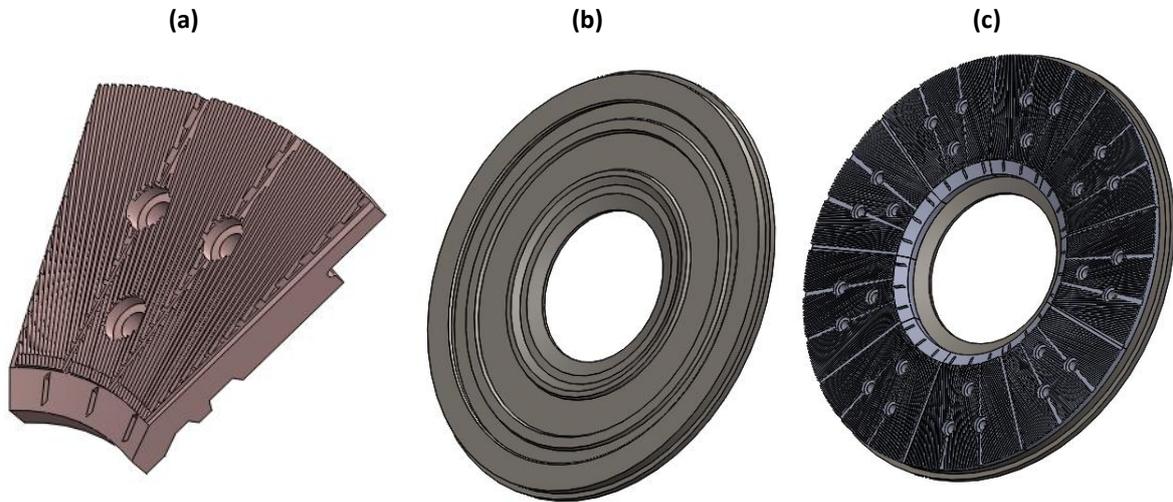
- (1) Pièce/assemblage à insérer→parcourir→Sélectionnez le fichier "**disque porteur**"
- (2) Placez le centre avec l'origine de l'assemblage **Figure III.5 (b)**

### c. Mise en place d'un segment

• Arbre **Property-Manager** :

- (1) Pièce/assemblage à insérer→parcourir→Sélectionnez le fichier " **segment** "
- (2) Placez le centre du disque porteur de l'assemblage **Figure III.5 (c)**

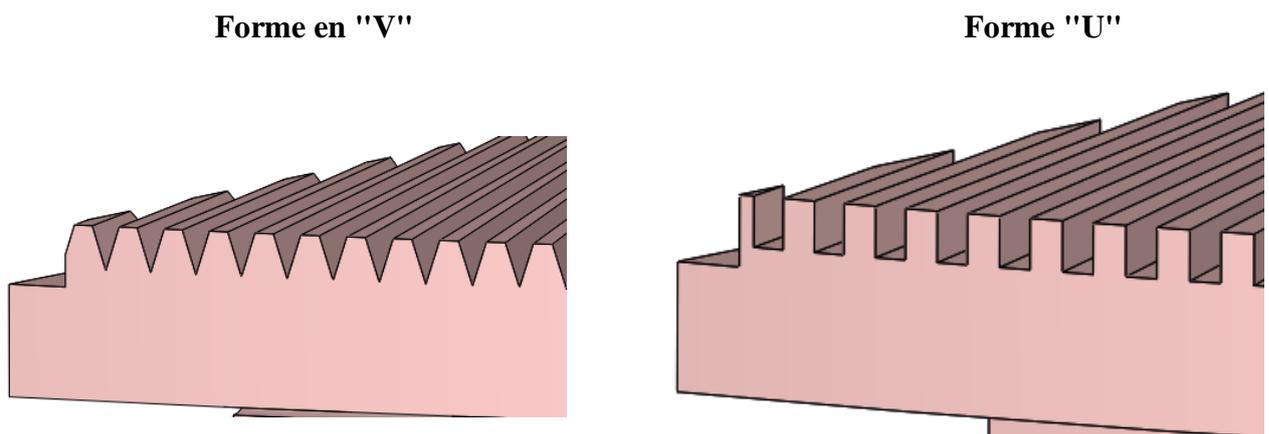
- **Barre d'outils**→Onglet **Assemblage**→**Déplacer le composant**
- **Arbre Property-Manager :**
  - (1) Sélectionnez le composant "segment"
  - (2) Déplacer le composant→**Selon delta XY : Figure III.5 (c)**



**Figure III.5 :** Créations de l'assemblage : a) Segment (b) Disque porteur (c) Disque de raffinage

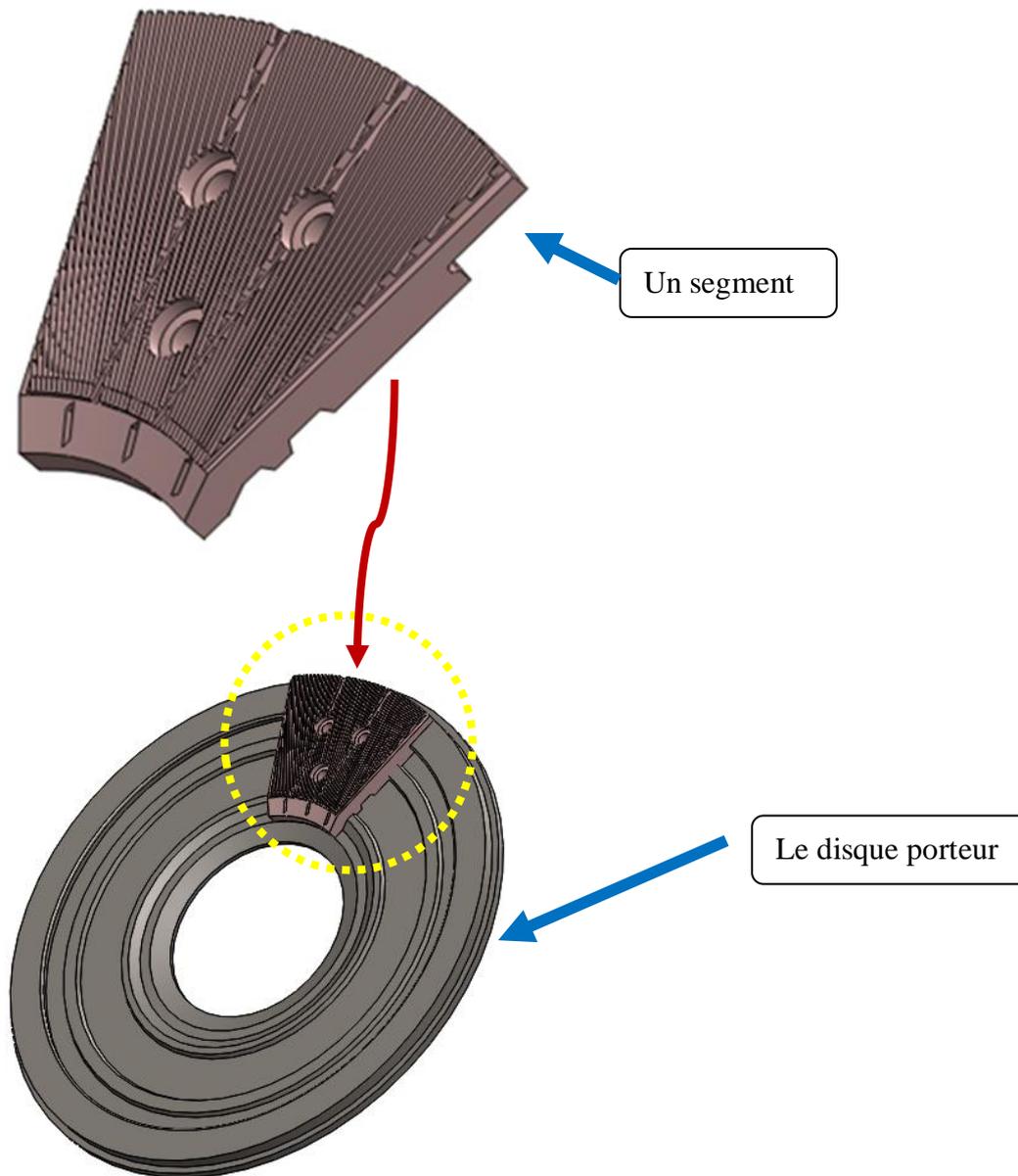
### III.3.2 Formes des rainures :

Dans le but d'étudier l'influence de la forme des rainures usinées sur les segments, on a pris deux formes différentes à savoir en "U" et en "V" comme illustré sur le schéma ci-dessous.



### III.3.3 SolidWorks simulation

Pour la simulation numérique sous SolidWorks Simulation, l'intérêt sera porté sur la zone où se trouve le segment. Dans notre cas, seul un segment de raffinage sera traité sous l'action des efforts de chargement externes **Figure III.6**



**Figure III.6** : Mise en situation

1°. Définitions types d'étude

Dans notre cas, une étude du type statique est choisie pour l'évaluation des contraintes, déplacements, déformation avec un matériau linéaire.

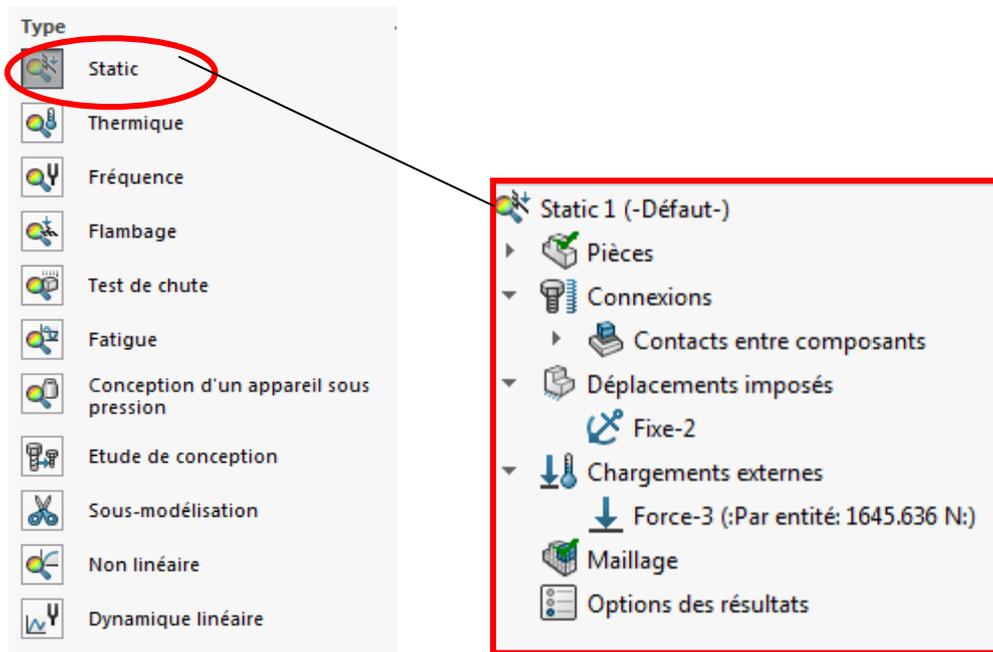


Figure III.7 : Définition du type d'étude

2°. Conditions aux limites

Les conditions aux limites, concernent les déplacements imposés. Ces derniers, décrivent le type de fixation du modèle. Les déplacements imposés non nulles sont causé par les corps exclus de la simulation.

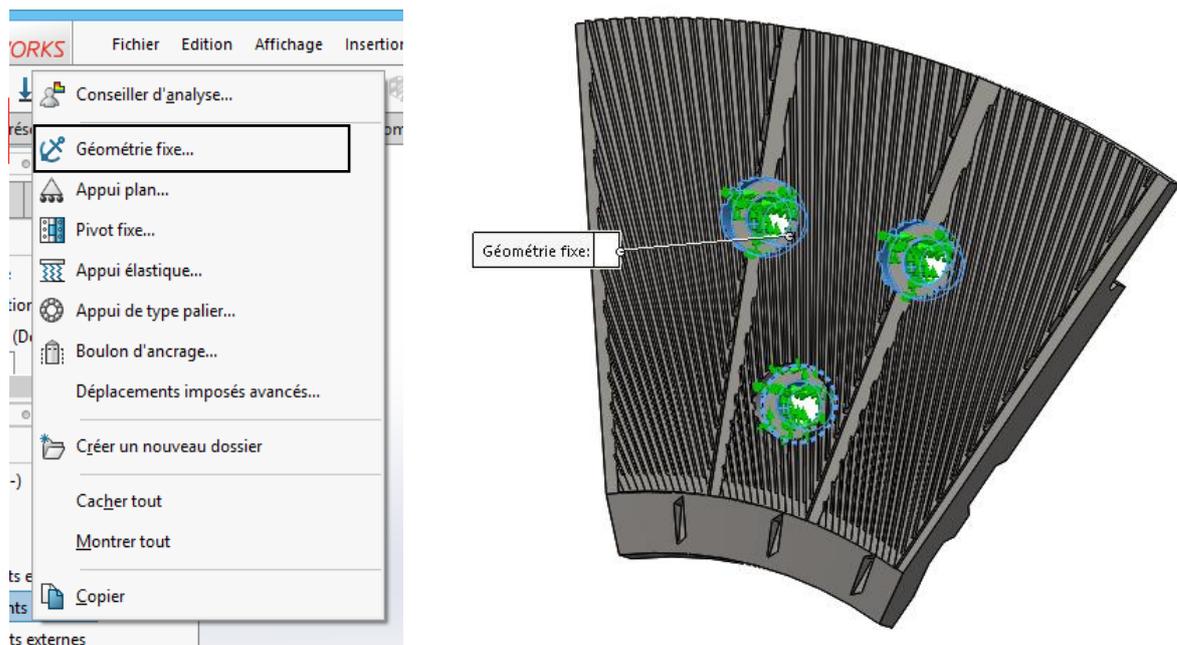
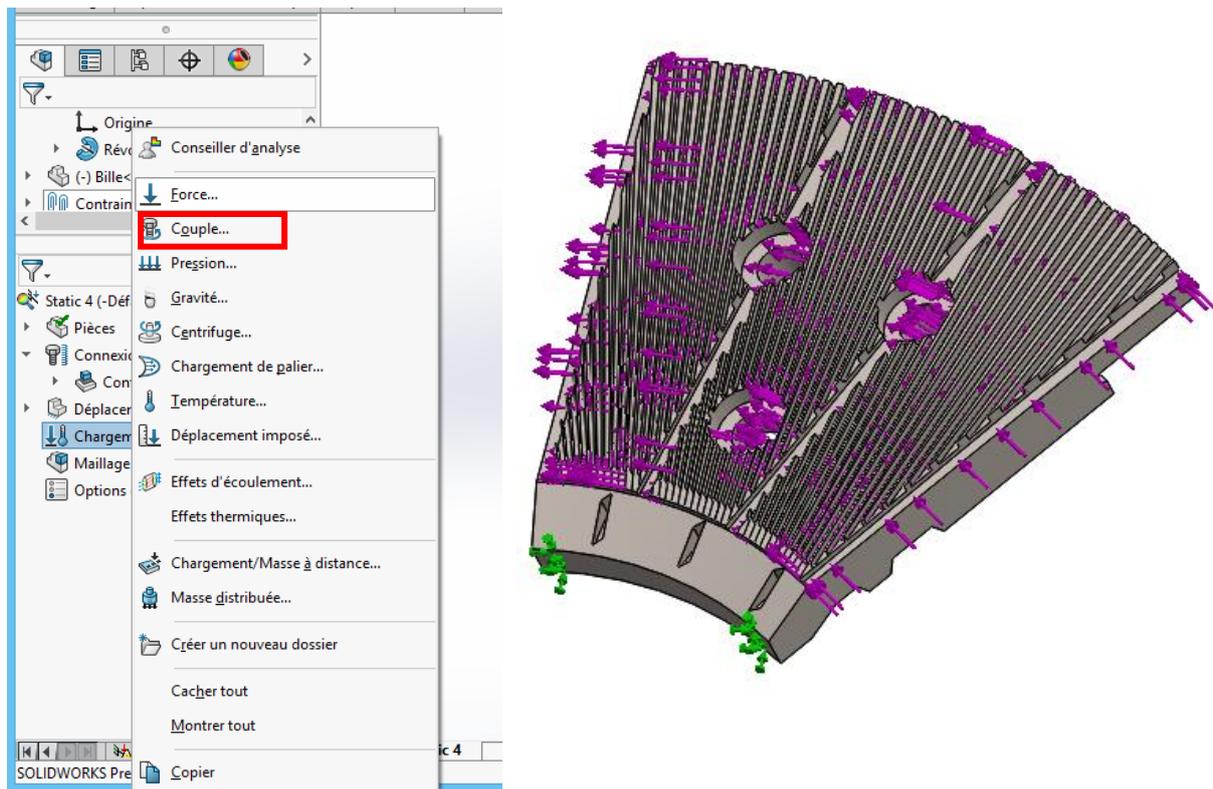


Figure III.8 : Déplacement imposée.

#### 4°. Définitions du chargement

Si vous choisissez Force et sélectionnez Direction sélectionnée, vous pouvez sélectionner, des points de référence pour la force. Les points de référence doivent être à l'intérieur des limites du modèle



**Figure III.9 : Effort de cisaillement**

5°. Maillage :

On peut analyser le modèle en utilisant les paramètres par défaut ou bien les adapter à notre besoin.

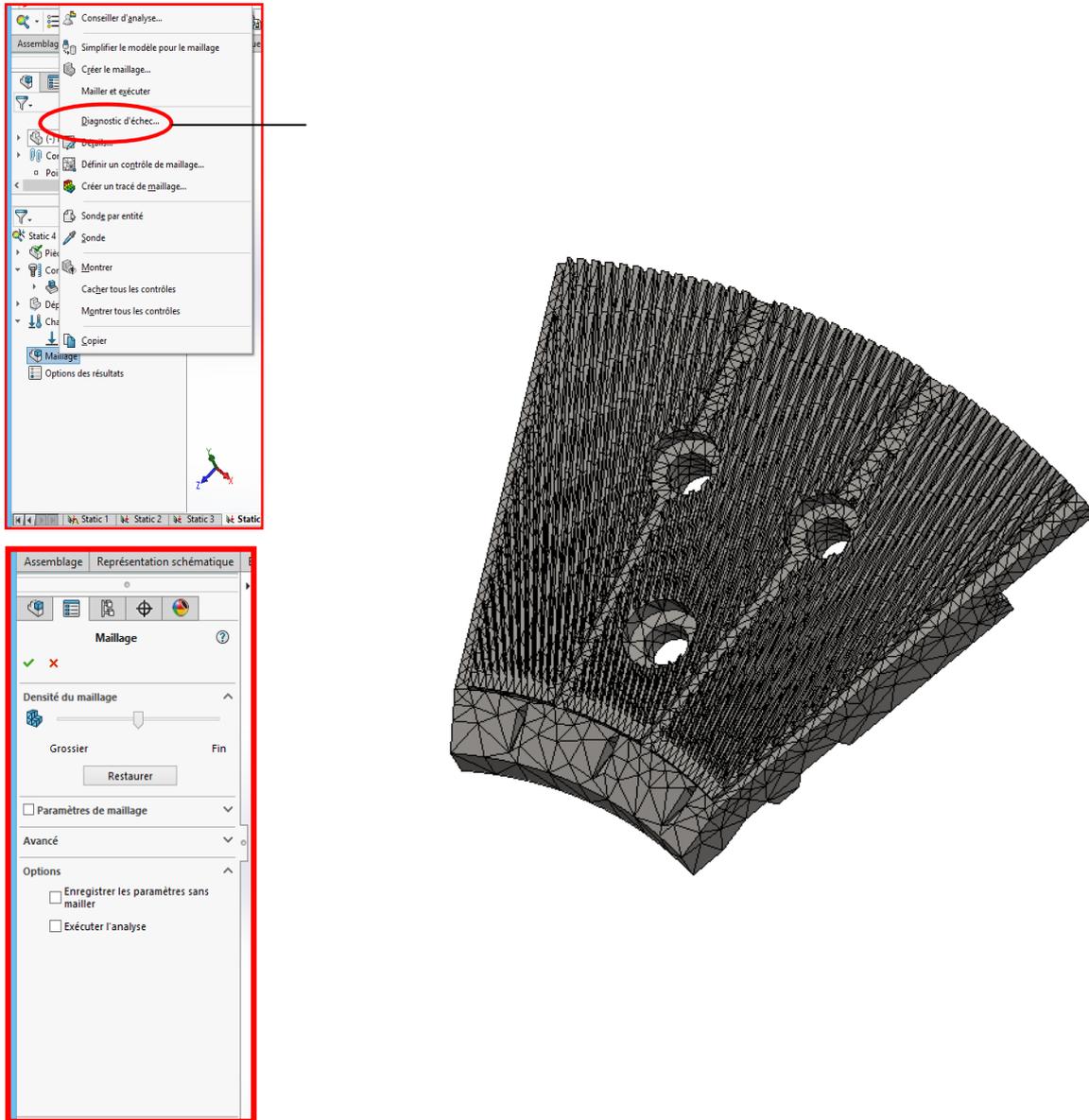


Figure III.10 : Maillage

### III.3.3 Résultats et interprétation

Dans un premier temps, nous avons analysé la distribution des contraintes, déplacements et déformations au niveau du système constitué par le segment. Les résultats dépendent essentiellement de la nature du matériau et de la model géométrie choisie, en prenant trois matériaux différents.

#### III.3.3.1 Matériau (Acier allié inoxydable).

##### I.1° Analyse des contraintes

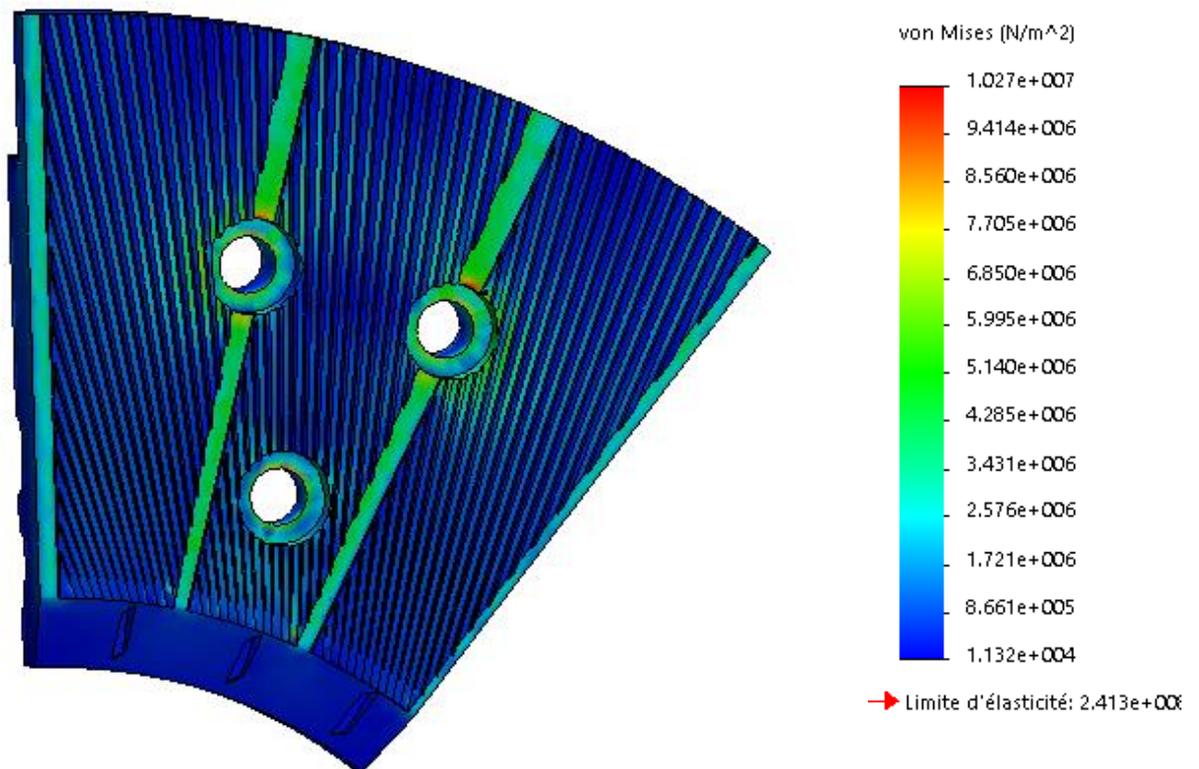


Figure III.11 : Distribution des contraintes entre segment

I.2°. Analyse des déplacements

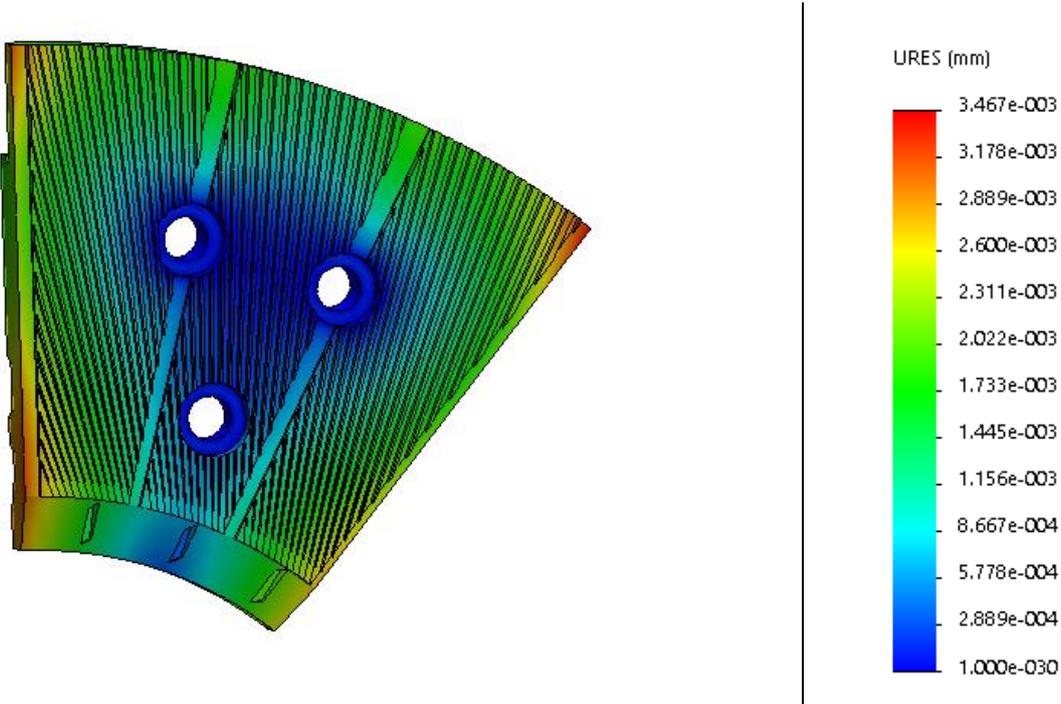


Figure III.12 : Distribution du déplacement statique pour le segment

I.3°. Analyse des déformations

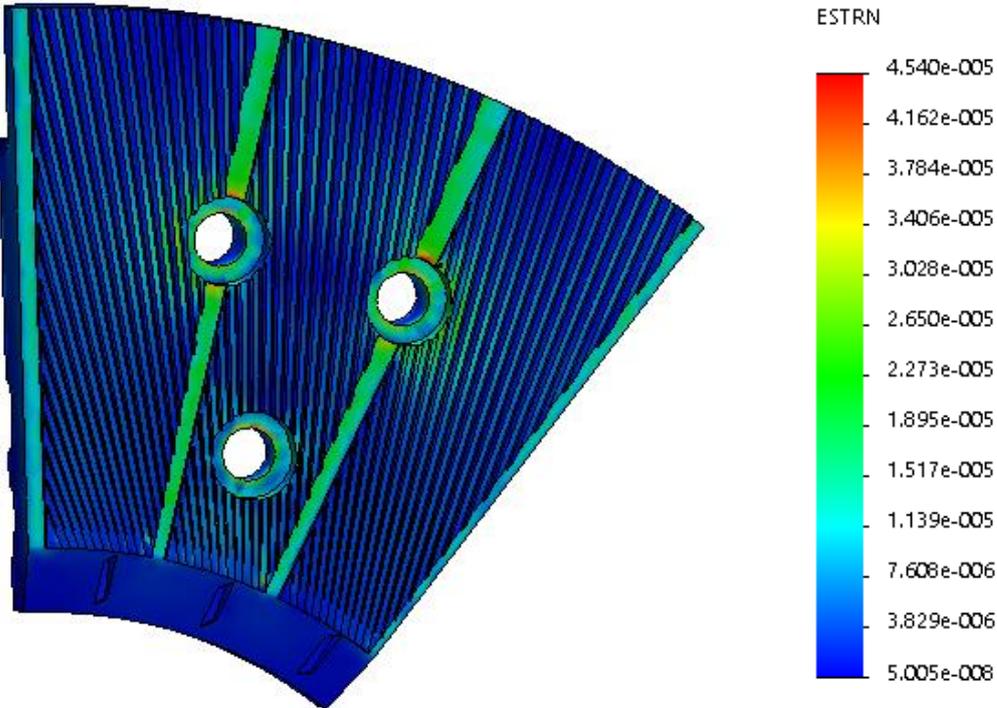


Figure III.13 : Déformation statique de segment

Les figures ci-dessus montrent la distribution des contraintes, déplacements et déformations dans un segment sollicité à un chargement externe sous forme d'un couple appliquée sur le système, dans ce cas on a choisis le matériau (**Acier allié inoxydable**).

- La simulation a fourni la répartition de la contrainte de Von Mises. Cette dernière admet une valeur de  $1.027e + 007 \text{ N/mm}^2$  (MPa) comme contrainte maximale au niveau du segment.
- Les résultats affichés donnent la répartition des déplacements. L'analyse de la figure a montré que le déplacement minimum se situe sur la face où se trouvent les trous de fixations du segment ayant pour valeur de  $1.000e-03$ , pour le déplacement maximum se situe aux extrémités du segment ayant pour valeur de  $3.467e-003$ .
- L'analysé de la déformation justifie l'état de contrainte du segment, tel que la variation de la déformation est compris entre  $5.005e-08$  et  $4.540e-5$ , qui est une déformation aussi minime par rapport aux dimensions du segment.

### III.3.3.2 Matériau (Acier inoxydable chromé)

#### II.1° Analyse des contraintes

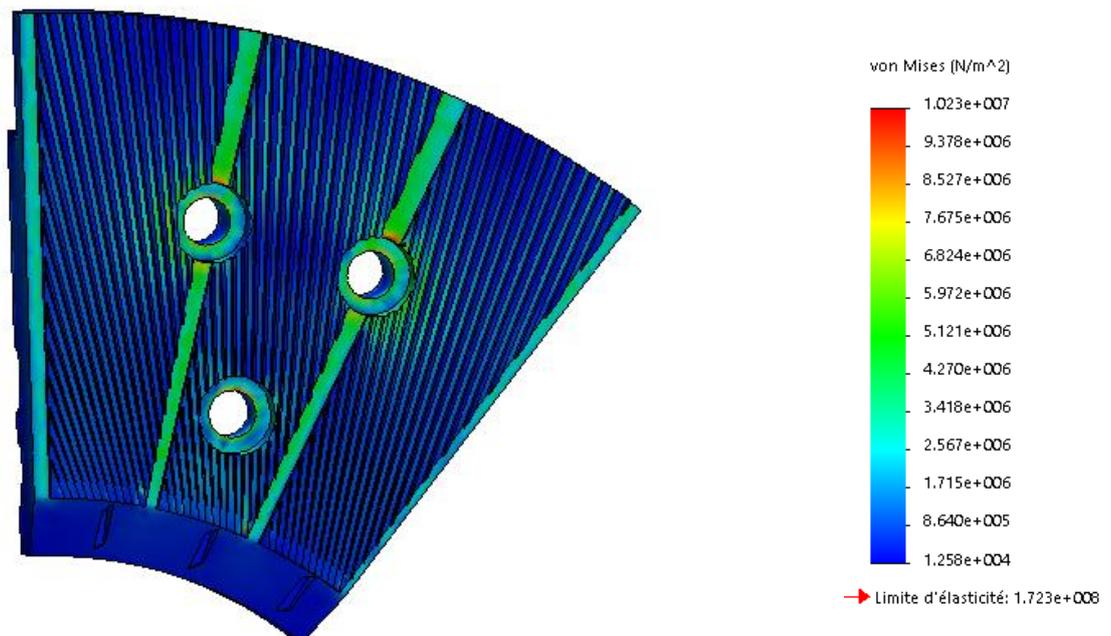


Figure III.14 : Distribution des contraintes entre segment

II.2°. Analyse des déplacements

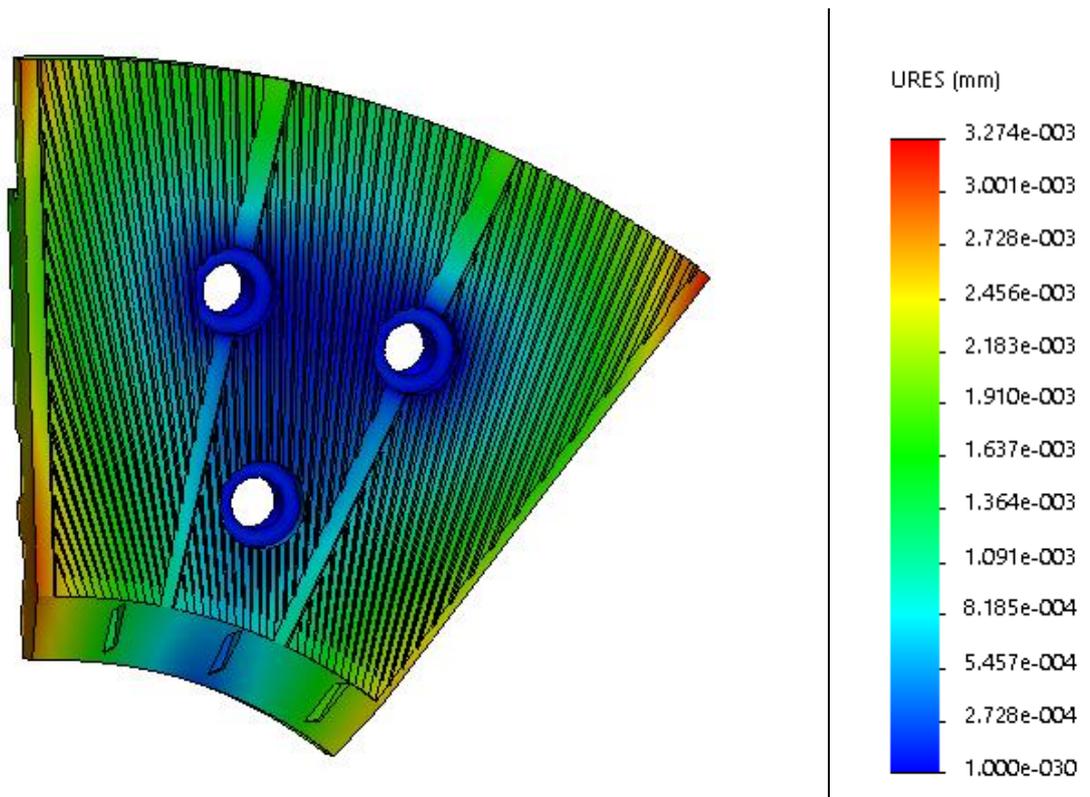


Figure III.15 : Distribution du déplacement statique pour le segment

II.3°. Analyse des déformations

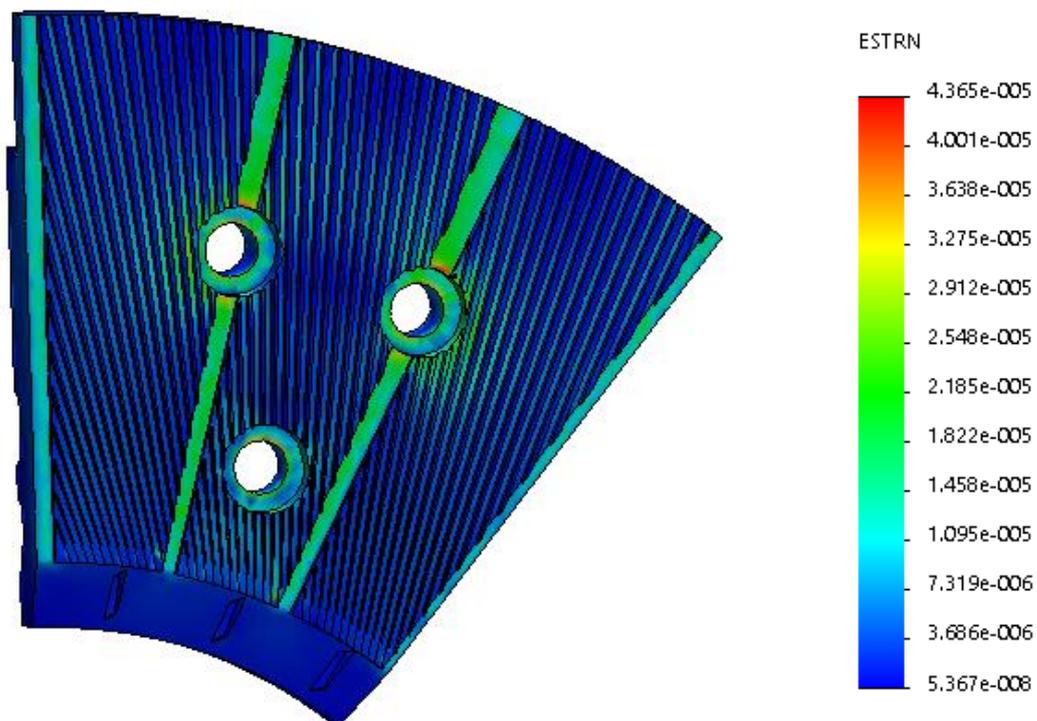


Figure III.16 : Déformation statique de segment

Les figures ci-dessus présentent la distribution des contraintes, déplacements et déformations dans un segment sollicité à un chargement externe sous forme d'un couple appliquée sur le système, dans ce cas on a choisis le matériau (**Acier inoxydable chromé**).

- La simulation a fourni la répartition de la contrainte de Von Mises. Cette dernière admet une valeur de  $1.023e + 007 \text{ N/mm}^2$  (MPa) comme contrainte maximale au niveau du segment.
- Les résultats affichés donnent la répartition des déplacements. L'analyse de la figure a montré que le déplacement minimum se situe sur la face où se trouvent les trous de fixations du segment ayant pour valeur de  $1.000e-03$ , pour le déplacement maximum se situe aux extrémités du segment ayant pour valeur de  $3.274e-003$ .
- L'analysé de la déformation justifie l'état de contrainte du segment, tel que la variation de la déformation est compris entre  $5.367e-08$  et  $4.365e-5$ , qui est une déformation aussi minime par rapport aux dimensions du segment.

### III.3.3.3 Matériau (Acier inoxydable corroyé)

#### III.1° Analyse des contraintes

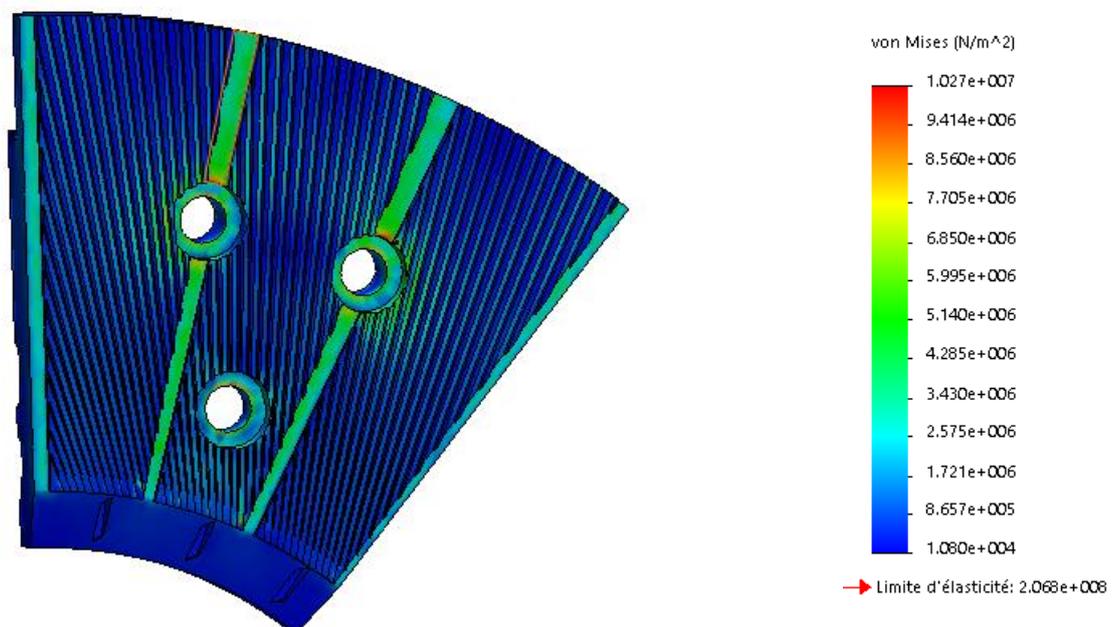


Figure III.17 : Distribution des contraintes entre segment

III 2°. Analyse des déplacements

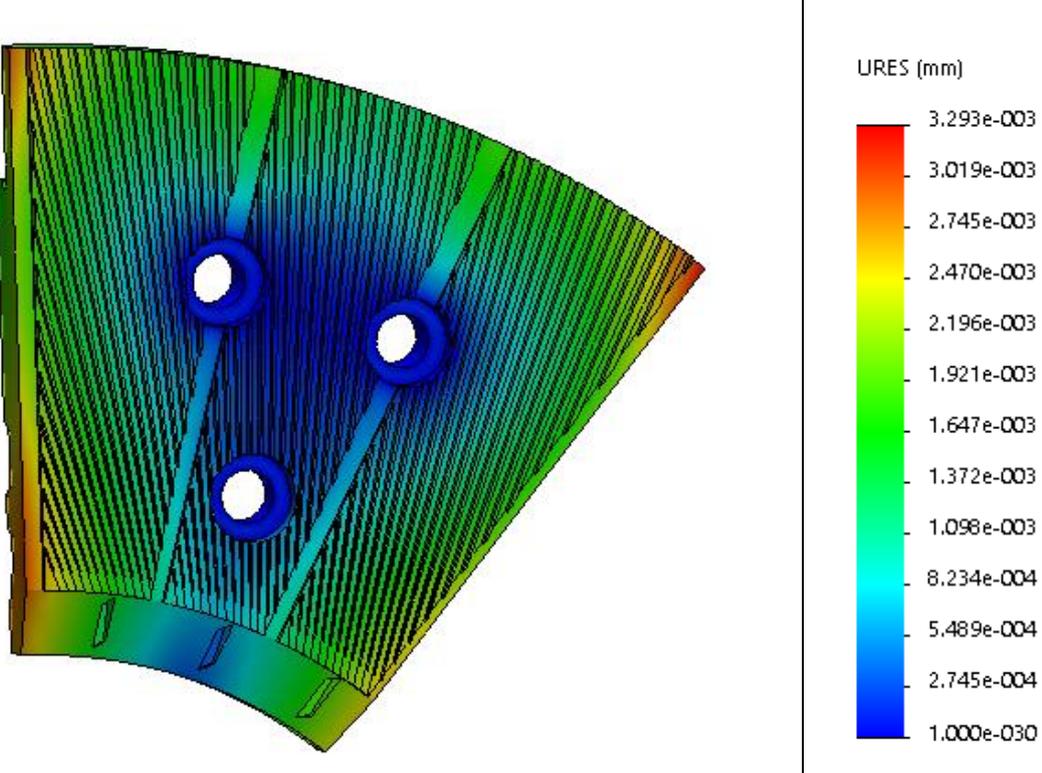


Figure III.18 : Distribution du déplacement statique pour le segment

III 3°. Analyse des déformations

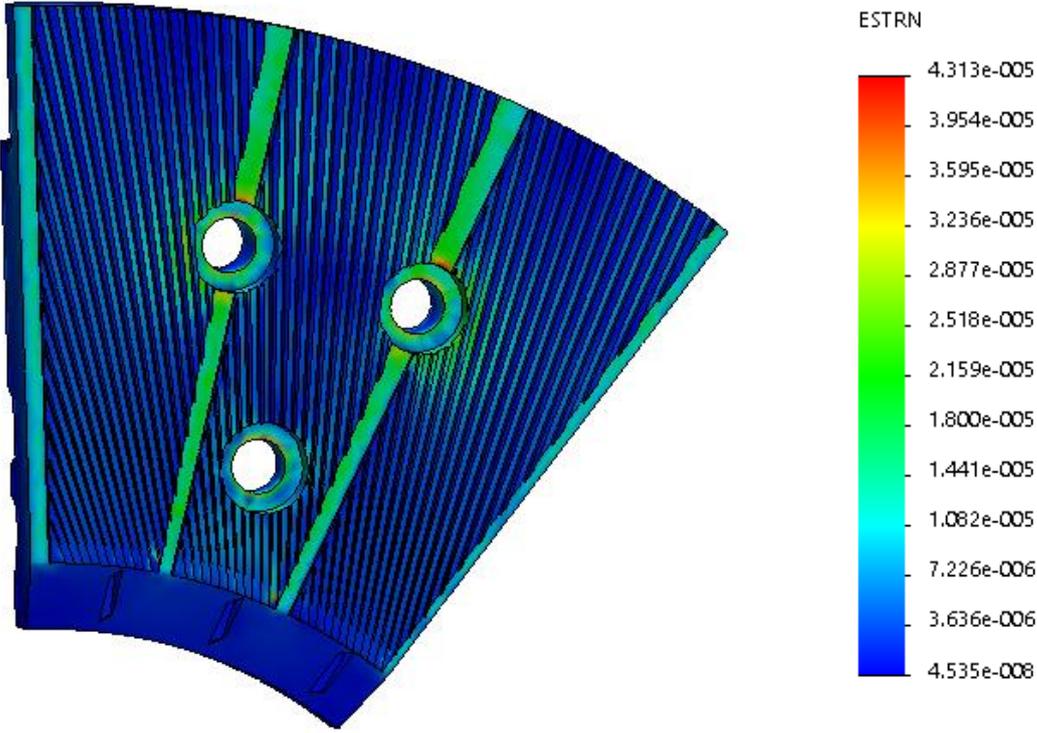


Figure III.19 : Déformation statique de segment

Les figures ci-dessus montrent la distribution des contraintes, déplacements et déformations dans un segment sollicité à un chargement externe sous forme d'un couple appliquée sur le système, dans ce cas on a choisis le matériau (**Acier inoxydable corroyé**).

- La simulation a fourni la répartition de la contrainte de Von Mises. Cette dernière admet une valeur de  $1.027e + 007 \text{ N/mm}^2$  (MPa) comme contrainte maximale au niveau du segment.
- Les résultats affichés donnent la répartition des déplacements. L'analyse de la figure a montré que le déplacement minimum se situe sur la face où se trouvent les trous de fixations du segment ayant pour valeur de  $1.000e-03$ , pour le déplacement maximum se situe aux extrémités du segment ayant pour valeur de  $3.293e-003$ .
- L'analyse de la déformation justifie l'état de contrainte du segment, tel que la variation de la déformation est comprise entre  $4.535e-08$  et  $4.313e-5$ , qui est une déformation aussi minime par rapport aux dimensions du segment.

**Tableau III.4 : Influence du matériau sur le comportement du segment**

	Cont max	Cont min	Def. max	Def. Min	Dep. max	Dep. max
Acier allié inoxydable	1.027e+007	1.132 e +004	4.540 e-005	5.005 e-008	3.467 e-003	1.000 e-030
Acier inoxydable chromé	1.023e +007	1.258 e +004	4.365 e-005	5367 e-008	3.274 e-003	1.000 e-030
Acier inoxydable corroyé	1.027e+007	1.080 e +004	4.313 e-005	4.535 e-008	3.293 e-003	1.000 e-030

#### III.3.4 Segment avec rainure "V" :

D'après les résultats obtenus dans le **Tableau III.4** on remarque que le matériau donnant meilleurs résultats est (**Acier inoxydable corroyé**), Parce qu'il supporte moins de déformation parmi les trois matériaux choisis.

Pour cette deuxième étape de la simulation on a changé la forme de la rainure en "V".

IV.1° Analyse des contraintes (Acier inoxydable corroyé) en «V» .

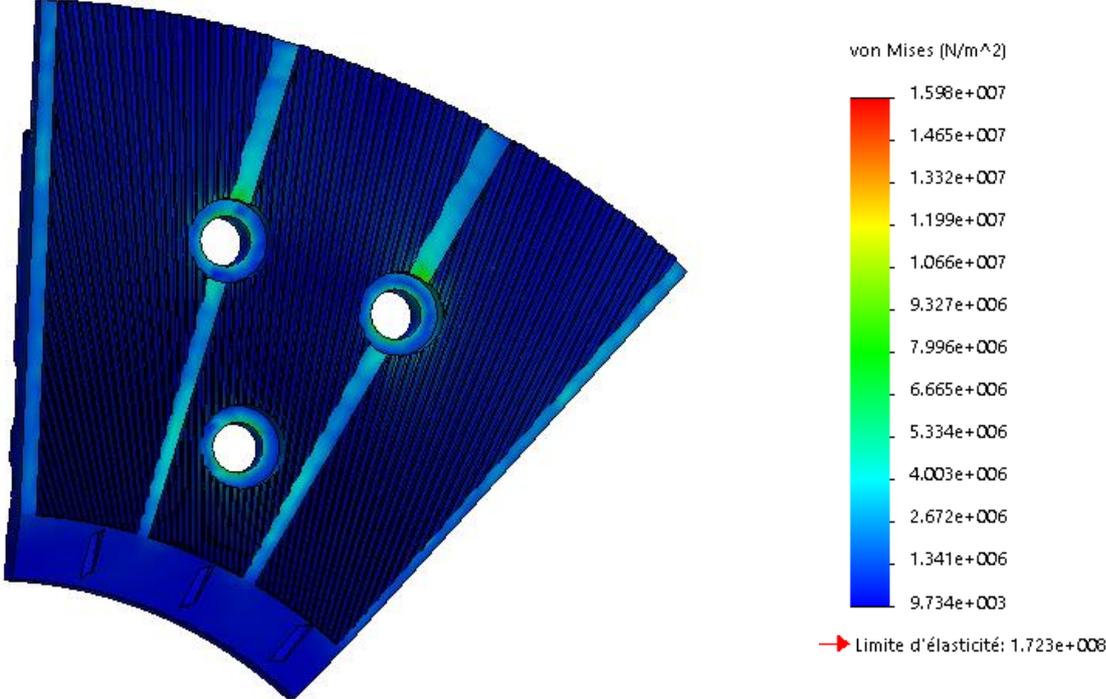


Figure III.18 : Distribution des contraintes entre segment

IV2°. Analyse des déplacements

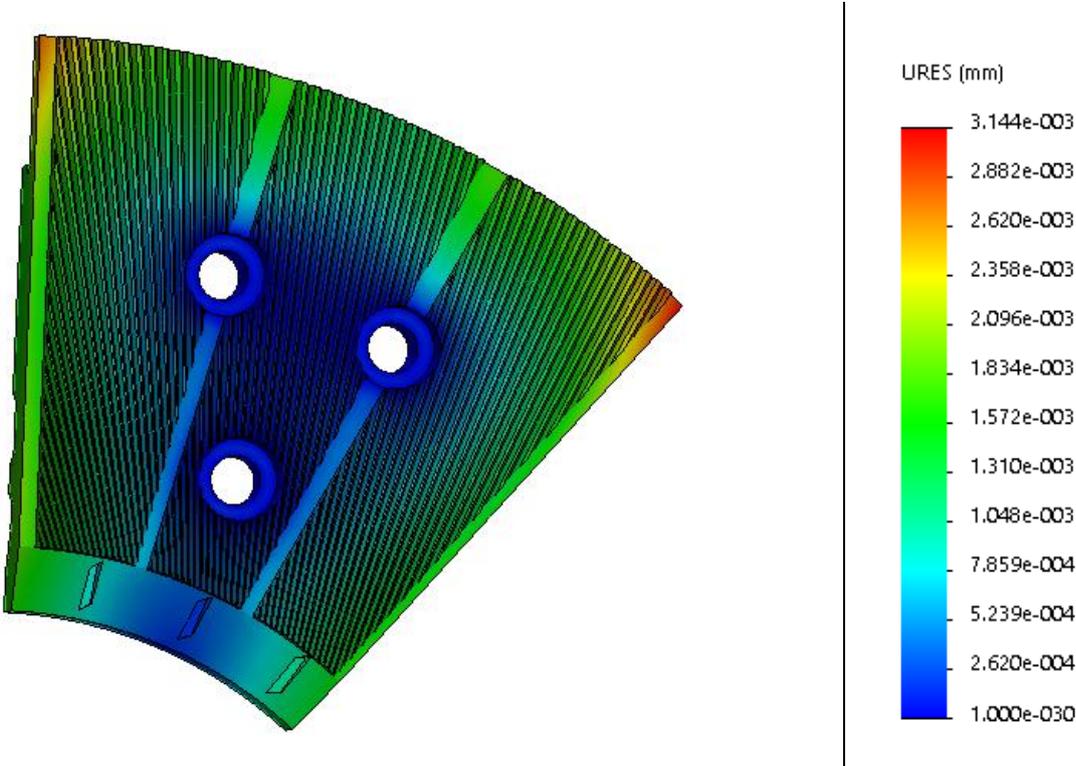


Figure III.19 : Distribution du déplacement statique pour le segment

IV.3°. Analyse des déformations

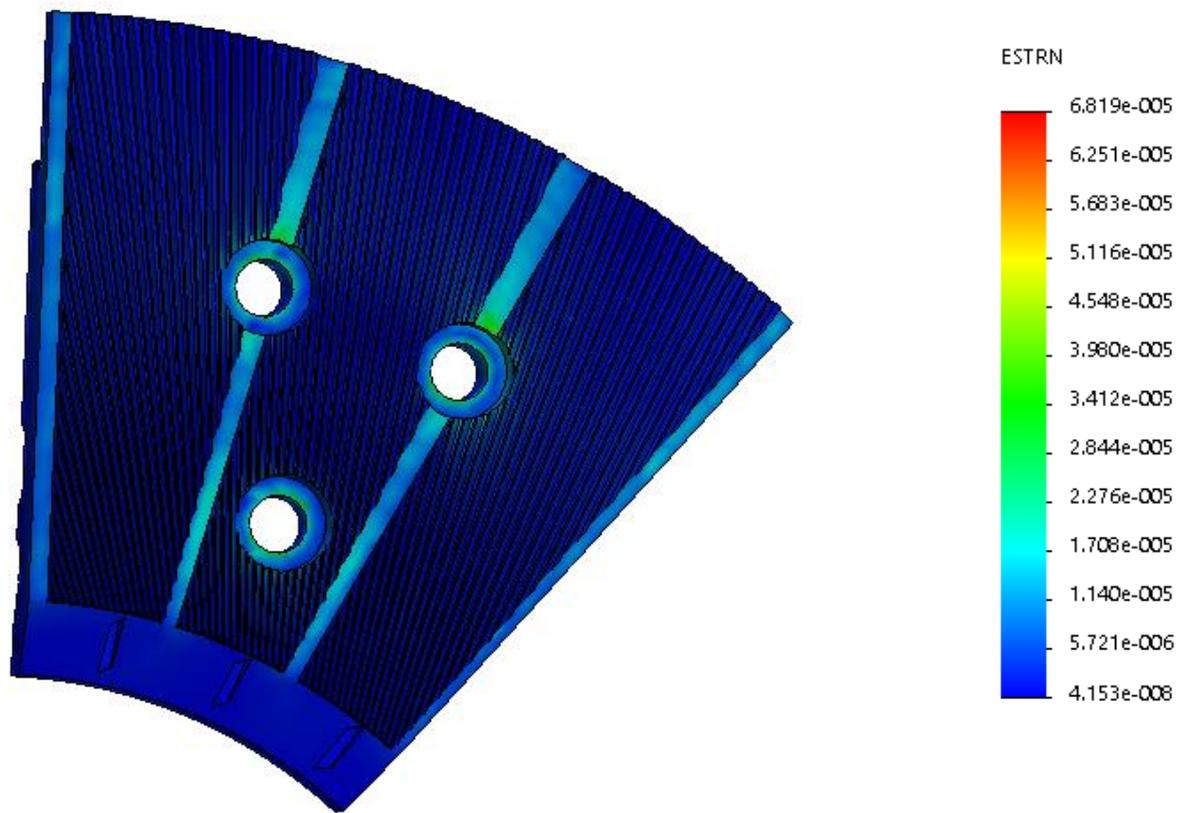


Figure III.20 : Distribution des contraintes entre segment

On remarque que la déformation maximale est  $6.819e-05$ , donc elle plus important que celle de la forme en "U", et par conséquent on peut que conclure que le choix de la rainure sera porté sur la forme "U" parmi le tableau suivant :

Tableau III.5 : Influence de la forme des rainures sur le comportement du segment

Acier inoxydable corroyé						
	Cont max	Cont min	Def. max	Def. Min	Dep. max	Dep. Min
Rainure en " U "	1.020e +007	9.494 e +003	4.365 e-005	5367 e-008	3.274 e-003	1.000 e-030
Rainure en " V "	1.598 e +007	9.734e +003	6.819 e-005	4.153 e-008	3.144 e-003	1.000 e-030

**III.4 Conclusion**

La simulation numérique est devenue un outil indispensable pour mieux comprendre, mieux concevoir et mieux agir. Dans notre travail, vu la difficulté de mailler l'ensemble composé du disque porteur et les neuf segments, on a opté pour la solution qui est d'isoler et mailler un seul segment en prenant en compte bien sur les sollicitations imposées et on variant le matériau du segment ainsi que la forme des rainures.

Par ailleurs les résultats trouvés confirment que la résistance de cet élément soumis à différentes sollicitations imposées est donnée pour l'acier inoxydable corroyé et la forme en "U". Vu l'insuffisance des moyennes informatiques, nous n'avons pas simulé l'ensemble de notre système.

# Conclusion Générale

L'objet principal de ce travail est l'étude et conception de l'organe effecteur d'une machine de fabrication de la pâte à papier. Dans la première partie, nous avons mentionné quelques généralités sur fabrication du papier et les divers types de machines qui existent dans le domaine industriel. Cela est suivi de l'étude du principe du raffinage dans l'industrie de la fabrication du papier. Il s'est avéré que la documentation est quasiment inexistante pour ce genre de machine, à cause de la grande concurrence qui existe entre les différents fabricants de ce type de machines : chinois, américains ou européens. Il nous a fallu beaucoup de recherches sans résultats satisfaisants.

La dernière étape du travail est consacrée à la simulation numérique sous environnement de SolidWorks du comportement mécanique de l'organe effecteur à savoir le disque d'une machine à raffiner la pulpe de bois. A cet effet, notre choix s'est porté sur une machine dédiée au procédé mécanique du raffinage de la pulpe de bois du fabricant PARSON.

Le centre d'intérêt étant le disque, fait l'objet d'une modélisation géométrique dans l'environnement CAO de SolidWorks suivi d'une analyse statique en environnement IAO sous SolidWorks simulation en vue de déterminer la distribution des contraintes, déformations et déplacement on variant la nature du matériau du segment ainsi que la forme des rainures.

Les résultats obtenus, nous ont permis d'établir un choix du matériau et la forme des rainures.

En ce qui concerne la modélisation du disque et à cause des contraintes de fabrication il est plus adapté à le réaliser la partie outil en plusieurs segments.

Les perspectives des travaux qui peuvent être menées dans le même axe de ce travail :

- Déterminer une modélisation mathématique du phénomène hydrodynamique du processus de raffinage du papier.

- Réaliser la simulation avec un logiciel plus adapté pour toutes les entités à savoir le disque porteur ainsi que l'ensemble total des segments.

## Références

- [1] Sarah Cantavalle « l'histoire du papier : des origines à aujourd'hui »  
Avr 05, 2019
- [2] K.Niskanen : papier physics.fapet oy, 1998.
- [3] J.R. Ista et E.L. Raekelboom : Etude biom trique, chimique et papeti re de quelques essences feuillues. R gisseur de la Donation Royale, Bruxelles, 1970
- [4] DE CHOUDENS (C.) et VALETTE (P.). – Le bois, la pâte, le papier. 199 p. 1992. Centre Technique de l'Industrie des papiers, cartons et celluloses.
- [5] PICHON (M.), MURATORE (E.) et GUILLET (F.). – Energie et environnement dans l'industrie *papetière*. 168 p. 1996. Centre Technique de l'Industrie des papiers, cartons et celluloses.
- [6] LEASK (R.A.). – Pulpa and Paper Manufacture. Plusieurs volumes traitant des principes de fabrication des pâtes et des papiers. Troi- sième édition. 1987. Joint Textbook Commit- tee of the Palper Industry, CPPA.
- [7] Valette P., De Choudens C., (1989): Le bois, la pâte, le papier. Centre technique du papier, deuxième Edition
- [8] T. Kang et H. Paulapuro : Characterization of chemical pulp fines. Tappi Journal, 5(2) :25 28, 2006.
- [9] DENCE (C.W.) et REEVE (D.W.). – *Pulp bleaching : Principles and Practice*. 868 p. 1996. Tappi Press, Technology Park.
- [10] Double disque raffineur de chine, liste de produits double disque raffineur de chine sur le site Fr. Made in china. Com.
- [11] Vena, P.F, Mise en pâte thermomécanique, mise en pâte chimio-thermomécanique et mise en pâte bio-thermomécanique de la bugweed et du Pinus patula.

- [12] Lumiainen, J, Raffinage de la pâte chimique, Science et technologie de la fabrication du papier, Partie 1 de la fabrication du papier, Préparation du papier et extrémité humide, Livre 8, Fapet Oy, H. Paulapuro (Ed.), Gummerus Printing, Jyväskylä, Finlande, 2000, 87-121 .
- [14] SUNDHOLM J. (1999) Mechanical Pulping, Edition Fapet Oy, 427 p.
- [15] Björkman, M, Numerical Modelling of flow in Refiner (2010), Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden and Innventia AB, Stockholm.
- [16] [https:// Parason-refiner-plate-for-pulp-mills.docx](https://Parason-refiner-plate-for-pulp-mills.docx)
- [17] Lumiainen, J, Raffinage de la pâte chimique, Science et technologie de la fabrication du papier, Livre 8, Fapet Oy, H. Paulapuro (Ed.), Gummerus Printing, Jyväskylä, Finlande, 2000, 87-121 .
- [18] « Les multiples usages du papier » Jacques Silvy, Professeur Honoraire des Universités (Novembre 2015)
- [19] Mécanique des fluides 2 ème édition, Sakir Amiroudiene, Jean-Luc Battaglia.
- [20] Cours et Travaux Dirigés de mécanique des fluides, USTO-MB, 2016
- [21] ULB – Faculté des Sciences – Département de Physique Sébastien Verkercke, Sébastien Dechamps et Renaud Gaban.
- [22] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles  
« Industrie papetière » Décembre 2001. p.395
- [23]. Cordebois, 2003] J-P. CORDEBOIS, « Fabrication par usinage »,
- [24] <https://parason.com/wp-content/uploads/2019/11/Parason-refiner-plate-for-pulp-mills.pdf>

## ملخص

التكرير، في مجال صناعة الورق ، هو نوع من المعالجة الميكانيكية لب الورق من أجل الحصول على الماء أو الرجفان أو قطع الألياف. حسب نوع المصفاة المستخدمة. في هذا العمل تمت دراسة عملية التكرير من خلال التركيز على مساهمة أولى لتصميم القرص عنصر المستجيب (العضو) لمكرر اللب وهو قرص التكرير. تم إجراء عمليات محاكاة و المكرر باستخدام برنامج **Solid Works** الكلمات المفتاحية: اللب، التنقية،الياف ،قرص التكرير.

## Résumé

Le raffinage, dans le domaine de la papeterie, est un type de traitement mécanique de la pâte à papier en vue d'obtenir l'hydratation, la fibrillation ou la coupe des fibres. Selon le type de raffineur utilisé. Dans ce travail on a étudié le procédé de raffinage en se concentrant sur l'élément (l'organe) effecteur d'un raffineur de pâte à papier à savoir le disque de raffinage. Des simulations et une première contribution de conception du disque de raffinage ont été effectués avec le logiciel Solid Works

Mots clés : Pâte à papier, fibres, raffinage, disque de raffineur.

## Abstract

Refining, in the field of papermaking, is a type of mechanical treatment of paper pulp in order to obtain hydration, fibrillation or cutting of fibers. Depending on the type of refiner used. In this work the refining process has been studied by focusing on the effector element (organ) of a pulp refiner namely the refining disk. Refining disk simulations and a first contribution design were performed with Solid Works software.

Keywords: Pulp, fibers, refining, refiner disc.