



INTRODUCTION :

Les plastiques sont omniprésents dans notre vie quotidienne : la majorité des objets que les gens utilisent au quotidien en contient. Et pourtant, leur dissémination dans la nature est durable et inesthétique car leur biodégradabilité est très difficile. Malheureusement, pour Madagascar, il n'y a pas encore de politique de déchets nette, il est alors clair que le pays soit envahi par des déchets en plastique, des conséquences graves y sont déjà : pollution des rues, rivières, marchés, érosion des sols, dégradation des cultures urbaines et dans les zones d'élevage, les animaux qui mangent un peu de tout meurent bien souvent après avoir ingéré des sachets. Que faire donc de cette « montagne » de déchets plastiques ?

Diverses sont les options pour la gestion des déchets de matières plastiques : recyclage, incinération ou mise en décharge. *Ce travail consiste à la contribution à valorisation des déchets plastiques en objets de construction substituant les ciments.* A la fin de ce travail nous essayerons de voir dans quelles mesures, l'exploitation de ces déchets serait-elle un apport pour le développement durable de Madagascar.

La transformation est à l'échelle pilote où nous procéderons : en premier lieu aux traitements des plastiques bruts et en second lieu, à la production des matériaux de construction ainsi qu'à la présentation de la nouvelle presse. Et enfin, dans la troisième et dernière partie, nous verrons les impacts environnementaux de ce projet.



Avant d'entamer le corps du travail, voici d'abord quelques notions de base essentielle et nécessaire pour la suite. Pour cela passons dans la généralité.

GENERALITE :

❖ Définitions :

➤ Plastique : [27], [32], [34], [37]

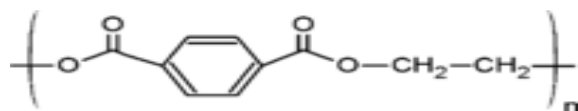
Une matière plastique est un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet. La plupart des plastiques sont réalisés à partir de pétrole, matière première limitée et précieuse. S'il existe une très grande variété de plastiques aux propriétés différentes, on peut les regrouper en deux catégories : les *thermoplastiques* et les *thermodurcissables*. Les thermoplastiques fondent sous l'effet de chaleur et se solidifient sous l'effet d'un refroidissement. Pour les thermodurcissables, la transformation est irréversible. Une fois formé, le plastique ne se déforme plus.

➤ Valorisation matière : [27]

La valorisation matières consiste à transformer un objet plastique usagé en un autre objet plastique. Cette valorisation s'applique essentiellement aux polymères d'additions qualifiés de *thermoplastique*.

❖ Exemples de plastiques de type thermoplastiques : [21], [32]

- Le **PET** (polyéthylène téréphtalate) : bouteilles transparentes colorées ou non pour l'emballage de l'eau et des sodas ;



- Le **PEHD** (polyéthylène haute densité) : bouteilles opaques ou translucides de lait, flacons de shampoing, de bain moussant, etc. $-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n-$



- Le **PS** (polystyrène) : barquettes de beurre, de margarine, pots de glace. Sous forme de mousse, comme matériau de protection : emballage du matériel hi-fi $\left[\text{CH}_2 - \text{CH} \left(\text{C}_6\text{H}_5 \right) \right]_n$
- Le **PP** (polypropylène) : pots de yaourt, flaconnage. $\left[\text{CH}_2 - \text{CH} \left(\text{CH}_3 \right) \right]_n$

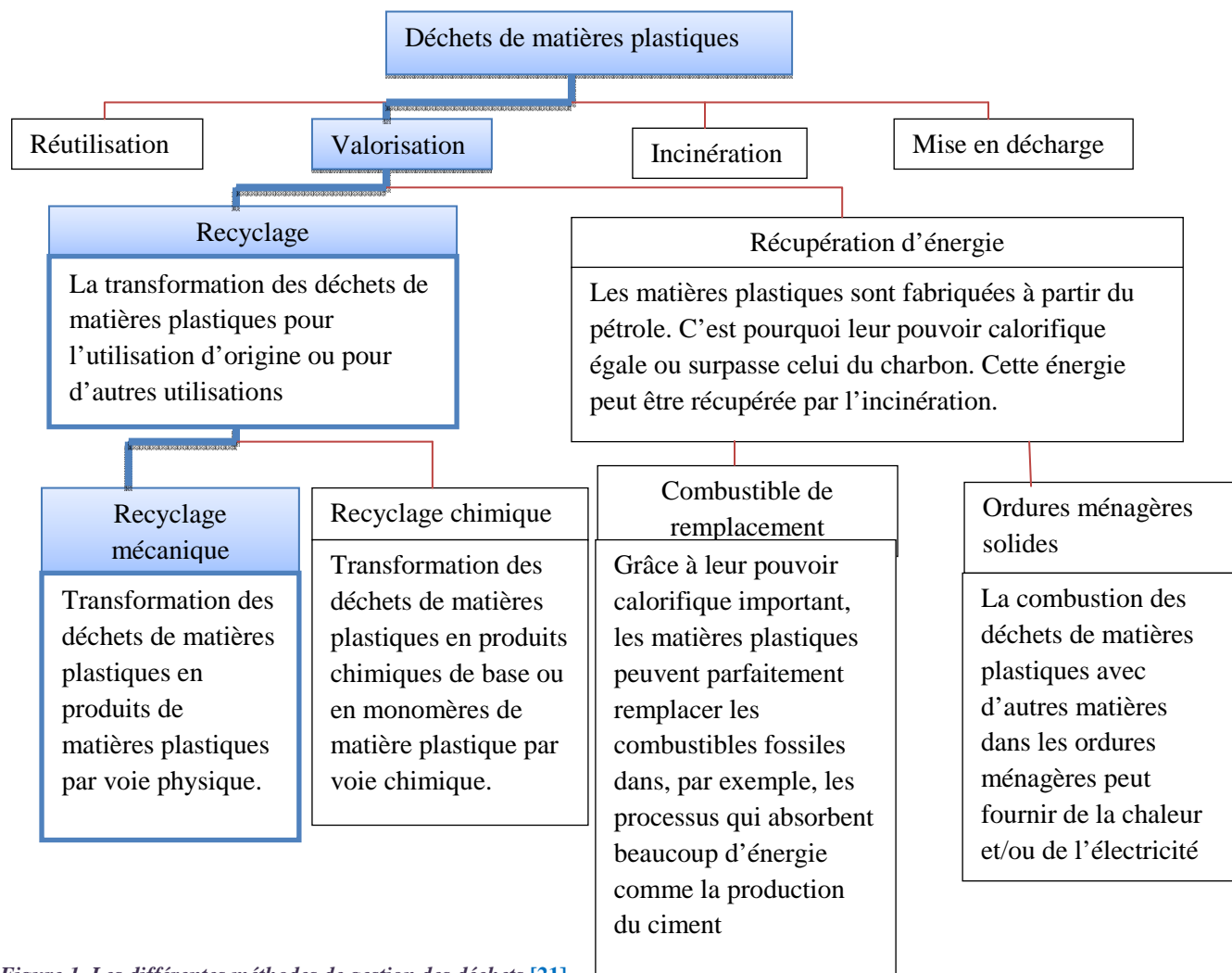


Figure 1. Les différentes méthodes de gestion des déchets [21]

➡ La branche colorée en bleu désigne notredomaine d'étude.



Nous allons maintenant entamer sur les différents traitements des plastiques bruts qui seront ensuite des composants comme matières premières des matériaux de construction.

I. Traitements des plastiques bruts

1 Organisation post-traitement :

1.1 COLLECTE

Il faut organiser un système de ramassage:

- **Déchets plastiques d'origine ménagère obtenus par collecte sélective porte à porte :** la sensibilisation de la population doit être primordiale. Dans un pays pauvre comme Madagascar la préoccupation est la survie au jour le jour : les campagnes de sensibilisation basées sur la seule gestion de l'environnement ne marchent pas. Il faut donc, chercher d'autres moyens pour motiver les gens et la valeur économique est plutôt incitante. Le message : « nous achetons les plastiques ». Bouche à oreille, réunion avec chefs de quartier, églises, écoles, émissions de radio, émission de télévision. Et il faut que le paiement soit cash pour assurer la motivation. [16]
- **Collecte des déchets dans la commune urbaine d'Antananarivo :** Des centres de collecte d'ordures dans 25 Fokontany : près de 700 à 800 tonnes d'ordures par jour sont ramassées par la SAMVA, un département de la CUA (commune urbaine d'Antananarivo) qui gère la collecte d'ordure dans la capitale dont les déchets plastiques représentent jusqu'à 30% de la masse totale des ordures ménagères.(figure3).



Figure 2. Montagne d'ordure d'Andralanitra.



Figure 3. SAMVA en train de collecter les bacs à ordures

Afin de faciliter le tri, ce dernier est déjà fait dès le ramassage en parcourant la zone de stockage en ramassant d'abord une seule sorte de plastiques à la fois, ensuite une autre. Certes, passons au tri proprement dit.

1.2 Le tri :

[1],[5], [16], [9],[23], [36]

Il faut trier les plastiques selon leur nature chimique et leur origine, car deux ou plusieurs plastiques de nature différent ne forme pas toujours une solution solide homogène en effet les thermoplastiques sont difficilement compatibles entre eux d'un point de vue structure.

Voici les différentes techniques de tri : de la façon manuelle et de la façon automatisée

1.2.1 Le tri manuel ou la collecte sélective

Dans bien des cas et pour un grand nombre de matières, cette étape permet après vérification de leur conformité d'effectuer un premier tri des déchets, et de faciliter leur futur traitement automatique.

Ainsi, tout comme les malfaçons, les rebus ou les chutes de fabrication issus de l'industrie, les divers produits en polypropylène (PP), en polystyrène (PS) ou en polyéthylène (PE) collecté post-consommation sont placés sur des tapis, et démantelés par des opérateurs qui retirent les



polluants les plus grossiers (ils extraient, par exemple, la partie caoutchouc, les vis et les rivets des bacs poubelles) et effectuent une première séparation chromatique des matières.

Il en va de même pour les films, par exemple, qui sont ainsi divisés en deux flux. : Les films couleurs et les films naturels, qui sont retirés à la main et redirigés vers des machines de broyage. Dans certains cas, une simple vérification visuelle est nécessaire avant d'envoyer les produits vers différentes filières de recyclage.

Les catégories de tri sont les suivantes :

- Polyéthylène haute densité provenant des sachets d'eau pure (eau potable vendue dans la rue dans des sachets scellés)
- Polyéthylène haute densité des petits sachets translucides fins, qui servent pour divers aliments vendus au détail à la pièce ou au poids : petits pains, huile, arachides, farine, ...
- Polyéthylène haute densité - type sacs de supermarché de couleur (souvent blancs ou noir avec motifs imprimés), devront être découpés
- Polyéthylène basse densité - sachets d'eau pure
- Polyéthylène basse densité - bâches, emballage industriel entourant les palettes.

Ce sont rarement des déchets ménagers mais plutôt des déchets industriels

N.B : les déchets PP de type "cellophane" sont rares et ne sont pas recyclés : ils sont jetés.[16]

1.2.2 Tri par flottaison

Ils y a des industries qui adoptent le tri par flottaison.

La matière broyée est immergée dans une grande cuve remplie de liquide stationnaire (un mélange d'eau et de divers additifs, comme le chlorure de calcium), qui va permettre de séparer le PET (qui coule, parce que d'une densité supérieure à 1) des bouchons en plastique (qui flottent, parce que leur densité est inférieure à 1).[36]



1.2.3 Tri par un séparateur magnétique :

En vue de séparer les éléments métalliques ayant éventuellement été transportés dans la fraction légère et accompagnant ainsi les plastiques[23]

1.3 Découpe manuel

Découpe des grands plastiques par exemples : grands sacs, grands emballages bâches : découper des morceaux de 30 cm de long max.

But :

Éviter qu'au moment du déchiquetage, les feuilles de plastique ne se torsadent et ne fassent de longs cordages durs, impossible à couper, qui empêche les lames de couper correctement, qui peuvent provoquer le blocage des lames et qui s'ils sont fins, s'incrustent dans les roulements ou paliers, provoquent des frictions et usure des pièces métalliques.

N.B :La découpe nécessite beaucoup de main d'œuvre car il s'agit d'une opération lente.

Un opérateur découpe environ 50 kg/jour.[16]

1.4 Le décrassage manuel

Il est conseillé de délaissier les sachets trop sales. Même si les plastiques seront lavés par la suite, le décrassage des sachets est nécessaire dès le début car :

- La crasse constitue du poids.
- Le sable entraîne l'abrasion pour les lames du broyeur ou de la déchiqueteuse, qui peut obliger à des affutages continuels : coût en temps et en pièces de rechange.

Ainsi le décrassage manuel est comme une sorte de pré-lavage facilitant le lavage après et aussi permet aussi d'économiser de l'eau.



Comment procéder ?[16]

Sable : lors de la collecte ou du stockage prendre une liasse de sachets en main, secouer, en frappant éventuelle sur un objet dur.

Eau : Les plastiques secs sont plus faciles à décrasser car le sable et la terre y collent moins : étendre quelques heures au soleil les plastiques et de remuer de temps en temps pour faire s'évaporer l'eau. Percer les achats pour mieux évacuer l'eau.

Pour sachet et pellicules secouer pour en chasser l'eau, les sachets avec l'ouverture vers le bas. Avec l'humidité, la crasse représente environ 20% du poids de la matière (après lavage et séchage)

1.5 Stockage

Il faut avoir un endroit de stockage pour les plastiques qui ne seront pas encore traités. Ils seront mis dans des sacs qui les protégeront des pluies et des inondations. Et pour limiter les dégâts causés par un éventuel incendie (toujours garder à l'esprit que le plastique est un matériau combustible), ils devraient être stockés dans un ancien container désaffecté, et qui constitue un abri efficace pour la matière. Un extincteur devra être placé à portée.



Figure 4. Un ancien container désaffecté comme abri de stockage des matières



2 Transformation du plastique en granulés

2.1 Déchiquetage : - avec déchiqueteur-agglomération / -utilisation du broyeur **[9],[13],[14],[36]**

Le rôle d'un déchiqueteur est de découper les déchets en gros morceaux et de régulariser le débit.

Les avantages :

- Facilite leur manipulation en grandes quantités sans devoir recourir au maniement à la main sachet par sachet,
- Facilite le lavage : assure une bonne circulation et évacuation de l'eau lors des opérations de lavage, rinçage et séchage, qui améliore la qualité ; dans le cas contraire, le lavage et le séchage sont peu pratiques, car les plastiques forment des poches où l'eau reste emprisonnée : la productivité est mauvaise et les travailleurs chargés d'effectuer ce travail risquent d'être payés une misère pour un travail pénible.

Taille des confettis : **entre 2 et 4 cm² de surface**

- Pas trop grands sinon l'eau passe moins facilement entre les morceaux, ce qui est nécessaire pour un bon brassage et pour qu'elle évacue les crasses, et cela rend également plus lent le séchage.
- Pas trop petits : lors de l'opération subséquente d'agglomération, il est utile qu'ils aient une taille qui permette la friction et l'étirement de la surface de la matière contre les lames, contre-lames et parois de la machine, qui permet la production de chaleur indispensable pour obtenir l'agglomération. Des morceaux trop petits ne chauffent pas, ce qui provoque des pertes de temps et d'énergie électrique.



2.1.1 Appareil : de déchiquetage n° 1 : avec le déchiqueteur-agglomérateur

A priori la machine indiquée pour le déchiquetage est l'agglomérateur (autrement appelé compacteur ou déchiqueteur à axe vertical).

Elle est prévue pour déchiqueter et agglomérer en un seul cycle : des emballages entiers sont jetés dans la machine, qui les déchiquète et qui commencent ensuite à chauffer avec la friction, à devenir pâteux permettant d'être agglomérés en boulettes prêtes, à être injectées ou extrudées.

Lorsque les lames sont aiguisées et que les plastiques sont secs, cette opération peut être rapide, à tel point que la porte de sortie de la cuve peut rester ouverte, pendant que l'opérateur verse les sachets et pellicule par au-dessus, les plastiques déchiquetés sont évacués. (figure11)



Figure 5. Déchiqueteur-agglomérateur

Une très légère déficience de l'affûtage peut entraîner des baisses de productivité énormes (jusqu'à 50 ou 60%), et si le plastique "danse" trop longtemps dans la machine, il forme des lanières plissées où se lovent les grains de sable et autres impuretés, rendant par la suite inefficace le lavage et le séchage. Quand les plastiques sont sales surtout avec du sable, l'abrasion est forte : l'affûtage doit alors se faire au minimum tous les 2 jours. [16]

2.1.2 Appareil de déchiquetage n° 2 : utilisation du broyeur à couteaux rotatifs pour plastiques durs

But : réduire les dimensions de 15mm à 20 mm



Le broyeur pour plastique durs est un broyeur à axe horizontal avec lames et contre lames, et un tamis qui peut laisser passer quelques morceaux de plastiques suffisamment découpés.

L'utilisation de cette machine donne d'avantages :

✚ **Décrassage rapide et efficace** : il faut un moyen de décrassage rapide du sable des plastiques car ce sable provoquait une abrasion excessive dans l'agglomérateur, avec perte de temps et coût de lames élevé. Des sacs très sales sont jetés dans le broyeur, où seront ensuite secoués dans le tambour ; ils étaient débarrassés presque instantanément du sable qui passait au travers de trous du tamis. Ainsi le prélavage des plastiques était très efficace, et avec la vitesse avec laquelle le sable partait, les lames n'avaient pas le temps de perdre leur fil.

✚ **Déchiquetage rapide et de meilleure qualité** : le broyeur arrivait à déchiqeter les sachets, et que le déchiqetage se faisait également plus rapidement qu'avec l'agglomérateur, et la qualité des confettis obtenus était meilleure pour le lavage et séchage qui devait suivre (plus plats qu'avec l'essoreuse où ils avaient tendance à s'enrouler en lanière.

✚ **Evite perte de temps liés à l'utilisation à deux moments différents d'une même machine**: ce système présente également l'avantage de ne pas devoir utiliser 2 fois l'agglomérateur pour deux opérations différentes, et donc de permettre de libérer celui-ci pour la seule agglomération des plastiques après lavage, permettant ainsi d'augmenter la production de 100%. Le tamis du broyeur a des trous d'un diamètre d'environ 20 mm.

✚ **Les lames du broyeur doivent être grandes et épaisses**

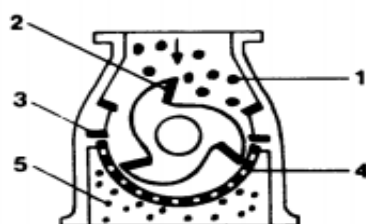


Figure 6

- 1- Produit non broyé
- 2- Couteau rotatif
- 3- Couteau fixe
- 4- Grille
- 5- Produit broyé.



Figure 7

Figure 6, 7: broyeur primaire

**REMARQUE :**

Le niveau de production avec ce système tourne aux alentours de 500 kg/jour si les lames sont bien affûtées.[16]

Il est important de ne pas remplir trop la machine, sous peine de bourrage qui bloquera la machine et abîmera le moteur: alimenter à la même vitesse que la machine déchiquète et évacue les déchets vers le bas

Le rotor a tendance à éjecter les sachets: il faut donc boucher la trémie d'alimentation et exercer une pression vers le bas du tambour.

2.2 Procédé au lavage

Le lavage s'effectue à l'eau : les plastiques déchiquetés sont jetés dans de grandes cuves où l'eau est remuée vigoureusement pour les secouer, les faire se frotter les uns contre les autres, et en détacher les impuretés. Ensuite on laisse reposer : les saletés coulent (sable, déchets de nourriture, restes de papier, etc...), tandis que le plastique flotte dans l'eau et n'a plus qu'à être récupéré.

Ensuite le plastique doit être rincé dans une autre cuve, pour encore en brasser les crasses qui restent

En principe, pas besoin de détergent : le brassage de l'eau suffit généralement pour enlever la grosse partie de la saleté. Ce n'est que lorsque les plastiques sont très sales, quand ils ont par exemple séjourné dans un caniveau, qu'on peut utiliser un détergent universel ou de la poudre à lessiver classique

Appareil :

 **Cuve de lavage :**[16]



Le plastique est lavé dans de cuves qui doivent être grandes (environ 2,5 m sur 1,2 m). Sur la cuve, est installé un malaxeur, hélice actionnée par un moteur électrique qui tourne lentement (pour ne pas envoyer l'eau en dehors de la cuve) et brasse l'eau et les plastiques. Le malaxeur est monté sur un bâti à roulettes posé sur des rails, qui peut ainsi coulisser pour brasser les plastiques sur toute la longueur de la cuve. Le moteur du malaxeur a besoin d'une puissance d'environ 2 CV, la vitesse de rotation de l'hélice tourne entre 50 et 100 tours/minutes pour un brassage efficace.



Figure 8. Cuve de lavage avec un malaxeur pour brassage



Figure 9. Lavage des matières

Afin qu'elle puisse être utilisée également pour le lavage des plastiques durs qui nécessite bien souvent l'utilisation de détergent impliquant le chauffage de l'eau (soude caustique). La cuve de lavage doit être posée sur un socle en brique, rectangle formant un muret d'une trentaine de centimètres de haut, en dessous duquel sera placé un brûleur à pétrole rustique.

REMARQUE :

- le poids de l'eau dans la cuve étant très élevé (2,3 tonnes) et l'eau en mouvement, le muret doit être solide, bien nivelé et recevoir des fondations en pierre pour éviter affaissement. Pour pouvoir être chauffée, cette cuve doit être métallique : fabrication du corps de la cuve en tôle de 2mm d'épaisseur pour les parois, 3 mm pour le fond, renforcée et cerclée par une ceinture de solides cornières.



- Il faut toujours faire attention à l'interrupteur, au câble et boîtes à fusibles du malaxeur : bien les isoler de l'eau pour éviter accidents et court-circuit, utiliser un interrupteur qui peut être manipulé avec les mains mouillées.

Le sol autour des cuves de lavage et rinçage doit être bétonné sinon il y a beaucoup de boue.

Cuve de rinçage :

Dans le prolongement, des cuves de lavage doivent se trouver à côté de deux (ou même une seule) cuves de rinçage dont le volume de contenance doit être égal à celui de la cuve de lavage. Ces cuves peuvent être faites en béton ou en tôle (pas d'importance). Les cuves de rinçage doivent être proches de la cuve de lavage pour que les opérateurs puissent faire passer des charges parfois lourdes d'une cuve à l'autre.

Un filet de pêche d'environ 1,5m X 1,5m avec des mailles d'environ 15 mm de côté est un outil permettant de manipuler les plastiques en grande quantité et en diminuant les efforts. Il permet à deux travailleurs de saisir de grandes quantités de plastique, de les brasser dans la cuve, d'en évacuer une grande quantité d'eau. (figure 5)[16]



Figure 10. Technique de rinçage manuel



Les plastiques retirés de la cuve doivent parfois être mise en attente avant de passer à l'essoreuse : avoir de grands paniers en plastique à linge faciles à vider dans l'essoreuse, d'où l'eau peut continuer à s'écouler.

Evacuation de l'eau

Les cuves sont équipées d'un tuyau de sortie vers le caniveau. L'eau, qui ne contient pas de détergents, n'est pas très sale (terre), et à moins que les plastiques lavés aient contenu des produits contaminant, elle peut être jetée comme telle sans provoquer de pollution.

Si le caniveau est petit:il faut veiller à ne pas vider d'un grand coup les plusieurs mètres cubes que contient la cuve, sous peine de provoquer des inondations.

Le tuyau de sortie doit être métallique (si on chauffe l'eau) et d'un diamètre d'au moins 50mm. Il devra être équipé d'une vanne solide.[16]

Filtration des eaux usées :

Il est important au moment où l'on jette l'eau, de mettre des filtres à la sortie même de la cuve, qui retiennent les petits bouts de plastiques, de papier etc. il faut en effet empêcher que ceux-ci soient évacués avec l'eau, car sinon ils boucheront les canalisations, provoqueront l'imperméabilisation des sols, et si l'eau est envoyée vers un puits perdu, celui-ci sera vite saturé et rempli.

Economie d'eau :

L'eau à changer le plus fréquemment est celle de la cuve de lavage qui reçoit les impuretés. Elle s'encrasse après une quinzaine de jours et commence à sentir mauvais. Pour prolonger sa durée vie de l'eau, on peut y jeter un peu de chlore en poudre. Pour économiser l'eau, réutiliser l'eau de rinçage (peu sale) pour le lavage qui ne nécessite pas une eau très pure. Une petite pompe électrique de 1CV peut être utilisées pour ce faire (toujours utile dans l'atelier, important



de mettre des tuyaux flexibles - dont une haute pression- pour permettre de transvaser les eaux dans l'un ou l'autre sens en fonction des besoins) (*figure7*)



Figure 11. Pompe électrique de 1 CV

2.3 Essorage

Le séchage commence en enlevant la grosse partie de l'eau contenue dans les plastiques via l'essorage des matières.

Appareil :

Pour ce faire, on utilise une essoreuse à tambour vertical simple et rustique qui peut être fabriquée artisanalement : le bâti est fait de fer "U" et cornière récupérées, sur lequel est fixé un tambour (qui doit être très solidement fixé) soit récupéré d'une ancienne machine à laver soit fabriqué à partir d'une tôle percée de petits trous cintrée en forme de cylindre et fixée autour d'un axe avec de solides rayons (dans ce cas, veiller à la qualité de fabrication : rayons et axe solide, cerclage du tambour pour éviter les déformations). Le tambour est actionné via une poulie placée en bas et reliée par une courroie à un moteur de 3 ou 4 chevaux, soit électrique, soit à essence.[16] (*figure7, figure8*)



Figure 12. Essoreuse



Figure 13. Une essoreuse équipée d'un tambour qui peut basculer après essorage pour faciliter les opérations de vidage des plastiques est beaucoup plus productive.

Comment procéder ?

- Il est recommandé de maximiser le volume des charges (sans exagérer pour ne pas surcharger la machine), car la différence de durée d'un essorage complet entre une machine peu ou fort chargée n'est pas grande, alors que les pertes de temps son plus grande quand on multiplie le nombre de chargements-déchargements.
- Il faut veiller à équilibrer la charge dans le tambour lors du remplissage de l'essoreuse, pour éviter trop de vibrations
- Tasser si nécessaire le plastique dans l'essoreuse. Ne pas laisser le plastique monter jusqu'au-dessus du rebord du tambour, sinon une partie volera alentours et provoquera des pertes de matières
- La durée pendant laquelle la machine doit tourner est variable, elle est de l'ordre de 5 à 10 minutes. Elle dépend de la quantité de matière chargée. L'essorage est terminé lorsqu'il n'y a plus de gouttes d'eau qui coulent en bas de la machine



- Le plastique qui sort de l'essoreuse n'est plus mouillé : il est seulement humide
- Si l'essoreuse est équipée d'un tambour basculant, il faut déverser les plastiques sur une bâche propre posée sur le sol.
- Une fois récupérés, les plastiques, les mettre dans un sac propre
- Du plastique tombe souvent sur le sol : le faire repasser par le lavage

2.4 Séchage : évaporation des résidus d'humidité par exposition au soleil :

Toute l'humidité doit être évacuée des plastiques lavés pour éviter la perte de temps pendant l'agglomération.

A conditions de disposer d'un grand espace et qu'il ne pleuve pas, les plastiques peuvent être étendus au soleil. Et en plus, c'est la méthode la plus économique.

Appareil : soleil et table de séchage

Pour accélérer le séchage et éviter que les poussières du sol ne se déposent sur les plastiques il faut disposer de *tables de séchage* (pas trop large, pour permettre à l'opérateur d'accéder avec le bras au milieu de la table, et de la hauteur d'une table normale. L'armature peut être légère (par exemple fer à béton de 8 ou de 10), sur le plateau de laquelle est tendu un treillis à lapin, avec un rebord de 10 cm à chaque coin de la table (contenir les plastiques au moment où ils sont vidés, et éviter qu'ils ne tombent sur le sol lors de la manipulation ou à la moindre de brise. Lors du séchage, une toile de moustiquaire est étendue sur toute la surface de la table et sur les rebords, qui peuvent être enlevée avec les plastiques dedans.



Figure 14 . Table de séchage équipé de mailles.

Les mailles offrent une ventilation du bas vers le haut, facilitant l'évaporation et l'eau passe tombe par terre à travers elles. Elle s'évapore également vers le dessus par l'effet de la chaleur sur la surface supérieure des plastiques. La hauteur des tables permet aux opérateurs d'être à bonne hauteur *de remuer de temps en temps les plastiques pour les décoller les uns des autres et faciliter leur ventilation.*

***Le temps de séchage** est très variable : **de 15 minutes à 2 heures** en fonction de la chaleur ambiante, du degré d'humidité et de l'épaisseur de la couche de plastiques. On étend une couche de **max 10 cm** d'épaisseur de matière non tassée sur la table (au-delà le séchage est très lent).

✚ Malheureusement cela représente un poids limité par rapport à la surface. Il est nécessaire de disposer de grands espaces pour sécher des quantités significatives de plastique or c'est rarement le cas en ville. C'est la raison pour laquelle il faut développer d'autres systèmes de séchage comme le four ou le tube rotatif à infra-rouges ou des systèmes de filtration spéciaux pour le traitement du PET ou encore des procédés de cristallisation.

2.5 Séparation des granulats de plastiques :

Un séparateur est un appareil disposé dans les ateliers de déchiquetage pour trier la matière en sortie du broyeur entre fines et grosses particules.

- les grosses particules sont renvoyées au broyeur pour être affinées.
- Les fines constituent la production.



Ainsi, après la collecte, les traitements des plastiques bruts consistent au triage jusqu'à avoir des granulats de plastiques. Maintenant, dans la deuxième partie de la transformation nous allons mélanger les plastiques granulés avec ses adjuvants comme sable, gravillon, sciure de bois, jusqu'à en avoir des produits finis : pavés, tuiles, et briques.

II. Production des pavés, tuiles, briques. Et présentation de la nouvelle presse

1 Préparation des granulats et dosage des matières premières :

Beaucoup d'études sont déjà faites par beaucoup de recycleurs. [5],[19],[20],[29]

- ❖ Le sable est utilisé comme charge dans le matériau. Son incorporation dans le thermoplastique fondu améliore les propriétés diélectriques, la résistance à la chaleur, la dureté, la résistance à la compression et à l'humidité des objets moulés. Le sable joue aussi le rôle de plastifiant afin d'améliorer la fluidité à chaud du mélange. Il faut donc utiliser :
 - Du **sable** ayant une granulométrie comprise *entre 0.08 mm et 2 mm* pour les **tuiles**;
 - Du **sable** ayant une granulométrie comprise *entre 0.08 mm et 5 mm* pour les **briques** et les **pavés**.
- ❖ Les **gravillons** constituent les squelettes du matériau et il faut utiliser principalement des gravillons ayant une granulométrie de :
 - *2/6* pour la brique
 - *4/14* pour le pavé.
- ❖ Et pour améliorer le rendement d'autres entreprises ont ajouté en outre, du son de riz et des sciures de bois. Un rendement comme : *60kg* de résultats sur *20kg* de déchets utilisés.



Pesage des matières premières

Il consiste à peser les différentes matières premières utilisées pour la fabrication du matériau.

2 Cuisson et malaxage [20],[29]

Après les procédures de triage, de nettoyage et de pesage, les déchets sont chauffés et mélangés dans *le malaxeur*. Il est utile de chauffer le malaxeur avant l'introduction des déchets plastiques. Cette introduction de déchets se fait d'abord en ouvrant la cuve.

Les paramètres majeurs de la transformation sont la température et le temps. Le plus important est la régulation de la température pour éviter la carbonisation du mélange.

On procède ensuite à la cuisson en augmentant progressivement la température jusqu'à **260°C**, et en tournant la manivelle d'environ **10 tours/minute**.

Au fur et à mesure, on insert les plastiques dans le malaxeur.

Cette opération fournit une pâte fondante et homogène sans bulles. Elle dure 100 minutes environ. La température conditionne principalement la viscosité, les dilatations et retraits, les contraintes résiduelles, la cristallinité. Elle est **limitée en fonction de la thermodégradation du polymère**. La dégradation des matériaux de renfort ou d'apport, peut imposer des contraintes supplémentaires. La température de transformation a également des conséquences sur la consommation d'énergie, le refroidissement et le coût final. La température varie de **150 à 260°C**.

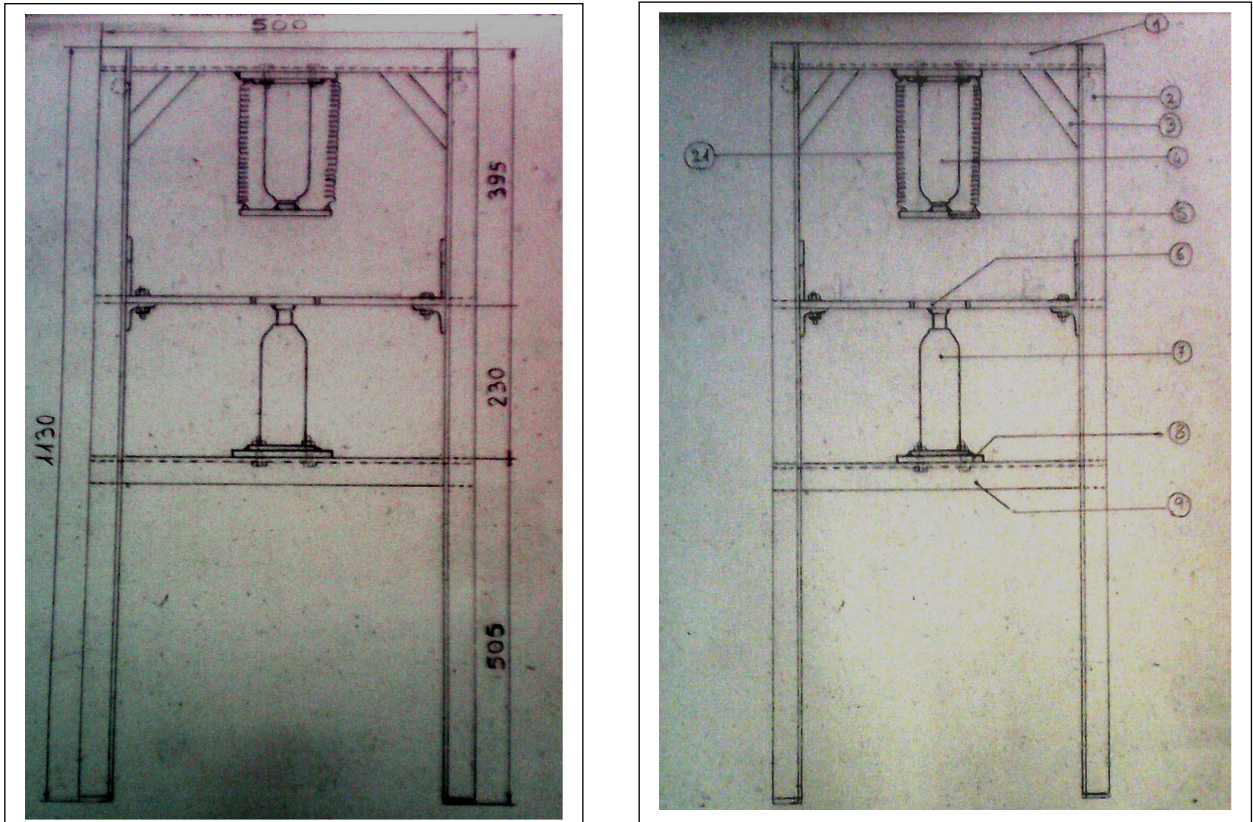
Après les plastiques, on y verse le sable jusqu'à ce que ça soit de nouveau homogène. Après, on y ajoute progressivement les gravillons au mélange. Les sons du riz et les sciures de bois permettent davantage aussi l'amélioration de la qualité du produit fini.



3 Amélioration apportée: CONCEPTION D'UNE PRESSE A CRIC HYDRAULIQUE

Vue de face :

Figure 15 : la presse vue de face



REMARQUE :

Moule fixé sur le plateau

Plateau avec un trou permettant l'entrée du cric.

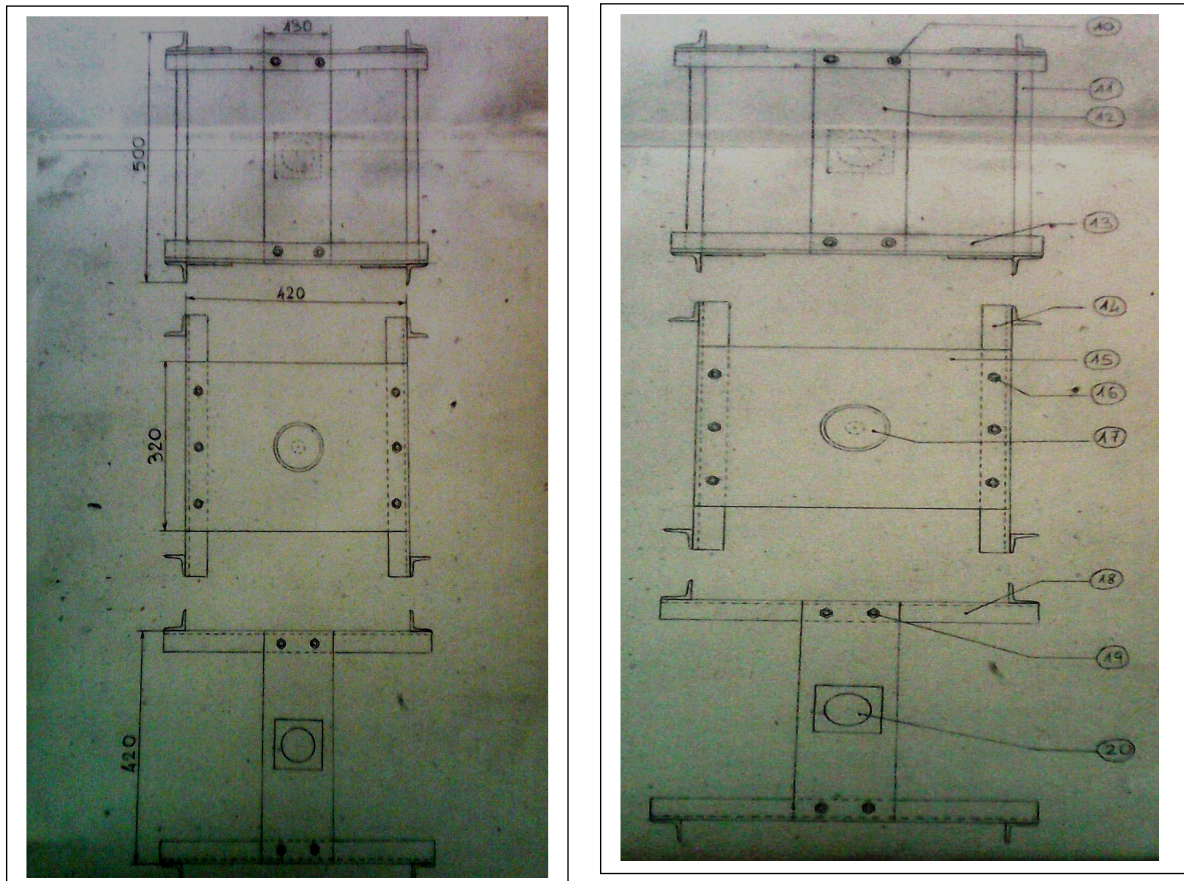
L'appareil est en acier, ou en alliage de fer.

Les piliers de la presse sont fixés sur le sol en béton.



Vu de dessus : cric supérieur, plateau avec trou au centre, cric inférieur :

Figure 16. La presse vue de dessus



Nomenclatures :

①, ⑨, ⑬, ⑭, 18: fer cornière 40 × 40 L 505

② : fer cornière de 40 × 40 L 1130

③ : fer plat 40 × 4

④, ⑦, ⑳ : cric bouteille de 5 T L 200

⑤ : TPN de 10 120 × 100

⑥ : plateau en TPN de 12 Ø 80 :

⑧, ⑫ : TPN de 12 420 × 130

⑩, ⑯, 19 : boulons µ 12 L 50

⑪ : tube Ø 30 L 420

*TPN : tôle plane noire



3.1 Description :

Cette presse consiste à faire

- Le moulage :

[10],[12],[20]

Le moule étant fixé sur le plateau de la presse⑥. Et la presse étant placée à côté du cuiseur malaxeur afin de faciliter le coulage de la pâte dans le moule fixé sur la presse. Ainsi, un système d'évacuation est nécessaire comme par exemple, le malaxeur devrait avoir un trou d'évacuation avec un couvercle : à ouvrir pour le coulage, et à fermer quand le volume voulu de la pâte versée dans le moule est atteint.

Après le malaxage et la cuisson, lorsqu'on peut constater l'homogénéité de la pâte, on passe tout de suite au coulage : on coule le mélange dans le moule qui est fixé sur ⑥ la pâte va prendre la forme de la moule,et cette opération doit se faire le plus rapide possible pour que la pâte ne se solidifie pas trop (au contact des parois froides) avant le compactage. Une moule peut porter environ **2 kg** de la pâte.

Conception des moules :

Le moule doit être robuste pour supporter les pressions élevées. Il doit être fabriqué à l'aide d'une plaque métallique ; soit en acier soit en alliage léger pour les applications moins contraignantes. Le moule est composé de couvercle qui sert de piston supérieur avec le cric, de base qui sert de piston inférieur avec le cric inférieur. [37]

Remarque : La moule nécessite une certaine préparation préalable comme huiler la surface interne de la moule pour faciliter le démoulage. Cette opération se fait à l'aide d'un pinceau et d'un peu d'huile de vidange. [19]



- **le compactage** :[15]

Afin que la pâte prenne la forme du moule, on la presse sur la *presse à cric hydraulique*④ qui est maintenu par un ressort qui permet au cric de monter et de descendre afin d'éliminer les vides et les pores qui pourraient emmagasiner de l'air. Le piston supérieur du moule (ou le couvercle) maintenu sur le cric sert pour le compactage. Après on fait remonter le cric.

- **Le démoulage**[19]

Après l'opération de compactage on procède au démoulage en libérant le cric bouteille inférieur⑦ pour donner un coup de pousse au piston inférieur du moule (ou la base).

N.B : l'opération de refroidissement ne se fait pas sur la presse mais se fait après le démoulage, c'est-à-dire juste après le compactage, on passe tout de suite au démoulage. Ceci est dans le but de gagner davantage de temps.

. Pour donner plus d'esthétique au produit. On peut aussi le **peindre** pour améliorer les caractéristiques des surfaces externes.[19]

3.2 Avantages de la nouvelle presse :

- ✓ Facile à manipuler : quel que soit la taille du manipulateur ou de la manipulatrice
- ✓ Ne fatigue pas : le manipulateur n'a pas besoin de faire beaucoup d'efforts physique
- ✓ Triple fonction : moulage, compactage et démoulage.
- ✓ permet de gagner de vitesse donc, augmentation des nombres de produits finis ;



4 Résultat des essais et discussion :

Comme déjà dites dans l'introduction, les matériaux à fabriquer sont: des pavés, des tuiles et des briques.

Leurs compositions ont de proportions différentes parce que ces dernières sont en fonction de :

- la charge de rupture
- la résistance à la compression
- le poinçonnement
- la résistance à l'usure

Le tableau suivant résume le ratio sable/plastique, l'épaisseur de pavé, la charge de rupture, la résistance à la compression et le poinçonnement correspondants ainsi que le mode de refroidissement fait :

Nature des essais effectués pour le pavé : [36]

- Sable de fonderie et sable de rivière
- Rations sable (de rivière / plastique de 50/50, 60/40, 70/30, 80/20
- Epaisseur de pavés de 4 et 8 cm
- Refroidissement à l'air et à l'eau



Ration Sable/plastique	Epaisseur Pavé (Cm)	Charge de rupture (kN)	Résistance à la compression (MPa)	Poinçonnement	Mode de refroidissement
50/50	8	8.6	3.6	20.7	eau
	8	30	4.2	23	air
	4	4.69	1.16	12.67	eau
	4	9.1	2.3	15	air
60/40	8	8.9	1.8	11.6	eau
	8	29.29	3.37	16.6	air
	4	4.3	0.90	10.3	eau
	4	9.3	2.1	19.3	air
70/30	8	17.26	3.07	25.67	eau
	4	3.75	1.47	23	eau
80/20	8	11.32	2.38	18.5	eau
	4	4.92	1.75	18.17	eau

Tableau montrant les résultats des différents essais de l'industrie PAPREC[36]

Principaux résultats obtenus

- Les **ratios sable / plastique** extrêmes (40/60 et 80/20) présentent les plus faibles charges de rupture et résistance à la compression indépendamment du type de sable
- Le **refroidissement** à l'air meilleur qu'avec de l'eau;
- **Taux d'absorption d'eau** 0%
- Retrait important lorsque la quantité de plastique > à 30% en masse;
- Dans tous les cas les **valeurs de résistance à la compression restent < 45 Mpa** ≈ Normes pour les chaussées ;
- Les pavés montrent une faible dureté, 5 max, rayable au couteau d'après l'échelle de dureté de Mohs.



Mégapascal (MPa) : Unité de mesure de pression utilisée pour évaluer la résistance mécanique des mortiers et bétons.

1 Mégapascal = 1 newton/mm² (anciennement 10 bars).

4.1 Résistance à la compression

[15],[19]

Pour le test de la résistance à la compression, on a préparé des éprouvettes parallélépipédiques de dimension de 50 mm x 50 mm x 20 mm à partir des échantillons de pavé réalisés (nous avons coupé les briques à l'aide d'une scie diamantée). Les éprouvettes subissent les essais à l'écrasement sur la presse hydraulique. Le principe consiste à positionner les éprouvettes entre les plateaux d'une presse, puis soumettre progressivement à une charge jusqu'à la rupture par compression (écrasement sous charge axiale).

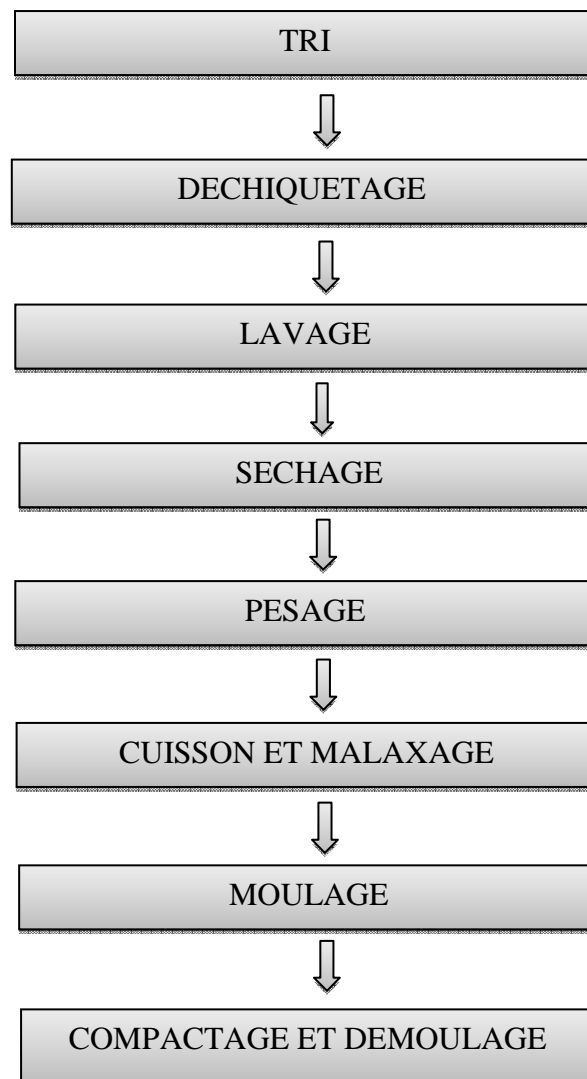
4.2 Porosité

[3],[10],[15],[19]

La porosité est le rapport du volume des vides et du volume total du matériau; c'est-à-dire le volume occupé par l'air, l'eau ou les deux fluides simultanément ; au volume total de l'éprouvette. Plus la porosité est du voisin de 0, plus le produit est plus résistant. L'ajout de sable a aussi un impact positif au matériau car les fines particules remplissent les vides interstitiels entre les gravillons et diminuent la porosité du produit final.



SCHEMA RESUMANT LES ETAPES DE VALORISATION DES DECHETS EN MATIERES PLASTIQUESDANS LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION :





Nous avons pu mettre en place tous les unités de production de matériaux de construction par le recyclage des déchets plastiques. Cependant, nous ne négligeons pas ses impacts sur l'environnement. Ce qui nous amène à la dernière partie de ce travail.

III. les impacts environnementaux

1 Définitions :

✚ L'environnement est l'ensemble des éléments naturels et artificiels, au sein duquel se déroule l'existence humaine. Avec les enjeux écologiques actuels, le terme environnement tend actuellement à prendre une dimension internationale. L'environnement est composé du milieu humain (social, santé et sécurité, culture, économie et système de production), et du milieu physique (sol, air, eau)

✚ Un impact est un effet pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une activité humaine sur l'environnement. Certes tout système a des impacts environnementaux négatifs et positifs.

2 Evaluation des impacts :

Impacts positifs :

- La valorisation des déchets en matières plastiques se traduit par la réduction de déchets stockés en décharge ou encore la diminution des opérations d'extraction de matières premières donc elle contribue :
 - à assainissement l'environnement urbain et à offrir aux populations un cadre de vie agréable et sans danger.
 - à diminution des risques de pollution de l'air et des sols.



- à la réduction des émissions de gaz à effet de serre : le recyclage matière d'un kg d'emballages plastiques mélangés réduit la production de gaz à effet de serre de 0,95 kg CO₂ eq. (Gautron 1994 ; Claude, 2004)
- le recyclage minimise la consommation d'énergie et d'eau
- Le recyclage a également une grande importance dans le développement d'une économie verte, en ayant des effets directs sur la croissance économique et la création d'emplois.

Impacts négatifs et solutions :

- Pollution de l'air :

Il faut envisager à diminuer ou à traiter les fumées dégagées.

⇒ Adopter un système de chauffage à combustion inversée. Ce système de chauffage permet non seulement d'obtenir la combustion complète du combustible mais aussi de réduire le coût de combustible utilisé (rendement élevé). Cela permet donc de faire des économies d'énergie tout en respectant l'environnement. (Le Net, 2008 ; Mandimbisoa 2012 ; Desplanches et Chevalier, 1999). Grâce au principe de combustion inversée, on utilise une énergie propre permettant de réduire le niveau d'émissions de CO₂ et des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

- Pollution des routes parcourues par les véhicules de transport des déchets :
 - ⇒ récupération et nettoyage des sols souillés
- pollution de l'eau et du sol à cause des eaux usées évacuées due au procédé de lavage et de dégrassage :
 - ⇒ déjà dite dans le paragraphe « procédé de lavage », il faut traiter les eaux comme par exemple par la méthode de filtration.



CONCLUSION

En guise de conclusion, nous avons pu voir les différentes techniques de production d'objets de construction à base de déchets plastiques thermoplastiques à l'échelle pilote mais aussi la valorisation est dépendante de la propreté, de l'homogénéité des déchets à recycler et du bon vouloir du citoyen.

Et contrairement à ce que beaucoup de gens les pensent, les déchets plastiques sont une véritable ressource de développement durable pour un pays car non seulement son traitement et sa valorisation entraînent un développement écologique : protection de l'environnement, mais aussi un développement socio-économique : création de travail pour la population locale.

Ainsi afin de progresser dans cette voie, les producteurs et recycleurs devraient se coopérer et il faut aussi favoriser l'apport volontaire par la mise en place de points de collectes et imposer des poubelles supplémentaires dans lesquelles les personnes ne placent que des déchets facilement recyclables : papier-carton, verre, métal, bouteille et flacons en plastiques.

Cependant, nous pouvons encore envisager une autre exploitation des plastiques usagés : vu que leur pouvoir calorifique est aussi élevé que celui du pétrole, ne peuvent-ils donc pas le remplacer comme source d'énergie ?



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ALAIN DAMIEN(2009), *Guide du traitement des déchets - 5ème édition*, Dunod,448p
2. Barbain F. et Chevalier A., (1997) « Mise en œuvre des composites-méthodes et matériels », Technique de l'ingénieur, .
3. Berthelot J.M., (2012) « Comportement mécanique et analyse des structures, Matériaux composites », Lavoisier 5è Édition, Paris
4. Cap sciences (2006): Dossier enseignant : Les transformations des plastiques, « voyage en industrie ».
5. CASCADE FONDERIE (2011), *Expérience de l'unité de fabrication de pavés plastiques*, Projet Stratégie de Réduction des Déchets de Ouagadougou Création d'Emplois et de Revenus par des actions de collecte, de tri et de valorisation (PSRDO-CER)
6. Chafi N., (2005). « Matrice cimentaire renforcée de fibres, valorisation des sous-produits (polystyrène, copeaux d'acier et copeaux de bois) », Thèse de magister, filière Génie civil.
7. Claude D., (2004) « Matières plastiques et environnement, Recyclage-valorisation-Biodégradabilité-Ecoconception, l'usine nouvelle », DUNOD, 2è édition, 310p
8. CLAUDE DUVAL, *Matières plastiques et environnement*(2009),Dunod,352p
9. Damien A., (2009) « Guide du traitement des déchets», Paris, DUNOD L'usine nouvelle, 5ème édition. 1 Vol (VIII – 439p)
10. Desplanches H. et Chevalier J.L., (1999) « Mélange des milieux pâteux de rhéologie complexe-Pratique – Environnement du mélangeur », Technique de l'ingénieur, J 3861.
11. Défauts d'injection - Contrôle qualité», DUNOD, Aide-mémoire, 3è édition.
12. Desplanches H. et Chevalier J.L., (1999) « Mélange des milieux pâteux de rhéologie complexe-Théorie », Technique de l'ingénieur, J 3860.
13. Durao L.M.P. (2005), « MachiningefHybrid Composites », Mémoire d'ingénieur en Ingénierie mécanique, Université de Porto.
14. Gautron. P., (1994) « Valorisation et recyclage des déchets », Technique de l'ingénieur AM3830,
15. Haudin Portugal J.M., (2005). « Solidification et mise en forme des polymères », CEMEF.



16. JEAN-CHRISTOPHE MAISIN, BENOIT MPOYI, PHILIPPE LANGOUCHE, *Guide technique d'une chaîne de recyclage des sachets plastiques dans les pays en développement*, Ingénieurs sans Frontières, 28p.
17. Le Net E., (2008) « Référentiel combustible bois énergie : les connexes des industries du bois-définition et exigences »
18. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par FCBA, Paris
19. Mada- revues Hary(2014), *Valorisation à l'échelle pilote des déchets plastiques pour la fabrication de matériaux de construction*, Revue, vol.2 , pp54 – 69
20. Mandimbisoa M-, (2012) « Installation d'une unité pilote de valorisation des déchets plastiques en matériaux de construction : tuile et brique », Mémoire d'Ingénieur. Département Génie chimique, ESPA, Université d'Antananarivo-Madagascar.
21. MENS (2001), *Le recyclage des plastiques : mens sana in terra sana*, MECHELEN, 20p.
22. Michel B., (2010) « Transformation des matières plastiques », Aide-mémoire, DUNOD, L'usine nouvelle, Paris.
23. MICHAUX J. (1987), *Recyclage par plastification des déchets de plastique extraits des ordures urbaines*, communautés européennes- commission, 38p.
24. OFEV, (2001). « Recyclage des matières plastiques en Suisse, » Exposé de la position de l'OFEFP,
25. Pichon J.F. et Guichou C., (2014) « Injection des matières plastiques, Fiches matières-Installation de pro.
26. PLASTICS EUROPE(2011) , *La valorisation des polymères plastiques en Europe et en France* ,75ème congrès ACIT – ITECH Lyon
27. PIERRE PIRSON, CLAUDE MARTIN ANDRE TADINO, ALAIN BRIBOSIA , *Chimie 5è sciences générales*, Boeck, 200p.
28. Quentin J.-P. (2004), « Polyéthylènetéréphtalate (PET): aspects économiques », Techniques de l'ingénieur.
29. Roustan M., (2005), « Agitation. Caractéristiques des mobiles d'agitation », Technique de l'ingénieur, J 3802.
30. S. Colombano, A. Saada, V. Guerin, P. Bataillard, G. Bellenfant, S. Beranger, D. Hube, C. Blanc, C. Zornig et I. Girardeau, (2010) *Quelles techniques pour quels traitements - Analyse coûts-bénéfices*, BRGM/RP - 58609 – FR, 403p.



WEBOGRAPHIE :

31. IPEC, *Aperçu général du recyclage des plastiques*, www.plastics.ca/epic
32. www.valorlux.lu/fr/plastique
33. <http://agir.avec.madagascar.over-blog.com>: Des pavés à partir des déchets plastiques
34. www.wikipédia.com : recyclage
35. www.consoglobe.com: Pourquoi et comment recycler les plastiques
36. www.paprec.com/comprendre-recyclage/recyclage-plastique/collecte-plastiques
37. www.futura-sciences.com/magazines/matiere/infos/dico/d/chimie-plastique-13438/#comments
38. Mandimbisoa M-, (2011) «contribution à la valorisation des déchets d'emballage plastique en p olyéthylène téréphtalate dans les matériaux de construction : tuile», Mini-projet. Département Génie chimique, ESPA, Université d'Antananarivo-Madagascar
39. <https://mrmondialisation.org/des-briques-de-plastique-recycle/>



Table des matières

INTRODUCTION :	3
I. Traitements des plastiques bruts	6
1 Organisation post-traitement :	6
1.1 COLLECTE	6
1.2 Le tri :	7
1.2.1 Le tri manuel ou la collecte sélective	7
1.2.2 Tri par flottaison	8
1.2.3 Tri par un séparateur magnétique :	9
1.3 Découpe manuel	9
1.4 Le décrassage manuel	9
1.5 Stockage	10
2 Transformation du plastique en granulés	11
2.1 Déchiquetage : - avec déchiqueteur-agglomération / -utilisation du broyeur	11
2.1.1 Appareil : de déchiquetage n° 1 : avec le déchiqueteur-agglomérateur	12
2.1.2 Appareil de déchiquetage n° 2 : utilisation du broyeur à couteaux rotatifs pour plastiques durs	12
2.2 Procédé au lavage	14
2.3 Essorage	18
2.4 Séchage : évaporation des résidus d'humidité par exposition au soleil :	20
2.5 Séparation des granulats de plastiques :	21
II. Production des pavés, tuiles, briques. Et présentation de la nouvelle presse	22
1 Préparation des granulats et dosage des matières premières :	22
2 Cuisson et malaxage	23
3 Amélioration apportée: CONCEPTION D'UNE PRESSE A CRIC HYDRAULIQUE	24
3.1 Description :	26



3.2	Avantages de la nouvelle presse :	27
4	Résultat des essais et discussion :	28
4.1	Résistance à la compression	30
4.2	Porosité	30
III.	les impacts environnementaux	32
1	Définitions :	32
2	Evaluation des impacts :	32
	Impacts positifs :	32
	Impacts négatifs et solutions	33
	CONCLUSION	34
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35

Liste des figures

Figure 1. Les différentes méthodes de gestion des déchets [21]	5
Figure 2. Montagne d'ordure d'Andralanitra	7
Figure 3. SAMVA en train de collecter les bacs à ordures	7
Figure 4. Un ancien container désaffecté comme abri de stockage des matières	10
Figure 5. Déchiqueteur -agglomérateur	12
Figure 6 , Figure 7. Broyeur primaire.	13
Figure 8 .Cuve de lavage avec un malaxeur pour brassage	15
Figure 9. Lavage des matières	15
Figure 10. Technique de rinçage manuel	16
Figure 11. Pompe électrique de 1 CV	18
Figure 12. Essoreuse	19
Figure 13. Une essoreuse équipée d'un tambour qui peut basculer après essorage pour faciliter les opérations de vidage des plastiques est beaucoup plus productive.	19
Figure 14. Table de séchage équipé de mailles.	21
Figure 1 : Les Différentes méthodes de gestion des déchets	5
Figure 2 Montagne d'ordure d'Andralanitra	7
Figure 3 SAMVA en train de collecter les bacs à ordures	10
Figure 4 Un Ancien container désaffecté comme abri de stockage des matières;	10
Figure 5 Déchiqueter agglomérateur	12
Figure 6 Figure 7	13
Figure 8 Cuve de lavage avec un malaxeur pour brassage	15



Figure 10. Technique de rinçage manuel	16
Figure 11. Pompe électrique de 1 CV	18
Figure 12. Essoreuse	19
Figure 13. Une essoreuse équipée d'un tambour qui peut basculer après essorage pour faciliter les opérations de vidage des plastiques est beaucoup plus productive.	19
Figure 14. Table de séchage équipé de mailles.	21
Figure 15 : la presse vue de face	24
Figure 16. La presse vue de dessus	25