

LISTE DES UNITES

- °C : degré Celsius
- cm : centimètre
- daN/m : décanewton par mètre
- dB : décibel
- g/cm³ : gramme par centimètre cube
- g/m² : gramme par mètre carré
- h : heure
- J : Joule
- kg : kilogramme
- kg/cm² : kilogramme par centimètre carré
- kg/m³ : kilogramme par mètre cube
- kJ : kilojoule
- kn/m : kilonewton par mètre
- mm : millimètre
- MPa : mégapascal
- N : Newton
- nm : nanomètre
- t/m³ : tonne par mètre cube
- tr : tour
- W/mK : watt par mètre Kelvin

LISTE ET NOMENCLATURES DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau n° 1 : Extrait de la répartition des déchets d'Antananarivo..... | 08 |
| Tableau n° 2 : Teneur en cellulose de quelques espèces végétales..... | 12 |
| Tableau n° 3 : Les variations du carton..... | 15 |
| Tableau n° 4 : Masse volumique du matériau..... | 28 |
| Tableau n° 5 : Capacité d'absorption du matériau..... | 29 |
| Tableau n° 6 : Résistance à la compression du matériau..... | 30 |
| Tableau n° 7 : Résistance au cisaillement du matériau..... | 31 |
| Tableau n° 8 : Désignation des éléments de la presse..... | 36 |

LISTES ET NOMENCLATURES DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Triage des déchets..... | 03 |
| Figure 2 : Utilisation du papier recyclé comme matériau de construction..... | 05 |
| Figure 3 : Briquettes en papier recyclé..... | 06 |
| Figure 4: Structure de la cellulose..... | 12 |
| Figure 5: Déchets de papier-carton..... | 13 |
| Figure 6: Classification des liants..... | 17 |
| Figure 7 : Processus de fabrication de matériau à base de papier-carton..... | 26 |
| Figure 8 : Courbe de la conductivité thermique du matériau..... | 28 |
| Figure 9 : Courbe de la résistivité thermique du matériau..... | 29 |
| Figure 10 : Analyse des forces extérieures..... | 37 |
| Figure 11 : Démoulage de la presse initiale..... | 39 |
| Figure 12 : Démoulage de la presse finale..... | 44 |

LISTE ET NOMENCLATURES DES PHOTOS

| | |
|--|----|
| Photo n°1 : Mélangeur..... | 20 |
| Photo n°2 : Broyage de la pâte..... | 21 |
| Photo n°3 : Type de moule..... | 24 |
| Photo n° 4 : Vue d'ensemble de la presse initiale..... | 34 |
| Photo n° 5 : Schéma du moule..... | 43 |
| Photo n° 6 : Fraiseuse..... | 43 |
| Photo n° 7 : Vue d'ensemble de la presse finale..... | 45 |

Introduction

Générale

Le succès de l'économie des pays développés résulte parfois de sa bonne gestion de ressources. Ces ressources peuvent être de différentes natures : minières, forestières, pétrolières ou même humaines. Mais il existe également un secteur que l'on néglige alors que cela constitue une grande ressource : le déchet. Le déchet est l'un des grands facteurs de l'économie circulaire qui a pour principe de prolonger au maximum la durée de vie d'un matériau dans l'économie.

Ainsi, ce sujet intitulé : « **Valorisation de déchets cellulosiques en matériau de construction - Amélioration d'une presse multifonction à double effet** » a pour objectif de concevoir de manière performante et favorable un matériau de construction à base de déchets de papier.

La société malagasy génère une grande quantité de déchets qui sont actuellement récupérables et qui peuvent être de nouveau utilisés comme matières premières. La gestion de ces déchets reste encore au deuxième plan alors qu'une très intéressante possibilité est à notre portée. Cette réflexion nous a amené à définir le présent sujet et à débuter le travail.

Pour cela, les grandes lignes à suivre sont les suivantes :

- D'abord quelques généralités seront nécessaires pour mieux s'intégrer au contexte et approcher le sujet ainsi que justifier l'idée et faire l'étude des matières ;
- Ensuite vient l'étude de la valorisation par l'explication des procédés de fabrication du matériau et l'interprétation des résultats antérieurs sur les caractéristiques du nouveau matériau ;
- Et enfin, en tenant compte de ces résultats, l'apport d'une amélioration d'une presse sera proposé en troisième partie.

Première partie :

GENERALITES

Chapitre I : Contexte et approche du sujet

Une des méthodes pratiques pour le développement du pays est la valorisation des ressources existantes, sans omettre la transformation des produits naturels tels que l'eau, l'air, les ressources minières et forestières. Cela a pour objectif de mettre en place une politique de gestion des déchets afin de minimiser les comportements non respectueux de l'environnement, tout en visant l'intérêt habituel de la population.

I. Comprendre et valoriser un déchet [02] [05] [06]

Dans le contexte de l'approvisionnement en matières premières, il y a un enjeu environnemental, social et aussi économique critique à consommer aussi peu de ressources que possible. Il s'agit de réduire l'utilisation de ressources pour une même production, de produire des biens qui durent le plus longtemps possible, et qui en fin de vie seront recyclables dans des cycles ultérieurs.

De multiples choix s'imposent sur cette gestion des déchets, et il est très important de prendre une décision pour un déchet donné. Cette gestion des déchets est basée sur quatre principes :

- Réduction des déchets à la source
- Optimisation des collectes
- Favorisation du recyclage
- Et surtout la recherche du mode de traitement le plus respectueux de l'environnement pour les déchets ultimes.

La valorisation de déchet est actuellement un acte très répandu partout dans le monde. Réduire, réutiliser, recycler : l'économie circulaire est un chantier clé de la croissance verte. La transition vers l'économie circulaire porte en elle de multiples dynamiques de progrès : création d'emploi et de savoir-faire locaux et localisables, préservation de l'environnement et lutte contre les gaspillages, renforcement du lien social.



Figure 1 : Triage des déchets

Source : Google

II. Notions de valorisation

1. Définitions [06]

Valoriser signifie mettre en valeur, attribuer une importance ou encore remonter quelque chose pour l'améliorer.

Le terme « valorisation » est trop vague pour être défini. En fait la valorisation englobe la récupération, le recyclage, le réemploi... et il est important de différencier ces termes afin d'éviter la confusion.

- Récupération

C'est le fait de sortir le déchet de son circuit traditionnel et de traitement.

- Recyclage

Cela consiste à la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu ; il est assez coûteux en termes de transport et de transformation.

- Réemploi

C'est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. Autrement dit, réemployer un objet c'est prolonger sa durée de vie en l'état d'un produit ou d'un matériau récupéré.

- Réutilisation

Elle consiste à réutiliser un déchet pour un usage différent de son premier emploi, ou à faire à partir d'un déchet un autre produit que celui qui a donné naissance.

En tout cas, on obtient ainsi une nouvelle ressource.

2. Mode de valorisation [03] [05] [06] [07]

Comme nous l'avons prédéfini ci-dessus, cette valorisation consiste dans le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux utilisables ou de l'énergie.

Plus indirectement, les déchets sont le reflet de la société de consommation et de l'exploitation par celle-ci des ressources naturelles et énergétiques. Leur traitement dans un but de valorisation est un moyen de compenser l'épuisement de ces ressources et les dégradations liées à leur exploitation.

Ainsi, à part l'élimination directe des déchets non recyclables (incinération), deux cas sont à voir : la valorisation en matière et la valorisation en énergie.

a. *Valorisation en matière*

Ce type de valorisation consiste à utiliser les éléments constitutifs du déchet pour avoir de nouvelles matières identiques ou non à celui du départ. Le déchet ou sous-produit « en état » peut donc être récupéré en tant que matières premières ou bien réutilisé comme matières premières de substitution. Les traitements peuvent être simples, ou bien complexes, selon les faisabilités et le domaine voulu.

Pour les déchets de papier, de nombreuses études ont été déjà faites concernant leur valorisation en matière. Plus précisément la récupération de ces déchets ont permis leur usage en matériaux de construction ou en matériaux isolants.



Figure 2 : Utilisation du papier recyclé comme matériau de construction

Source : Google

b. Valorisation énergétique

La deuxième possibilité de valorisation est la valorisation énergétique qui consiste à utiliser les déchets comme source d'énergie. Plusieurs méthodes peuvent s'appliquer à ce domaine comme le compostage, la récupération du biogaz produit dans les décharges ou la méthanisation organique des déchets.

En prenant l'exemple précédent, les déchets cellulosiques peuvent aussi être valorisés en produisant des briquettes de papiers qui sont des sources d'énergie calorifique intéressantes.



Figure 3 : Briquettes en papier recyclé (combiné avec du copeau)

Source : Google

III. Idée du travail

1. Position du problème [05] [11]

a. *Les conséquences de l'entassement du déchet*

Les déchets engendrent beaucoup d'impacts négatifs sur notre planète.

- **Sur l'environnement**

Actuellement, la pollution de l'environnement et les dégradations écologiques sont des problèmes primordiaux. Les déchets sont des facteurs graves, par exemple lors de l'eutrophisation des milieux, les intoxications, étouffements ou blessures causés à la faune lorsqu'elle absorbe ou s'accroche aux déchets.

Les déchets entraînent aussi une dégradation du cadre de vie causée par les nuisances visuelles (sacs en plastique accrochés dans les arbres, macro-déchets sur les plages) ou olfactives (matière organique en décomposition, combustion de matières chimiques).

- **Sur l'économie**

L'accumulation des déchets engendre un impact négatif sur l'économie dû à la perte de l'attractivité d'un site suite à cette dégradation du cadre de vie et/ou à la diminution de sa productivité, dans le cas d'une zone de pêche ou d'un terrain agricole. A cela peuvent s'ajouter les surcoûts causés par la dépollution, dans le cas de la potabilisation de l'eau par exemple, et par les conséquences sociétales des intoxications : traitements médicaux, arrêts de travail...

- **Sur le plan sanitaire**

Il y a aussi un risque sanitaire suite aux blessures (tessons de verres, seringues...), aux intoxications (pollution des eaux, de l'air...) et aux maladies (prolifération bactérienne, infestation de parasites, de rats...).

Afin de réduire ces dégâts, il faudrait donc penser à la gestion des déchets.

b. La gestion des déchets à Madagascar [05] [16]

Depuis plusieurs années, la gestion des déchets constitue l'une des principales problématiques à Madagascar. Les déchets s'accumulent presque dans les grandes villes, et les pouvoirs publics sont confrontés au problème de ramassage.

Comme l'a dit le Directeur Général de DHL Madagascar, M. Mamy Rakotondraibe, «*Il est temps pour nous de réfléchir sur ce que nous pouvons faire de nos ordures pour qu'ils nous rapportent de l'argent, comme c'est le cas dans d'autres pays où les déchets sont des richesses*».

Notons par exemple que sur les 1 600m³ d'ordures réparties dans près de 350 bennes, 10% des déchets produits dans la capitale sont constitués de papiers. La gestion de ces déchets de papier reste surtout dans le domaine du recyclage en papiers journaux et en papiers toilettes, si d'autres sont incinérés. Ce n'est que dans les cinq dernières années que de nouvelles entreprises travaillant sur la valorisation de ces déchets de papiers et cartons pour obtenir des matériaux apparaissent, mais elles sont encore peu nombreuses.

Voici quelques données relatives aux déchets générés par la population de la Commune Urbaine d' Antananarivo :

Tableau n° 1 : Extrait de la répartition des déchets d'Antananarivo

| | |
|--|---------------------------------|
| Quantité de déchets par habitant | 0,6kg |
| par jour | |
| Quantité totale de déchets générés | 870 t (soit 320 000t/an) |
| par jour | |
| Proportion de déchets | |
| de papier-cartons | 10% |
| Quantité de déchets de papier-cartons | 87t (soit 32 000t/an) |
| par jour | |

Source : Service Autonome de la Maintenance de la ville d'Antananarivo (SAMVA), 2014

Il reste donc une ressource exploitable non valorisée d'environ 25 000 tonnes de papier si d'autres sont recyclés ou incinérés et cela, seulement à l'échelle d'Antananarivo.

C'est à partir de ces constats et observations que la réflexion conduisant à cette recherche s'est mise en place.

2. Choix de la matière [01]

Mais pourquoi alors avoir choisi le papier comme échantillon de déchet à étudier?

Le papier-carton est un matériau présent dans tous les secteurs d'activité et de consommation des sociétés développées. Notre culture de l'écrit en a fait un support d'information et de connaissance essentiel. Le commerce international implique le papier-carton comme premier matériau de conditionnement.

En plus, cette matière est facilement trouvable, et sa valorisation en tant que matériau n'a été étudiée que par peu d'étudiants jusqu'à présent.

Effectivement, en prenant quelques minutes et faisant le test : compter autour de soi les objets en papier (livres, feuilles, sacs, murs, post-it) le papier est omniprésent dans notre vie actuelle.

Si l'on parle depuis presque 60 ans d'un hypothétique « zéro papier » il faut rester pragmatique et comprendre que l'on ne peut pas, à court terme, se passer du papier. Il va continuer à coexister avec le numérique dans nos pays sous-développés et il reste aujourd'hui le premier support de communication dans le monde.

3. Démarche du travail et résultats attendus [01]

La justification de la démarche de cette étude ne se limite pas seulement à trouver une ressource exploitable. En effet, pour que cette recherche trouve un sens, il faut qu'il y ait un besoin. Pour répondre à cette question, nous devons commencer par comprendre ce qu'est cette ressource, quels sont ses points forts et points faibles et comment pourrions-nous en tirer profit dans le but d'améliorer l'existant.

Si le choix de la matière première était défini, il reste à concevoir un moyen d'introduire des déchets papiers dans le processus de fabrication d'un matériau

utilisable dans le secteur du bâtiment, un domaine qui, actuellement, est mis en amont. Si on ne parle que de la situation à Madagascar, on y trouve beaucoup de constructions.

Dans un premier temps, l'usage du béton de ciment était évident. En effet, ce matériau composite alliant des granulats (sables et gravillons) mélangés à un liant hydraulique (ciment) est aujourd'hui utilisé massivement dans le secteur de la construction et possède une énorme dette carbone en raison de son processus de fabrication.

Ce processus est réalisé en six étapes distinctes : extraction, homogénéisation, séchage, cuisson, refroidissement, et broyage.

Mais c'est l'étape de cuisson qui est extrêmement consommatrice d'énergie. Dans un document publié sur son site internet, Ciments-calcia explique :

« L'énergie calorifique consommée est considérable : 3200 à 4200 KJ (l'équivalent de 100 kg de charbon) par tonne de clinker produit. ». Le clinker doit maintenant de nouveau être broyé et conditionné pour être vendu comme ciment.

En prenant en compte toute la vie du matériau (production, mise en œuvre, recyclage ...), l'énergie grise du ciment est d'environ 900 kWh/m³.

C'est à partir de cela que l'idée de formulation d'un nouveau matériau est apparue.

L'exploitation du travail a commencé par l'ajout de cellulose (papier) dans une formulation de béton. Au fil des recherches, on repère l'existence d'un matériau approchant.

Ensuite, on se propose à l'apport d'une technique innovante pour ne pas reproduire tout simplement ce que les autres ont fait. Ce moyen aura un impact au niveau de la presse.

Chapitre II : Analyse des matières premières

I. Déchets cellulosiques

1. Définition [01] [07] [18]

Les déchets cellulosiques sont des déchets dont les matières sont constituées de fibres de cellulose. Ces fibres de cellulose sont le principal constituant du bois et plus globalement des végétaux ; c'est la matière première organique la plus abondante sur terre, totalisant plus de 50% de la biomasse.

Les déchets cellulosiques sont donc des résidus de matières provenant d'un corps végétal transformé ou non, notamment le bois.

2. La cellulose [05] [07]

a. Définition

La cellulose est une matière constitutive de la membrane cellulaire des végétaux $(C_6H_{10}O_5)_n$. Elle est formée par les plantes à partir du carbone de l'atmosphère (gaz carbonique) et correspond à une polymérisation de glucose.

La cellulose est le constituant majoritaire du bois, à part l'hémicellulose et la lignine, et celui presque unique du coton et des fibres textiles du type lin, chanvre, jute et ramie.

Elle est insoluble et très résistante aux dégradations physiques et chimiques. Toutefois, son extraction est possible, ou bien on lui fait subir des modifications chimiques pour la solubiliser.

b. Structure de la cellulose

La cellulose est constituée par un enchainement de cycles appelés cellobiose, d'une longueur de 1,03 nm.

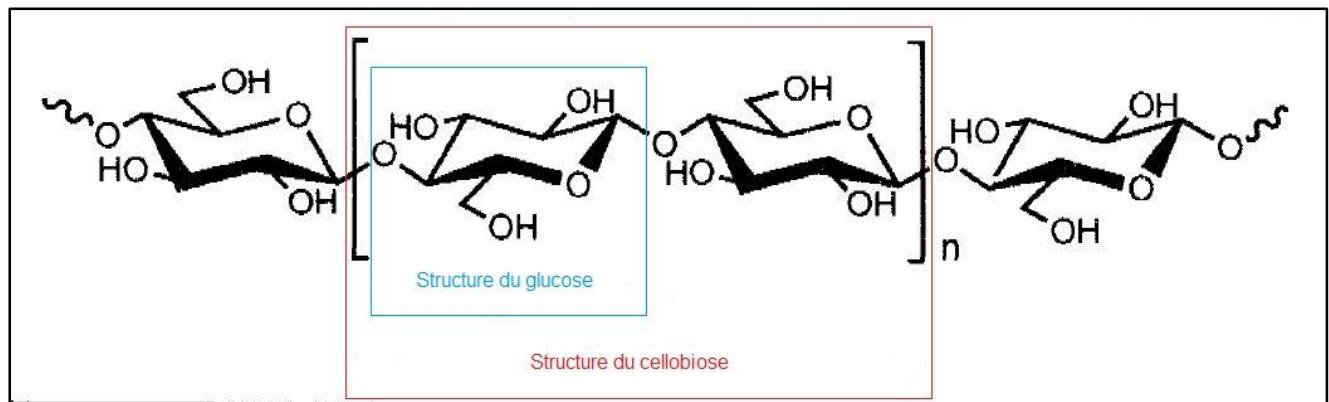


Figure 4: Structure de la cellulose
Source : [07] THIEBAUD Sophie

Les nombreux groupements hydroxyles sont responsables du comportement physico-chimique de la cellulose. Ils sont capables de former deux types de liaisons hydrogènes selon leur position dans l'unité de glucose. Elles existent entre deux fonctions hydroxyles adjacentes présentes dans la même chaîne de cellulose (liaisons intramoléculaires) et entre celles issues de deux chaînes adjacentes (liaisons intermoléculaires). Ces dernières sont responsables de la formation des micros fibrilles. Celles-ci sont imbriquées dans une matrice d'hémicelluloses et de lignine pour constituer la paroi cellulaire.

c. Teneur en cellulose de quelques végétaux

Le degré de polymérisation n varie suivant l'origine des fibres et le type de procédés d'isolement. Par exemple, il est supérieur à 3000 pour le coton et égal à environ 1500 pour les pâtes de bois obtenues avec le minimum de dégradation. Ce polymère compose la structure principale de nombreux végétaux avec une teneur variant de 15% à 99%.

Tableau n° 2 : Teneur en cellulose de quelques espèces végétales

| Espèce végétale | Teneur en cellulose (%) |
|-----------------|-------------------------|
| Maïs | 17 à 20 |
| Bambou | 40 à 50 |
| Lin | 70 à 75 |
| Coton | 95 à 99 |

Source : [05] RANDRIAMAHEFA Misa

3. Les déchets à valoriser [02] [05] [12]

Nombreux sont les déchets cellulosiques, mais les principaux en sont les déchets de papiers et les déchets de bois proprement dit.

On peut distinguer :

- Les déchets de papiers et cartons
- Les sciures et copeaux de bois
- Les déchets de matières végétales riches en cellulose ou biomasse ligno-cellulosique (exemples : noyaux de datte, ...)

Cet ouvrage va surtout se focaliser sur les papeteries et cartonneries.

Les déchets de papiers et cartons récupérables et recyclables peuvent être classés en plusieurs catégories :

- **sortes ordinaires** comprenant les caisses cartons de récupération, mêlés (mélange de diverses sortes de papier et de cartons contenant moins de 40% de journaux et illustrés) ...
- **sortes moyennes** comprenant les journaux, magazines, papiers de bureau, les archives en couleur...
- **sortes supérieures** comprenant les rognures et chutes des industries de transformation du papier et des imprimeries
- **sortes kraft** regroupant les papiers krafts
- **sortes spéciales** comprenant les emballages ménagères récupérés (EMR) et les Emballages pour Liquide alimentaire et Assimilés (ELA)

Dans les pays développés, ces types de déchets sont déjà triés dans différents bacs, mais à Madagascar le triage pourrait se faire au moment de la collecte.



Figure 5: Déchets de papier-carton
Source : Google

II. Description du papier-carton

1. Composition [02] [05]

La composition du papier et celle du carton sont identiques : ce sont tous deux des matériaux fibreux. Le grammage de ces matériaux (en g/m²) permet de définir plus précisément le terme - « papier » ou « carton » - à employer. Le terme « papier » sera réservé aux matériaux fibreux à faible grammage. La fibre en question est la fibre de cellulose, principalement extraite du bois.

Mais il y a aussi d'autres composants du papier-carton, à savoir les charges minérales (le kaolin, l'oxyde de Titane, le talc), les adjuvants (l'amidon, les résines synthétiques cationiques, les azurants optiques), et les agents de collage.

2. Structure [05]

- Le papier est caractérisé par sa structure à plusieurs échelles (fibreuse et microscopique).

Il est constitué d'un enchaînement de fibres couchées dans des plans successifs. La cohésion du papier est maintenue grâce à des liaisons hydrogènes qui se créent lors des contacts entre ces fibres.

Par exemple une feuille de papier A4 est formée d'environ 150 000 fibres et les liaisons hydrogènes qui s'y forment lors des contacts de ces fibres entre elles sont de l'ordre de 5 millions.

La rupture de ces liaisons hydrogènes ôte la tenue mécanique du papier, ce qui explique le phénomène lorsque le papier est trempé dans l'eau.

- Etant de même composition que le papier, le carton est essentiellement différencié pour sa rigidité.

La structure du carton varie largement en fonction de son procédé de fabrication qui est faite soit par contre-collage des feuilles de papiers secs à l'aide d'une matière adhésive, soit par la méthode du multi-jet qui consiste en une association de plusieurs pâtes.

La structure du carton dépend donc du papier qui le compose.

Tableau n° 3 : Les variations du carton

| Type de carton | Structure |
|----------------------|---|
| Bas de gamme | Plus légers (225g /m ²), « un jet » |
| Haut de gamme | Masse élevée, « deux jets » ou « trois jets » |
| Duplex | Matériaux composites à « deux jets » |
| Triplex | Trois couches hétérogènes |
| Multiplex | Multicouches hétérogènes (jusqu'à cinq) |

Source : [05] RANDRIAMAHEFA Misa

3. Caractéristiques du papier-carton [05]

a. *Les caractéristiques physiques*

Elles comprennent : le grammage, l'épaisseur, la porosité, l'humidité, la stabilité dimensionnelle, l'opacité et le bouffant.

- **Le grammage** ; il s'agit du premier critère de différenciation à l'intérieur d'une même qualité de papier ou de carton. Il s'exprime en grammes par mètre carré (g/m²).
- **L'épaisseur** se mesure sous légère pression à l'aide de deux disques plats destinés à ignorer les micro-incurvations de surface et s'exprime en micromètres.
- **La porosité Bekk ou perméabilité à l'air** se définit comme le flux d'air à travers un papier. Elle s'exprime en gramme par mètre carré par vingt-quatre heures (g/m²/24h).
- **L'humidité** s'exprime en pourcentage d'eau par rapport au poids du matériau. Le test consiste à peser un échantillon sous atmosphère contrôlée puis à effectuer une deuxième pesée après séchage à l'étuve.
- **La stabilité dimensionnelle** se détermine en mesurant les déformations à différents degrés d'humidité relative.
- **L'opacité** consiste à mesurer la capacité du papier-carton à masquer une impression présente sur un support sous-jacent ou l'atteinte du produit conditionné. En général on mesure la capacité à disperser la lumière, dans un

rapport exprimé de 1 à 100, le chiffre 100 indique l'écran absolu ou l'absence totale de transparence.

- **Le bouffant** ; il s'agit d'un indice mettant en relation le poids et l'épaisseur du papier. C'est le rapport entre la mesure de 5 feuilles (mesuré ensemble) par grammage.

b. Les caractéristiques mécaniques

Elles comprennent : la rigidité, l'élasticité, et la résistance à la contrainte.

- **La rigidité** est la capacité à résister à la flexion. Pour un grammage donné, la rigidité permet de connaître le comportement à la flexion ou flambage.
- **L'élasticité** est la capacité du matériau à retrouver sa forme originale après avoir subi une élongation ou une compression. La limite d'élasticité correspond à la contrainte maximale applicable sans déformation permanente du matériau.
- **La résistance à la traction** est la mesure de la force nécessaire à appliquer à une bande de papier carton pour la briser et s'exprime en daN/m ou Kn/m.
- **La résistance à la déchirure** est déterminée par la force nécessaire à appliquer pour déchirer un ruban de papier ou carton à partir d'une entaille initiale.

4. Les produits en papier et en carton [02] [05] [12] [16]

a. Les produits en papier

Les produits connexes du papier sont nombreux, à citer :

- **Les papiers d'illustration ou papier « à usages graphiques »** : ils servent en général comme support pour la communication, l'art, la littérature et la culture. Ce type de papier réunit le papier journal, les papiers d'impression et écritures (livres, cahiers, enveloppes...), les papiers à usage bureautique (papier offset, photocopie, dessin, machines à écrire, ...), et les papiers couchés qui ont un aspect particulier (satiné, calandré,...).
- **Les emballages** : ils sont utilisés pour la conservation et la protection d'un produit. Comme les sacs en plastique sont actuellement déconseillés pour

l'environnement, les emballages en papiers ou en cartons sont recommandés.

Ces emballages se présentent sous différentes formes selon leur utilisation.

- **Les papiers d'hygiène** : ceux-ci sont destinés à l'hygiène humaine, pour essuyer, absorber ou encore protéger. Ils sont en général mous et conçus pour usage unique. Les papiers d'hygiène les plus utilisés sont habituellement le papier-toilette, les mouchoirs, les essuie-tout et les serviettes en papier.
- **Les papiers industriels et spéciaux** : ce sont des papiers qui ont des caractéristiques particulièrement différents avec utilisation distinctive. Par exemple dans le domaine judiciaire les papiers utilisés sont spéciaux afin de garantir l'authenticité et l'inviolabilité : les papiers d'identité, les billets d'argent, les chèques ...

b. Les produits en carton

On rencontre plusieurs types de carton dans la vie quotidienne.

- **Les cartons ondulés** : constitués par une ou plusieurs feuilles de papier superposés. On les utilise surtout pour l'emballage et l'emboîtement des produits de taille.
- **Les cartons gris** : c'est le type de carton très utilisé pour le cartonnage habituel. Il est disponible en plusieurs états de surface : gris, une ou deux faces blanches, et une ou deux faces apprêtées pour l'impression.
- **Les cartons bois** : fabriqués à base de pâte de bois, ils sont très rigides avec une surface lisse résistante à l'enfoncement.
- **Les cartons contrecollés** : souvent accolés sur d'autres matières, comme une feuille d'aluminium, ou d'autres surfaces recouvertes de vernis.

III. Les liants [04] [05] [09]

1. Définition

Les liants sont des produits organiques ou minéraux, obtenus naturellement ou à l'aide de méthode purement chimique pour leur synthèse, qui servent à agglomérer en masse solide des particules solides sous forme de poudre ou de granulats.

2. Classification des liants

On distingue deux grandes classes de liants : les liants minéraux et les liants organiques. Les liants ont, selon leur appartenance, des propriétés très différentes : les premiers sont généralement poreux et capillaires, les seconds sont le plus souvent étanches et hydrophobes.

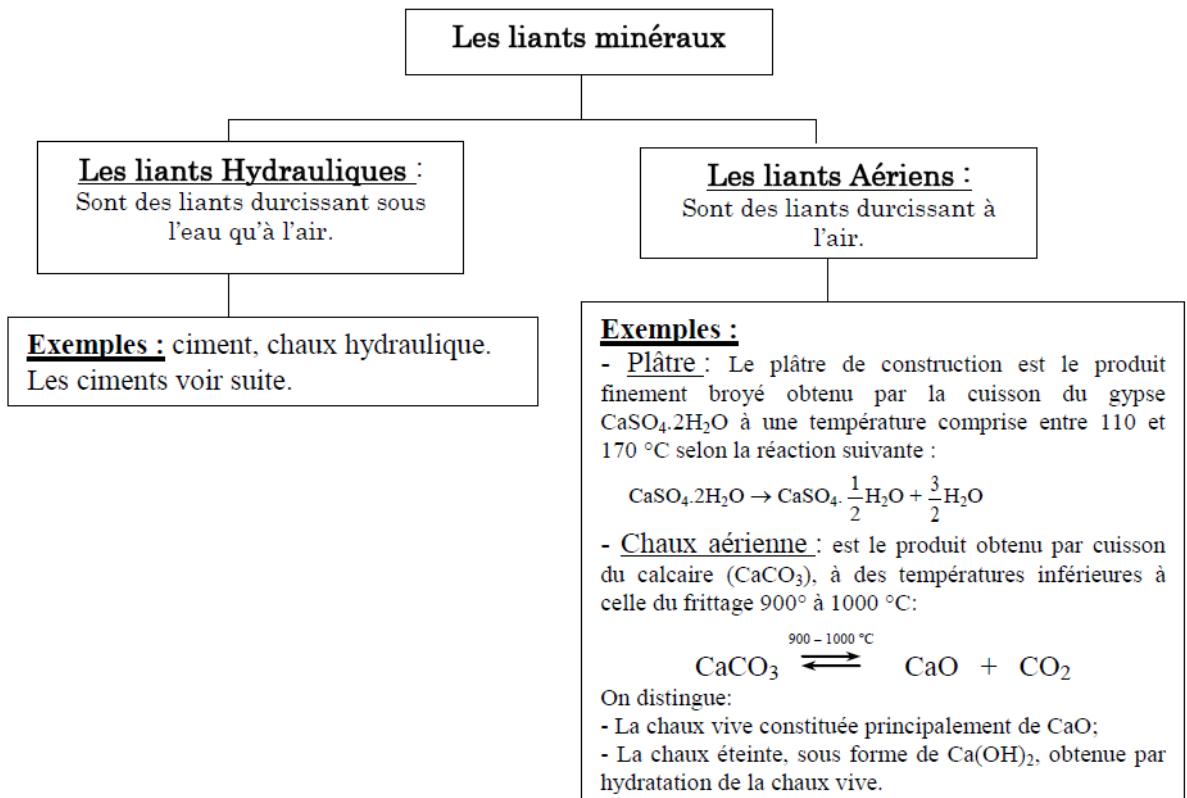


Figure 6: Classification des liants
Source : [09] <http://s3.e-monsite.com/>

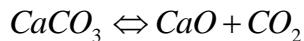
a. Liants minéraux

Les liants minéraux sont généralement obtenus par traitement à haute température de matières minérales, et font prise en présence d'eau. Le carbone ne s'y rencontre que sous la forme oxydée de CO₂ (carbonate). Les liants minéraux sont des matériaux moulus d'une façon très fine (exemple : ciment en poudre).

Selon leur mode de durcissement, ils peuvent être classés en deux familles :

- Les liants aériens qui durcissent à l'air, durcissement dû à une réaction de carbonatation ; on peut citer les chaux aériennes, les plâtres et argiles.

Exemple : La chaux aérienne est le produit obtenu par cuisson du calcaire (CaCO_3), à des températures inférieures à celle du frittage 900°C à 1000°C :



On distingue la chaux vive constituée principalement du CaO et la chaux éteinte sous forme de Ca(OH)_2 , obtenue par hydratation de la chaux vive.

- Les liants hydrauliques qui durcissent en milieux humides ou dans l'eau dû à une réaction d'hydratation de silicates ou d'aluminates : chaux hydrauliques, ciment prompt, ciments (ciment Portland).

b. Liants organiques

Les liants organiques sont synthétisés par des organismes vivants, au départ de matière minérale ou de matière organique préexistante. Leur mode de prise est complexe, et le carbone s'y rencontre principalement sous la liaison $\equiv\text{C}-\text{H}$.

On en distingue :

- Les liants hydrocarbonés : bitumes, goudrons
- Les résines qui sont des polymères organiques d'origine naturelle ou artificielle. La nature et la quantité de résine dans un matériau donné déterminent la résistance de ce matériau. Il existe plusieurs types de résines selon leur nature et propriétés comme les thermodurcissables (l'urée-formol (UF) et le phénol-formol (PF)) ; les colles en émulsion, principalement les colles vinyliques appelées aussi « colle blanche », à base d'acétate de polyvinyle contenant un épaississant et un plastifiant ; et les colles naturelles (les colles fortes, les caséines qui s'emploient à froid ou à chaud, en solution dans l'eau).

C *onclusion de la première partie*

Cette première partie a permis de justifier le sujet, dans le premier chapitre ; en effet la valorisation des déchets est nécessaire dans tous les domaines : environnemental, économique, sanitaire. La valorisation des déchets de papier à Madagascar est intéressante car il en reste encore une quantité considérable qu'on peut exploiter.

Le deuxième chapitre nous a expliqué l'idée du choix de la matière jusqu'au matériau, ainsi que les moyens et techniques innovants à proposer.

Et enfin le troisième chapitre nous informe sur les matières premières utilisées : leur composition et structure. Cela nous renseigne que les déchets de papiers-cartons sont constitués majoritairement de fibres de cellulose. Ces fibres qui feront l'objet du nouveau matériau qu'on entamera dans la partie suivante.

Deuxième partie :

**RESULTATS
ANTERIEURS
SUR LE MATÉRIAU**

Chapitre III : La fabrication du matériau

I. Les matériels utilisés

1. Une balance

La balance est un instrument de mesure utilisé pour peser des éléments, pour déterminer leur masse. Cette masse est exprimée en kg.

Ici, elle est utilisée pour peser les différents composants à mélanger.

2. Un mélangeur

C'est un appareil qui sert à la fois à broyer les papiers et à les mélanger avec l'eau.

Lors des recherches effectuées, nous avons vu une adaptation très efficace comme système de mélangeur. Il est constitué par une perceuse reliée par l'intermédiaire d'un tube cylindrique à un disque circulaire, laquelle est frappée d'évents pour obtenir la forme des pales d'une hélice. Pour obtenir un bon mélange, la vitesse de rotation du mélangeur est de l'ordre de 3000tr/mn.



Photo n°1 : Mélangeur

Source : Auteur

3. Une presse

Pour la compression du mélange on utilise une presse.

Nous avons constaté différentes presses comme les presses hydrauliques ou la presse mécanique.

Mais dans cette étude, nous allons proposer une nouvelle presse nommée presse à double effet dont les caractéristiques et le fonctionnement seront développés dans la troisième partie de l'ouvrage.

II. Les procédés de fabrication [01] [05] [17]

1. La préparation de la pâte à papier

Cette pâte de papier-carton est le principal constituant du matériau.

Pour cela, il faut commencer par la collecte des déchets et la préparation du papier : détacher les feuilles et retirer les agrafes, ...

Ensuite, peser les déchets de papier-carton à l'aide d'une balance afin d'obtenir une précision sur la composition du mélange.

Pour la fabrication de pâte de papier : il faut d'abord déchiqueter à sec les papiers avant de les mélanger avec l'eau ; puis les tremper dans l'eau pendant 24heures pour les rendre plus mous, et les broyer ensuite à l'aide du mélangeur décrit précédemment pour obtenir une pâte bien homogène.



Photo n°2 : Broyage de la pâte

Source : Auteur

Pour que la pâte soit bien homogène, les facteurs suivants sont à respecter soigneusement : la teneur en eau de la pâte, le temps de pause et la vitesse de rotation du déchiqueteur.

- La proportion lors du malaxage est de 90% d'eau pour 10% de papiers. Le respect de cette proportion est très important car un excès d'eau pourrait rendre la pâte très molle et difficilement manipulable, tandis qu'un manque d'eau la rendrait trop sèche et difficile à malaxer.
- Le temps de pause correspond au temps durant lequel le papier est trempé dans l'eau. D'après les recherches effectuées ultérieurement, il faut au moins 24 heures de repos pour obtenir le maximum de fibres cellulosiques dans la pâte (toutes les liaisons hydrogènes sont brisées par l'eau). L'eau utilisée est de préférence propre et potable, de température moyenne de 20°C, afin d'éviter la présence d'autres matières minérales dans le mélange.
- Avec le mélangeur adapté comme déchiqueteur, la vitesse de rotation doit être variée selon le type de papier ou carton utilisé, pour que le mélange soit bien malaxé.

Une fois la pâte réussie, l'excès d'eau est ôtée et on mesure sa masse pour déterminer par la suite les masses nécessaires des autres composants.

2. Composition du mélange

Cette étape consiste à composer le mélange dans les bonnes proportions. Cette composition est d'environ 60% de papier pour 30% de sable et 10% de liant hydraulique, mais elle peut varier selon les composants choisis, et cela jusqu'à obtenir un mélange homogène que l'on pourra aisément mouler.

La détermination des composants du mélange dépend du domaine d'application voulu pour le matériau.

a. Choix du liant

Le liant a pour rôle d'assurer la cohésion de l'ensemble du matériau, assurer la prise de durcissement et participer au bouchage des vides ou à l'accroissement de la compacité du matériau.

Les liants utilisés sont des liants hydrauliques : le ciment Portland, ou la chaux ou encore le plâtre.

- Le ciment offre au matériau une caractéristique mécanique importante : durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau.

Le dosage de ciment nécessaire dépend des caractéristiques voulues du matériau, mais ce dosage varie de 20 à 40% du mélange.

- Quant à la chaux, elle a une résistance initiale faible, mais qui augmente au fur et à mesure que le temps passe. Du point de vue esthétique, la chaux offre au matériau une valeur indéniable : nuances de couleurs, expulsion de l'humidité excédentaire et des eaux de pluies, adaptation aux évolutions de la maçonnerie et limitation des fissurations.

En général, la quantité de chaux utilisée dans le mélange varie de 15 à 30% de la masse totale.

- Le plâtre est un matériau de construction ignifuge, il est surtout employé lors de la fabrication du matériau pour plafond à cause de sa faible densité. Il est utilisé sous forme de pâte constitué de poudre et d'eau.

b. La préparation du sable

Le sable est utilisé comme agrégat, mélangé au liant. Il a pour rôle d'éviter la fissuration lors de la prise et le durcissement du matériau par suite d'un phénomène de retrait. Il permet d'accroître la résistance du matériau à la compression. Il permet aussi de réduire la consommation de liant hydraulique.

Particulièrement, le mélange du sable avec la chaux permet d'améliorer la couleur et l'esthétique du matériau.

Le sable à utiliser est d'abord tamisé pour avoir la bonne granulométrie très fine inférieure à 5 mm.

La quantité de sable dans le mélange varie de 15 à 30%.

c. Les autres composants du mélange

Lors de notre recherche, nous avons constaté des constituants spécifiques tels que la latérite, les fibres textiles et les polystyrènes comme adjuvants du mélange. Mais il est à noter que leur emploi est optionnel selon les caractéristiques voulues.

- La latérite rouge, connue pour sa grande teneur en limon et en argile, est très exploitée dans le domaine du bâtiment. Elle rend les matériaux résistants aux forces de compression, ou de flexion.

Pour les murs de séparation, on utilise des latérites en poudre, préalablement tamisées, d'une proportion de 10% par rapport à la quantité de la pâte.

- Pour obtenir les meilleures caractéristiques physiques du matériau, on ajoute dans le mélange des fibres textiles issues des industries de zone franche coupées en millimètres, avec du polystyrène expansé, surtout dans la fabrication des murs de construction.

Ces adjuvants sont utilisés en faible quantité, à peu près 0,05% par rapport au mélange.

5. Le moulage

Cette étape consiste à verser le mélange dans un moule. Il faut vérifier l'homogénéité du mélange au moment de la mise en place du béton papier. Elle peut se faire dans plusieurs types de moules selon la forme voulue.



Photo n°3 : Type de moule

Source : Auteur

Ensuite l'ensemble est pressé à l'aide d'une presse mécanique et hydraulique à vis. Pour ce faire, nous proposons la presse à double effet afin d'obtenir les meilleures caractéristiques mécaniques des produits.

6. Le séchage

Lorsque les procédures de pressage sont finies, on démoule les briques et on procède au séchage.

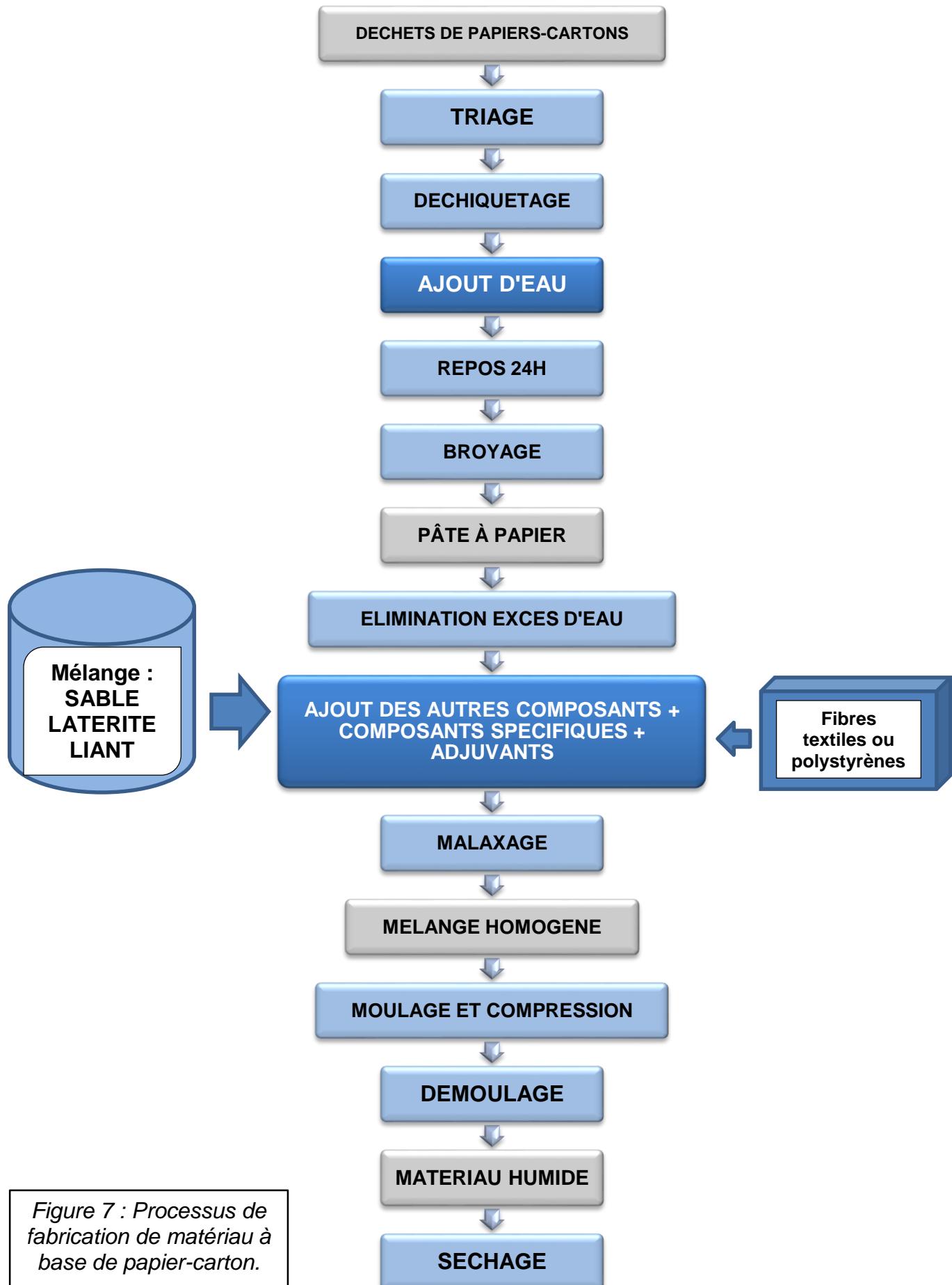
Les briques étant composées de liant hydraulique, le temps de séchage dépend donc du temps de prise de ce liant.

Le séchage est souvent effectué à l'air libre et la durée moyenne est d'environ 28 jours.

7. Schéma du processus de fabrication du matériau

Les différentes étapes de la fabrication du matériau, commençant par la préparation de la pâte, suivie du mélange, ensuite le moulage et le pressage, jusqu'au séchage seront résumées dans le diagramme suivant.

La fabrication des panneaux de particules peut être résumée par ce diagramme :



Chapitre IV : Caractéristiques du matériau

I. Caractéristiques physiques [01] [03] [05] [10]

1. Masse volumique apparente

La masse volumique apparente est le rapport de la masse apparente d'un corps par unité de volume, après passage à l'étuve à 105°C ($\pm 5^\circ\text{C}$).

Elle est exprimée en g/cm^3 ou kg/m^3 ou t/m^3 et notée γ_{app} .

Le tableau suivant exprime les masses volumiques apparentes respectives des matériaux à base de chaux, de ciment et de plâtre.

Tableau n° 4 : Masse volumique des matériaux

| Type de matériau | Masse volumique apparente γ_{app} [kg/m^3] |
|------------------------------------|---|
| Matériau à base de chaux (25%) | 844 |
| Matériau à base de ciment (39%) | 1017 |
| Matériau à base de plâtre (40%) | 530 |

Source : [01] BALLON Camille et [05] RANDRIAMAHEFA Misa

En comparant ces valeurs à celle du béton ordinaire et des matériaux à base de terre cuite qui sont respectivement 2300 kg/m^3 et 1800 kg/m^3 , nous pouvons dire que le matériau obtenu est un matériau léger. C'est donc un matériau relativement facile à manipuler sur chantier.

2. Capacité d'absorption d'eau

C'est un paramètre qui caractérise la structure du matériau solide poreux.

Elle est donnée par le pourcentage du rapport :

$$H_p = \frac{G_{ab} - G_s}{G_s}$$

Avec H_p : capacité d'absorption d'eau en %
 G_{ab} : masse de l'échantillon immergée pendant 48 heures
 G_s : masse de l'échantillon séché à l'étuve

Voici quelques résultats d'une expérience réalisée antérieurement :

Tableau n° 5 : Capacité d'absorption en eau du matériau

| Type de matériau | Masse absorbante G_{ab} [g] | Masse sèche G_s [g] | Capacité d'absorption H_p [%] |
|------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| A base de chaux | 147 | 111 | 32 |
| | 160 | 117 | 36 |
| A base de ciment | 140 | 103 | 35 |
| | 121 | 91 | 33 |

Source : [01] BALLON Camille et [05] RANDRIAMAHEFA Misa

Selon ce tableau, on peut dire que la capacité d'absorption en eau du matériau est assez faible. Ce qui l'oppose au fait que les papiers absorbent l'eau facilement.

II. Caractéristiques thermiques [01]

1. Conductivité thermique

C'est le flux de chaleur traversant un mètre carré d'une paroi de un mètre d'épaisseur à une différence de température des deux faces de la paroi égale à 1°C.

Selon les études théoriques, le matériau possède une conductivité thermique comprise entre 0,06 W/m.K et 0,08 W/m.K

En comparaison, la laine de verre possède une conductivité thermique de 0,035 W/m.K ; et le béton, lui, possède une conductivité thermique de 1,25W/m.K.

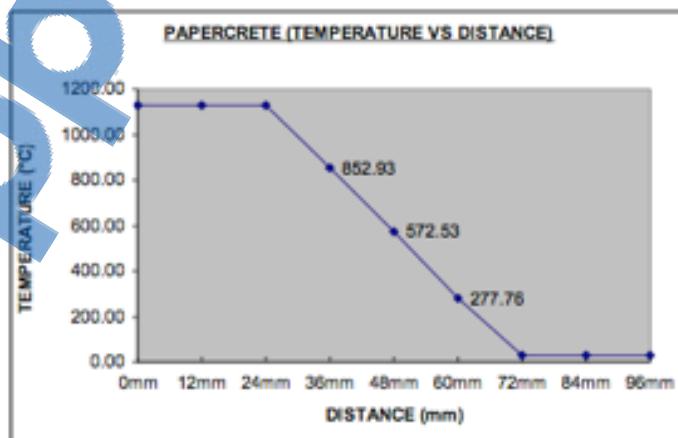


Figure 7 : Courbe de la conductivité thermique du matériau

Source : [01] BALLON Camille

Ainsi, une brique de 20cm de béton papier est aussi efficiente que 10cm de laine de verre ; le béton papier paraît donc être un bon isolant.

2. Résistivité thermique

La résistivité thermique d'un corps concerne son comportement au contact du feu.

La courbe suivante exprime la variation des températures des parois interne et externe au contact du feu, en fonction du temps.

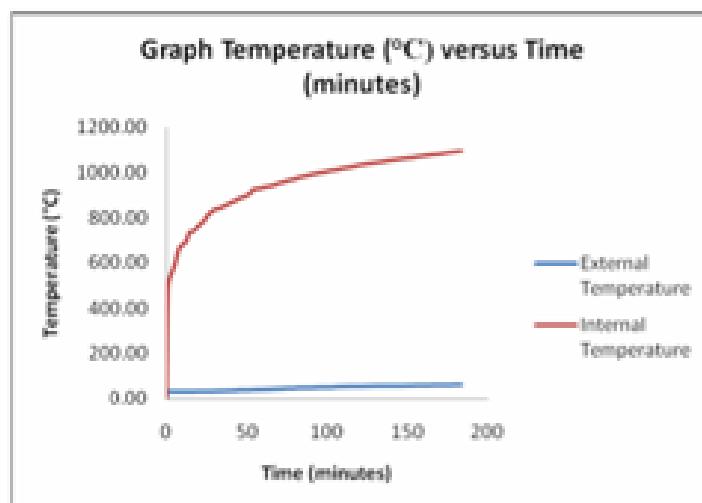


Figure 8 : Courbe de la résistivité thermique du matériau

Source : [01] BALLON Camille

Le matériau possède une résistance au feu de 180 minutes sans perdre son aspect structurel. De plus, grâce à sa faible conductivité thermique, la paroi externe du matériau reste froide tout au long de l'expérimentation.

Parmi les trois types de liant hydraulique qu'on a étudiés, le liant papier à base de chaux est classé parmi les matériaux les plus incombustibles puisqu'il ne prend pas feu mais subit seulement des agressions d'ordre physique.

III. Caractéristiques mécaniques [05]

La propriété mécanique est un facteur important pour déterminer la qualité d'un corps donné. Elle consiste à déterminer l'effort ou l'énergie nécessaire pour écraser un matériau. Autrement dit, c'est la résistance d'un matériau face aux différentes forces extérieures qui lui sont appliquées.

1. Résistance à la compression

Structurellement à sec, le matériau à base de chaux possède une résistance à la compression de l'ordre de 133Kg/cm² soit 13 MPa et celui à base de ciment est de l'ordre de 30MPa (béton de chantier = 30 MPa).

Voici un tableau résumant quelques résultats lors d'une expérience effectuée antérieurement par une étudiante. Cette expérience consiste à compresser des échantillons de matériau, secs et humides, à l'aide d'un dispositif appelé presse TESTWELL et les valeurs relevées sont les valeurs auxquelles les échantillons sont détruits.

Tableau n° 6 : Résistance à la compression du matériau

| Type de matériau | Résistance à sec [MPa] | Résistance humide [MPa] |
|------------------|------------------------|-------------------------|
| A base de chaux | 12,34 | 6,12 |
| A base de ciment | 30,33 | 14,97 |

Source : [05] RANDRIAMAHEFA Misa

Remarque : La résistance à la compression du matériau augmente considérablement avec le taux de ciment utilisé. C'est évident car le ciment est le principal responsable de la dureté du matériau.

Lors d'un choc, le matériau se comporte comme un matériau ductile, il se déforme avant de se rompre. Ainsi, pour briser un bloc de matériau de 10mm x 10mm x 70mm, nous avons besoin d'une énergie égale à 1,12J. En comparaison, un même bloc de ciment ne nécessite qu'une énergie de 0,24J pour se rompre. Le matériau est donc bien plus performant.

2. Résistance au cisaillement

La résistance au cisaillement est la sollicitation conventionnelle correspondant à la rupture d'un matériau soumis à un essai de flexion. Elle se déduit de la résistance à la compression par la formule suivante :

$$R_{cis} = \frac{10 * R_c}{3}$$

Avec R_{cis} : Résistance au cisaillement
 R_c : Résistance à la compression

En se référant aux valeurs précédentes nous avons les résultats suivants :

Tableau n° 7 : Résistance au cisaillement du matériau

| Type de matériau | R _c à sec [MPa] | R _{cis} [MPa] |
|-------------------------|----------------------------|------------------------|
| A base de chaux | 12.34 | 41.13 |
| A base de ciment | 30.33 | 101.1 |

Source : [\[05\] RANDRIAMAHEFA Misa](#)

La densité du matériau lui permet également d'être relativement résistant face à l'arrachement. Ainsi, il faut une force de 565N pour arracher une vis enfoncée à 1cm dans du béton papier. Le béton papier est donc plus efficient que le béton ciment.

Un autre aspect, qui demeure intéressant, est que la ductilité du matériau lui permet d'absorber les chocs bien plus que d'autres matériaux. De plus cette ductilité permet l'usage de système de fixation (type vis) directement dans le matériau.

3. Isolation acoustique

Le confort acoustique est un élément souvent négligé des espaces intérieurs. Or le bien être psychologique des habitants et la productivité au travail des travailleurs y sont intimement liés.

Les recherches ont montré que le matériau est un matériau très adapté pour une bonne isolation du son ; il est souvent utilisé comme matériau de parachèvement, associé à d'autres matériaux d'isolation comme la laine de verre ou le polyester recyclé. Ces recherches ont également montré que pour une pièce entièrement construit avec ce matériau et à l'intérieur de laquelle est disposée une source sonore, le niveau sonore perceptible mesuré à l'aide d'un SONOMETRE est largement inférieur à 28dB.

C*onclusion de la deuxième partie*

Cette partie nous permet de dire que la qualité du matériau dépend, non seulement des matières premières utilisées, mais surtout de la stabilité et de l'uniformité du processus de fabrication.

Ce processus qui est développé dans le quatrième chapitre se résume par la préparation des matières premières, la procédure de mélange, puis celle du moulage et compression, et enfin le séchage.

Quant aux caractéristiques, nous pouvons dire que le matériau est très pratique et économique en raison de sa faible densité et de sa résistance élevée.

Ces caractéristiques peuvent bien être améliorées par l'adoption d'une bonne technique.

Ainsi, nous allons voir dans la partie suivante la modification d'une presse mécanique multifonction pour améliorer la technique de compression du matériau.

Troisième partie :

AMÉLIORATION

D'UNE PRESSE

MÉCANIQUE

MULTIFONCTION

Chapitre V : Description générale

I. Généralité

Le moulage par compression est une étape fondamentale dans la fabrication d'un matériau de construction, car elle détermine plusieurs caractéristiques de ce matériau. Lors des recherches précédentes, nous avons remarqué que les difficultés de l'expérience se situent parfois au niveau des matériels et les résultats sont ainsi faussés.

C'est pourquoi nous avons choisi ce sujet afin d'avoir une technique plus performante.

Cette étude consiste à l'amélioration d'une presse multifonction simple en une presse à double effet.

D'une manière générale, une presse simple fonctionne telle que le moule est fixé sur un support et un piston vient presser verticalement de son côté opposé. Mais la presse à double effet fonctionne autrement. Selon une simple description, c'est une presse qui implique deux forces à la fois sur un moule. Elle peut donc se définir comme la combinaison de deux presses simples expliquées ci-dessus.

II. But du travail

Cette étude concerne la conception de cette presse à double effet, possédant les caractéristiques suivantes :

- D'abord, les pressions que subissent les briques seront impérativement identiques en tout point ;
- Ainsi les moules doivent également être identiques si l'on en utilise plusieurs, et il faut que ces moules soient mobiles et démontables ;
- Le plateau sera fixé et servira seulement de support pour les moules, mais il ne subira pas la pression.

Pour cela, il faudrait d'abord décrire la presse initiale, ses avantages et inconvénients, afin de déterminer les modifications à apporter.

III. Description de la presse initiale

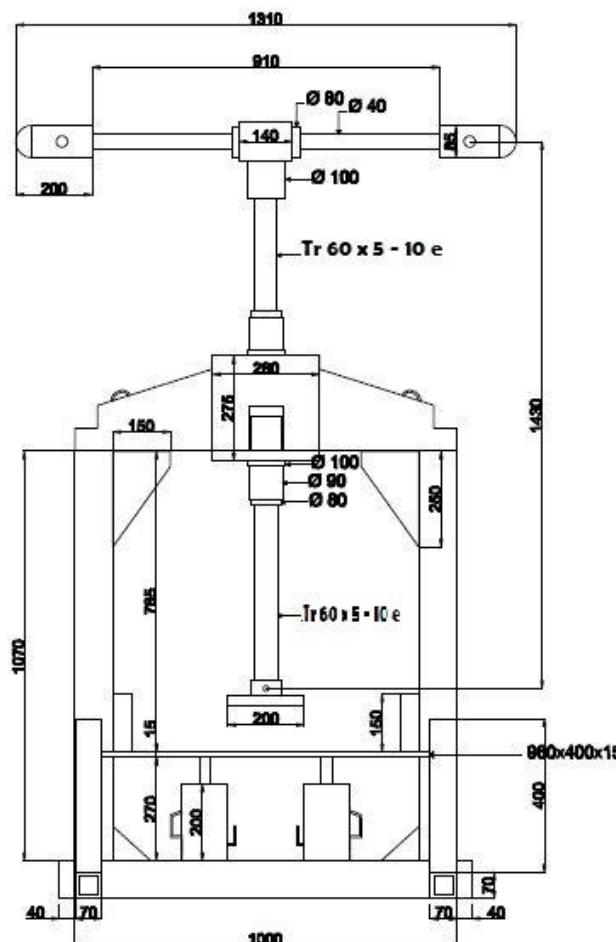
C'est une presse conçue et réalisée par un étudiant du département Génie Chimique lors de son travail en vue de l'obtention de son diplôme d'études approfondies en 2008.



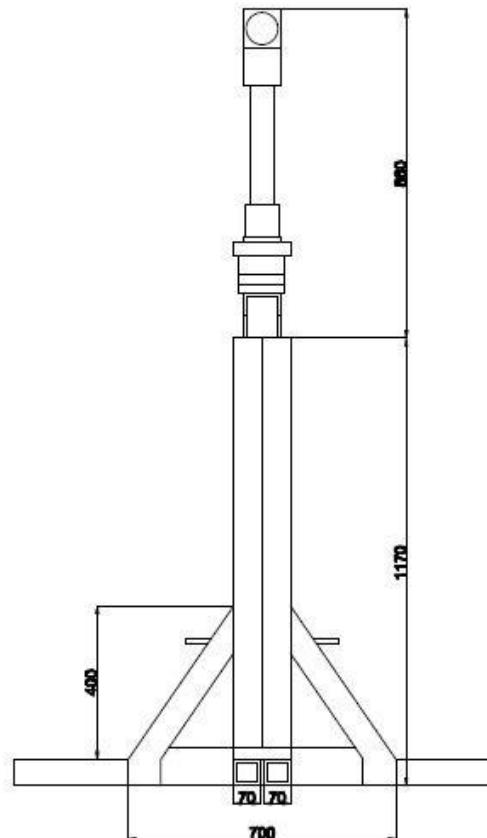
Photo n° 4 : Vue d'ensemble de la presse initiale

Source : Auteur

Voici les dessins montrant les perspectives de cette presse, vue de face et vue de gauche, avec les cotations respectives.



GENIE DES PROCEDES CHIMIQUES ET INDUSTRIELS
PRESSE INITIALE



Echelle 1 : 10

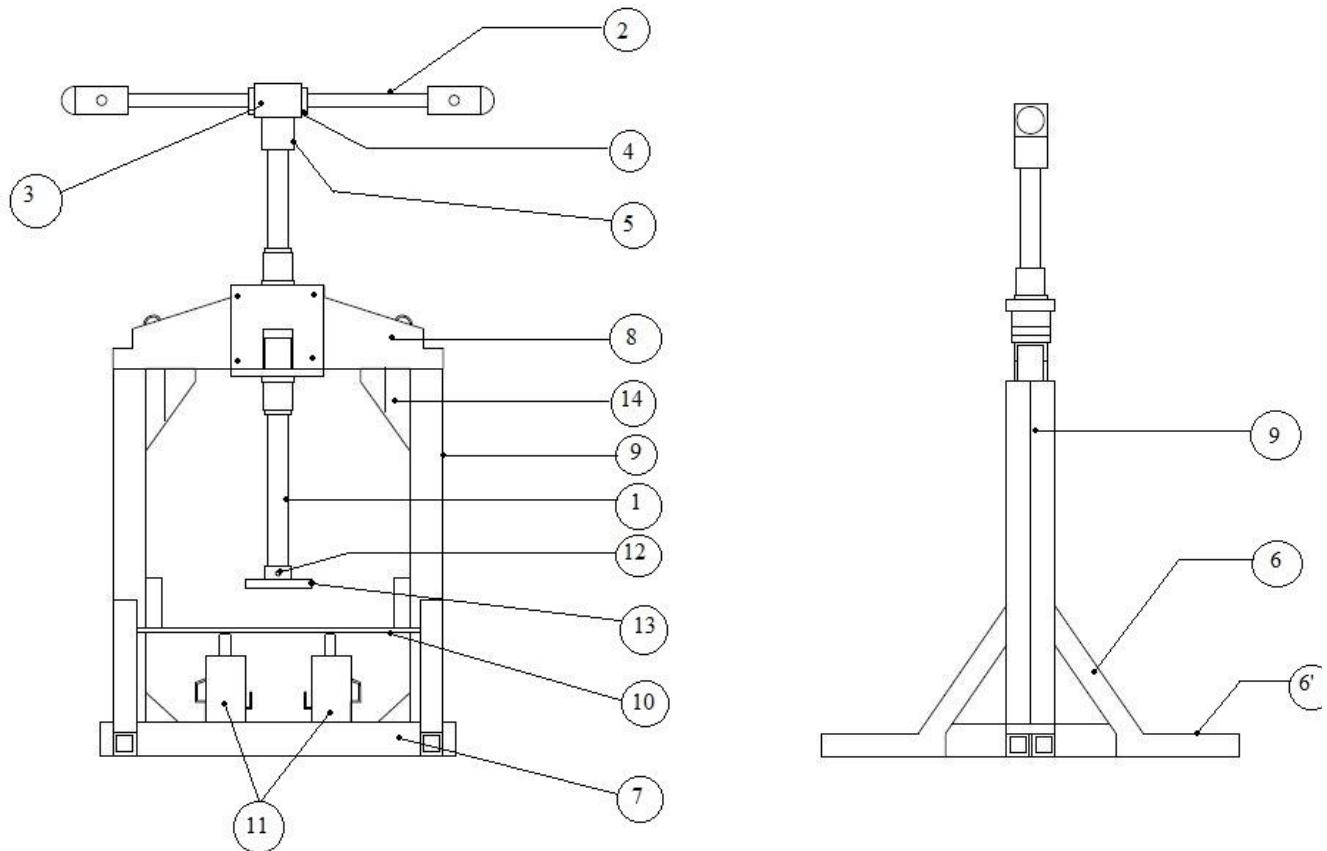


Tableau n° 8 : Désignation des éléments de la presse

| N° | DESIGNATIONS | MATIERES | DIMENSIONS | Qté |
|----|------------------------|-------------|--------------|-----|
| 14 | Nervures des cadres | Fer plat | 150x15-1200 | 01 |
| 13 | Dispositif de serrage | TPN 300/10 | 200x250x30 | 01 |
| 12 | Fixation de dispositif | xc 38 | Ø 70 -80 | 01 |
| 11 | Crique hydraulique | varié | Charge 20''' | 02 |
| 10 | Table | TPN 150x10 | 460x1000 | 01 |
| 9 | Montant | UPN 100x50 | 5000 | 01 |
| 8 | Traverse supérieur | TPN 200/10 | Ø 70 -1400 | 01 |
| 7 | Traverse inférieur | TPN 200/10 | 600-1000 | 01 |
| 6' | Pied | UPN | 50x25x5-4000 | 01 |
| 6 | Nervure | Cornière 60 | 50x50x5-3000 | 01 |
| 5 | Chape | Tube de 80 | 80x10-250 | 01 |
| 4 | Bague | xc 38 | Ø 70 -150 | 01 |
| 3 | Rondelle | kc3E | Ø 70 -15 | 01 |
| 2 | Bras de manivelle | xc 38 | 2500 | 01 |
| 1 | Vis de pression | xc 33 | Tr 60x5 -10e | 01 |
| | | | | |

1. Les éléments de la presse [01]

Les éléments essentiels de cette presse sont : la source de la pression, le pied de la machine, la traverse inférieure, la traverse supérieure, le montant, et la table.

a. Source de la pression

La presse applique la force de pression à l'aide d'une vis : c'est une vis trapézoïdale en acier xc38. Elle présente un avantage car elle est plus rapide que la vis usuelle par la présence d'un double filet ; c'est-à-dire pour un tour, elle descend de 2 filets. On la fait tourner manuellement à l'aide du bras de manivelle. La force appliquée au système est illustrée par la figure suivante :

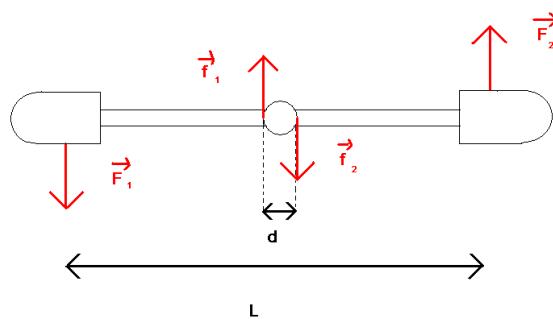


Figure 9 : Analyse des forces extérieures

Source : [04] ès-Maître REYDELLET Jean Christian

Cette figure permet de simplifier le calcul de la force appliquée sur la vis, en appliquant le théorème du moment d'inertie.

On suppose que le système est au repos c'est-à-dire qu'on atteint la position maximale.

$$M(f_2) + M(f_1) + M(F_1) + M(F_2) = 0$$

F1 et F2 sont les forces de la manœuvre et f1 et f2 les forces appliquées à l'extrémité de la vis.

Si on suppose qu'on applique la même force c'est-à-dire $F_1=F_2=F$ et $f_1 = f_2=F$ on peut calculer la force appliquée à l'extrémité de la vis.

$$F \cdot L = f \cdot d$$

$$L = 140\text{cm} \text{ et } f = 7 \text{ cm}$$

$$F \times 20 = f$$

Par le théorème du moment d'inertie, on peut obtenir 20 fois plus de la force humaine.

Prenons par exemple, la force de la manœuvre est de 400 N, l'équivalent de 40 kg ; on peut donc atteindre 8 000 N. En considérant les 2 forces f1 et f2, on peut envisager que la vis permet d'obtenir une force équivalente à 1,6 tonnes. Notons que cette force dépend de la force de la manœuvre.

b. Pied de la machine

La machine s'appuie au sol avec les 2 pieds, faits de fer profilés en U. Cela maintient la machine immobile.

c. Traverse inférieure

Fabriquée avec des fers profilés en UPN 80, fixée en contact avec le sol et qui porte les 2 crics hydrauliques.

d. Traverse supérieure

C'est sur la traverse supérieure que l'on fixe la vis avec l'écrou en bronze.

e. Le montant

Le montant est conçu avec des fers profilés en U. C'est le dispositif qui relie la traverse supérieure à la traverse inférieure.

f. La table

C'est l'un des dispositifs mobiles du système. Elle est fabriquée à l'aide d'une tôle plane de 15 mm d'épaisseur, et pour éviter le risque d'une éventuelle déformation, elle est fixée avec des nervures. C'est là où on met l'objet à presser. Pour éviter les risques de flexion lors de la compression, la table est supportée par les deux crics hydrauliques en dessous.

g. Le moule

Les moules utilisés sont de formes différentes selon le type de matériau à fabriquer. Les bases sont encavées et posées sur la table qui lui sert de fond.

2. Principe de fonctionnement

Le fonctionnement de cette presse est simple : lorsqu'on opère la manivelle, la vis trapézoïdale s'enfouit et applique, à l'aide du piston relié à la vis, une force de compression. Le taux de compression est évalué à 50%. Il est à préciser que cette force s'applique directement au plateau (table) mais non au moule qui sert seulement de support pour la brique. C'est la raison pour laquelle on a mis deux crics au-dessous de la table pour supporter les charges venant du piston.

Lors du démoulage, on pose deux cales aux deux bords du moule et on réopère comme celui décrit précédemment ; le moule sera écarté du plateau et évidemment la brique poussée par le piston va se démouler en tombant sur le plateau. Cela engendre un grand problème, car il y a beaucoup de risques que la brique se casse ou présente des fissures lors du choc, vu qu'elle est encore humide.

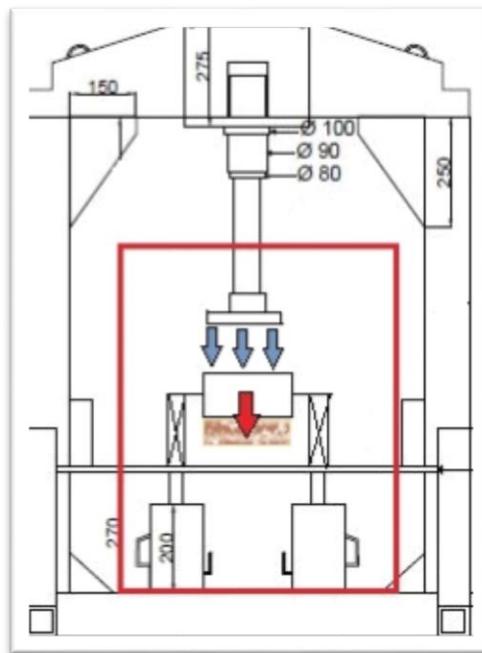


Figure 10 : Démoulage avec la presse initiale

Source : Auteur

Chapitre VI : Les modifications apportées

I. Dénomination des travaux

Après avoir vu les inconvénients de cette presse, nous avons choisi d'apporter les modifications suivantes selon notre moyen et possibilité :

1. Utilisation des crics comme source de pression

Lors de nos recherches, nous avons vu que la presse à double effet offre au matériau une bonne caractéristique, surtout au niveau de la résistivité car la compression assure le compactage du mélange dans le moule.

Comme nous avons déjà deux crics hydrauliques à notre disposition nous allons les utiliser à bon escient, pour appliquer une force ascendante. Les crics exercent donc des pressions sur les briques au lieu d'être seulement fixés en servant comme cales.

Pour cela, des tubes en acier seront fixés à ces crics et ces tubes vont relier les crics aux fonds des moules. Ainsi, on opérera sur le plateau quatre trous circulaires de diamètre presque identique à celui des tubes.

2. Conception d'un nouveau moule

Pour améliorer les performances de la presse, nous avons eu l'idée de fabriquer un moule multiple. En effet, c'est un grand moule cloisonné en quatre sections et avec lequel on pourra donc fabriquer quatre briques à la fois. C'est un grand avantage quant à l'économie de temps et d'énergie.

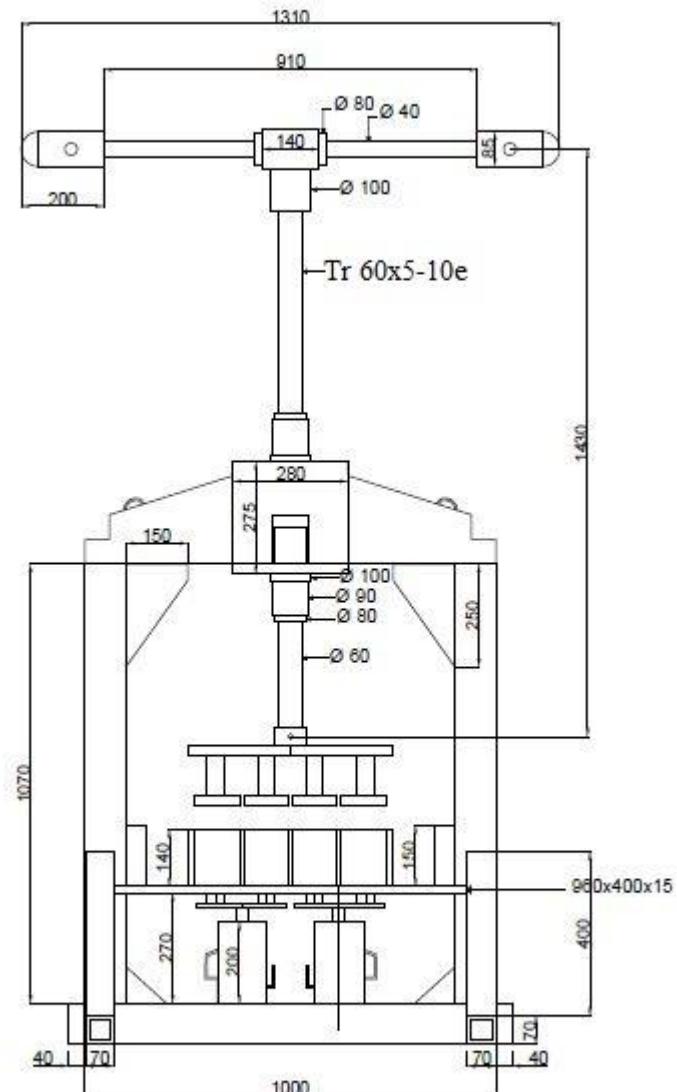
II. La réalisation

1. Le dessin technique

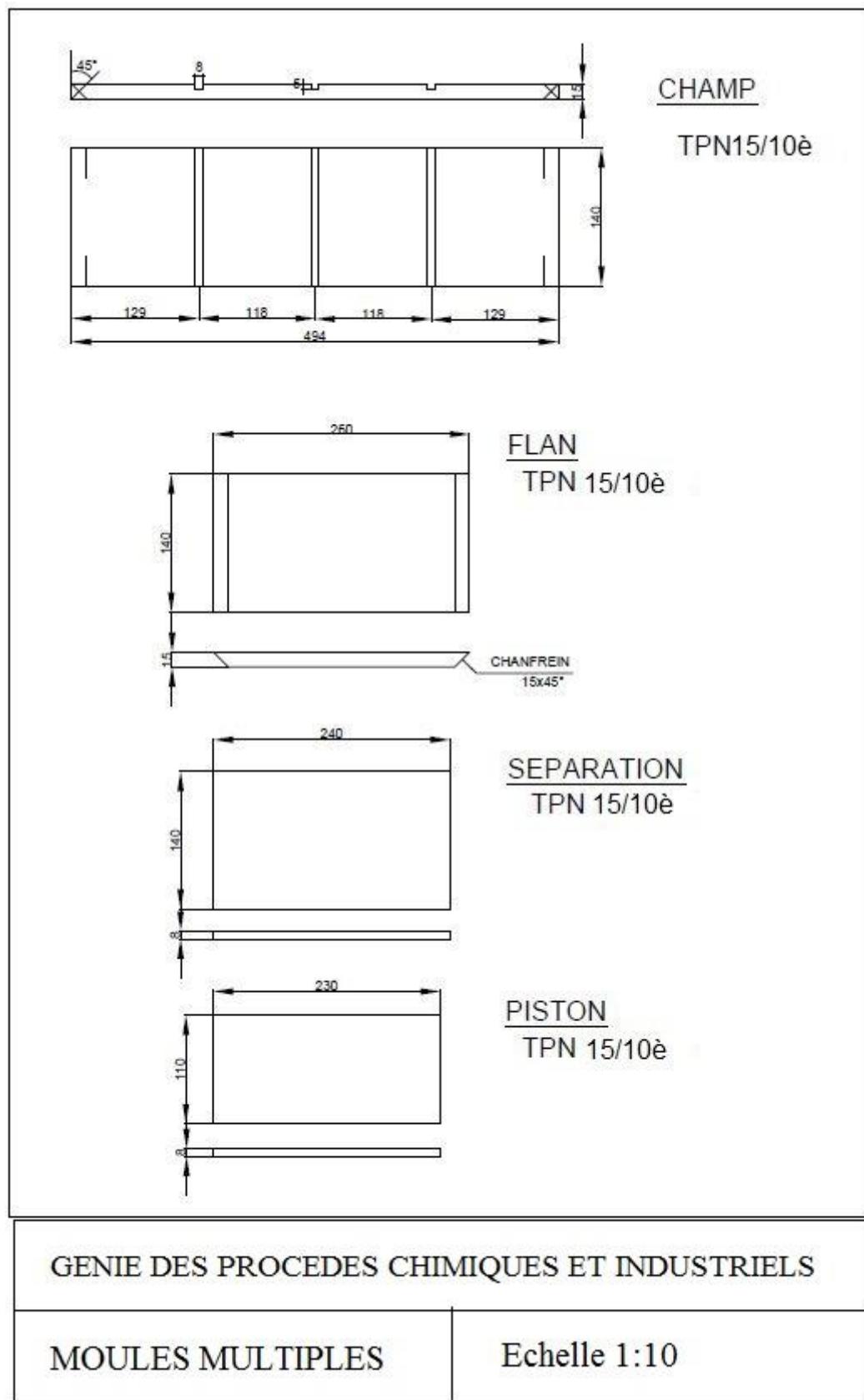
Le travail a commencé par le dessin technique.

Le dessin technique est le moyen d'expression indispensable et universel de tous les techniciens. Il permet de transmettre, à tous les services de production, la pensée technique et les impératifs de fabrication qui lui sont liés. C'est pourquoi ce langage conventionnel est soumis à des règles ne permettant aucune erreur d'interprétation et définie par la normalisation.

Nous avons ainsi fait les dessins suivants : le dessin de la presse modifiée et les dessins de direction pour les moules.



| | |
|---|--|
| GENIE DES PROCEDES CHIMIQUES ET INDUSTRIELS | |
| PRESSE MULTIFONCTION A DOUBLE EFFET | |
| Echelle 1:10 | |



2. La fabrication du moule

Nous avons découpés les différentes parties du moule par une meuleuse. L'assemblage des éléments du moule présentés sur le dessin a été fait par soudure. Pour faciliter la manipulation, les pistons sont interchangeables entre les quatre cloisons du moule.

Ce moule permet donc de former quatre briques identiques de dimensions 230 x 110 x 62 (cm).



Photo n° 5 : Assemblage du moule

Source : Auteur

3. L'intégration des crics

Le plateau a été percé à l'aide d'une fraiseuse. Les entraxes doivent être identiques, et les trous coïncident bien au centre de chaque piston.



Photo n° 6 : Fraiseuse

Source : Auteur

Ensuite, nous avons fixé deux tubes sur chaque cric, c'est-à-dire qu'un cric va appliquer une force de pression sur deux pistons. Ces tubes serviront aussi comme guide pour les pistons du cric.

Cette technique apporte également une solution au problème précédent de démoulage, car le démoulage peut donc se faire facilement en poussant la brique à l'aide des crics. Il n'y a plus de risque de produit abîmé.

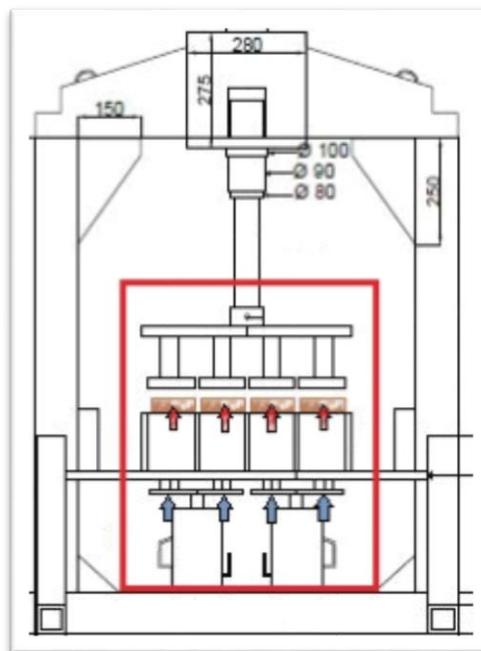


Figure 11 : Démoulage avec la presse finale

Source : Auteur

4. L'assemblage final

Nous avons assemblé toutes ces réalisations sur la presse initiale et la nouvelle presse à double effet est présentée sur la photo suivante.



Photo n° 7 : Vue d'ensemble de la presse finale

Source : Auteur

C*onclusion de la troisième partie*

A travers cette troisième et dernière partie, nous avons expliqué les différentes modifications d'une presse multifonction simple en une presse à double effet.

Cette modification concerne particulièrement la source de pression et les moules.

Des travaux ont été réalisés selon nos moyens et possibilités.

Nous pouvons dire que cette nouvelle presse présente des avantages intéressants au niveau du rendement et de la caractéristique mécanique du produit fini.

Conclusion Générale

Mettre en place une politique de gestion des déchets permet de réduire les comportements non respectueux de l'environnement, tels que le stockage des déchets dans des décharges sauvages, les brûlages intempestifs ou les enfouissements. Toutes ces pratiques irresponsables et illégales génèrent des pollutions importantes. Parallèlement, une bonne gestion des déchets permet la valorisation et le recyclage d'une bonne quantité d'entre eux.

Quant à ce mémoire, intitulé «**Valorisation de déchets cellulosiques en matériaux de construction – amélioration d'une presse multifonction à double effet**», il a permis de voir de plus près les déchets cellulosiques et de dégager une mode de valorisation de ces déchets en fabriquant un nouveau matériau ainsi que ses caractéristiques. C'est un matériau isolant possédant une haute résistance thermique bien que sa masse volumique est faible. C'est donc un matériau très intéressant aussi bien dans sa fabrication que dans sa mise en œuvre et de ce fait il marque un point dans la construction à bas prix.

Mais cette bonne caractéristique dépend surtout des qualités des matières premières utilisées et du procédé de fabrication. Une solution basée sur le fait d'adopter une nouvelle technique est donc proposée et nous avons amélioré une presse simple en une presse à double effet. Le fonctionnement de cette presse à double effet présente des avantages, non seulement au niveau de la compression, mais aussi sur les rendements et sur le démoulage sans risque.

Beaucoup d'aspects restent encore à caractériser sur ce matériau, il peut encore faire l'objet de nombreuses expérimentations.

Néanmoins, on pourrait conclure ce mémoire en avançant que la valorisation de déchets de papier est une bonne solution au gaspillage ambiant et à la pollution de l'environnement, à condition que la valorisation soit réussie et performante en terme de caractéristique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

BIBLIOGRAPHIE

- [01] BALLON Camille, (2014), *Enjeux et réusage des matières disponibles : Le papier comme matière première pour la construction.* Mémoire en Master 2, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Ma laquais.
- [02] Centre National du recyclage (Août 2012), *Récupération et recyclage des produits papiers-cartons en France.* p 36, 37, 39,40.
- [03] DJOUDI A., KHENFER M/M., BALI A., DEBICHI G (2007), "L'utilisation des biomatériaux dans la construction, une alternative pour la protection de l'environnement". *Séminaire national de génie civil*, Annaba 20 et 21 Novembre, 2007.
- [04] ès- Maître REYDELLET Jean Christian, (2008), « *Contribution à la détermination des conditions optimums pour la fabrication des briques stabilisées et réalisation d'une presse* ». Mémoire de fin d'étude en DEA, Génie Chimique ESPA, Antananarivo.
- [05] RANDRIAMAHEFA Misa (2010), « *Contribution à la valorisation des déchets de papier-carton en liant-papier* », Mémoire de fin d'étude en Master 2, Génie Chimique ESPA, Antananarivo.
- [06] TORREGROSSA et PICO, (2006), TPE La Valorisation.
- [07] THIEBAUD Sophie, (1995), « *Valorisation chimique de déchets lignocellulosiques : obtention de nouveau matériau* », Thèse de doctorat, Science des agroressources, Institut National Polytechnique de Toulouse.

WEBOGRAPHIE

- [08] www.google.com/ La maison de A à Z/ Les matériaux. date décembre 2016
- [09] <http://s3.e-monsite.com/> les liants. date décembre 2016
- [10] <http://www.guidebatimentdurable.brussels/> Les matériaux acoustiques. date 03 mars 2017
- [11] ↑ <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/lp-bayard-toulouse/> [archive] date février 2017
- [12] ↑ <http://charles-de-gaulle.entmip.fr/> [archive] date février 2017
- [13] ↑ <http://www.dechets.picardie.fr/spip.php?rubrique65>
- [14] ↑ <http://www2.ac-toulouse.fr/lyc-parc-ramonville/CSES-Dotclear/> [archive] date février 2017
- [15] [Valo des déchets] Valorisation des déchets - Catégories de déchets, consulté le 16 novembre 2016, www.syctom-paris.fr/.../dechet/catégorie.
- [16] <http://www.midi-madagasikara.mg/societe/2016/05/31/dhl-recyclage-dechets-papier/>
- [17] Site de l'ERITA, consulté le 16 décembre 2016.
- [18] http://www1.eere.energy.gov/biomass/feedstock_glossary.html, date nd
- [19] www developpement-durable.gouv.fr/ Plan de réduction et de valorisation des déchets 2014 -2020 Pilier de l'économie circulaire/ Madame Ségolène Royal lors de la réunion du conseil national des déchets le 7 novembre 2014. date 21 février 2017

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----|
| REMERCIEMENTS | I |
| SOMMAIRE | II |
| GLOSSAIRE | III |
| LISTE DES UNITES | IV |
| LISTE ET NOMENCLATURES DES TABLEAUX | V |
| LISTES ET NOMENCLATURES DES FIGURES | VI |
| LISTE ET NOMENCLATURES DES PHOTOS | VII |
| INTRODUCTION | 1 |
| PREMIERE PARTIE : GENERALITES | 2 |
| CHAPITRE I : CONTEXTE ET APPROCHE DU SUJET | 2 |
| I. COMPRENDRE ET VALORISER UN DECHET | 2 |
| II. NOTIONS DE VALORISATION | 3 |
| 1. <i>Définitions</i> | 3 |
| 2. <i>Mode de valorisation</i> | 4 |
| III. IDEE DU TRAVAIL | 6 |
| 1. <i>Position du problème</i> | 6 |
| 2. <i>Choix de la matière</i> | 8 |
| 3. <i>Démarche du travail et résultats attendus</i> | 8 |
| CHAPITRE II : ANALYSE DES MATIERES PREMIERES | 10 |
| I. DECHETS CELLULOSSIQUES | 10 |
| 1. <i>Définition</i> | 10 |
| 2. <i>La cellulose</i> | 10 |
| 3. <i>Les déchets à valoriser</i> | 12 |
| II. DESCRIPTION DU PAPIER-CARTON | 13 |
| 1. <i>Composition</i> | 13 |
| 2. <i>Structure</i> | 13 |
| 3. <i>Caractéristiques du papier-carton</i> | 14 |
| 4. <i>Les produits en papier et en carton</i> | 15 |
| III. LES LIANTS | 16 |
| 1. <i>Définition</i> | 16 |
| 2. <i>Classification des liants</i> | 17 |
| CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE | 19 |
| DEUXIÈME PARTIE : RESULTATS ANTERIEURS SUR LE MATERIAU | 21 |
| CHAPITRE III : LA FABRICATION DU MATERIAU | 20 |
| I. LES MATERIELS UTILISES | 20 |
| 1. <i>Une balance</i> | 20 |
| 2. <i>Un mélangeur</i> | 20 |
| 3. <i>Une presse</i> | 20 |
| II. LES PROCEDES DE FABRICATION | 21 |
| 1. <i>La préparation de la pâte à papier</i> | 21 |
| 2. <i>Composition du mélange</i> | 22 |
| 5. <i>Le moulage</i> | 24 |
| 6. <i>Le séchage</i> | 25 |
| 7. <i>Schéma du processus de fabrication du matériau</i> | 25 |
| CHAPITRE IV : CARACTERISTIQUES DU MATERIAU | 27 |

| | | |
|---|---|-----------|
| I. | CARACTERISTIQUES PHYSIQUES | 27 |
| 1. | <i>Masse volumique apparente</i> | 27 |
| 2. | <i>Capacité d'absorption d'eau</i> | 27 |
| II. | CARACTERISTIQUES THERMIQUES | 28 |
| 1. | <i>Conductivité thermique</i> | 28 |
| 2. | <i>Résistivité thermique</i> | 29 |
| III. | CARACTERISTIQUES MECANIQUES..... | 29 |
| 1. | <i>Résistance à la compression</i> | 30 |
| 2. | <i>Résistance au cisaillement</i> | 30 |
| 3. | <i>Isolation acoustique</i> | 31 |
| CONCLUSION DE LA DEUXIÈME PARTIE..... | | 32 |
| TROISIÈME PARTIE : AMELIORATION D'UNE PRESSE MECANIQUE MULTIFONCTION | | 34 |
| CHAPITRE V : DESCRIPTION GENERALE | | 33 |
| I. | GENERALITE | 33 |
| II. | BUT DU TRAVAIL..... | 33 |
| III. | DESCRIPTION DE LA PRESSE INITIALE | 34 |
| 1. | <i>Les éléments de la presse</i> | 37 |
| 2. | <i>Principe de fonctionnement</i> | 39 |
| CHAPITRE VI : LES MODIFICATIONS APPORTEES | | 40 |
| I. | DENOMINATION DES TRAVAUX..... | 40 |
| 1. | <i>Utilisation des crics comme source de pression</i> | 40 |
| 2. | <i>Conception d'un nouveau moule</i> | 40 |
| II. | LA REALISATION | 40 |
| 1. | <i>Le dessin technique</i> | 40 |
| 2. | <i>La fabrication du moule</i> | 43 |
| 3. | <i>L'intégration des crics</i> | 43 |
| 4. | <i>L'assemblage final</i> | 44 |
| CONCLUSION DE LA TROISIÈME PARTIE | | 46 |
| CONCLUSION GENERALE..... | | 47 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES | | I |
| BIBLIOGRAPHIE | | I |
| WEBOGRAPHIE | | II |