

Mini-guide

Passer d'une échelle artisanale à semi-industrielle pour la production de pavés (ou tuiles)

Tout savoir sur la filière "plastique - sable"



Points clefs d'apprentissage :

- *Mieux comprendre les enjeux de la filière "plastique - sable"*
- *Identifier les obstacles*
- *Savoir comment passer à l'action*



Sommaire

1. Introduction	3
Contexte	3
La filière plastique - sable	3
2. Rappels sur la filière artisanale	4
Présentation et exemple	4
Avantages et inconvénients	6
3. Description de la filière semi-industrielle	7
Les grandes étapes du processus de fabrication	7
Le schéma opérationnel	11
Métriques opérationnelles pour le pavé (et la tuile)	12
Dispositif technique (machine et investissement)	13
Besoin en en électricité et eau	15
Conseils en maintenance : entretien des machines et équipements	16
4. Pourquoi et comment passer à l'échelle supérieure ?	18
Avantages et inconvénients	18
Les obstacles et solutions	19
5. Etudes de cas	21
BGS Recyplast en République de Guinée	21
La Fabrik à Djibouti	23
Autres études de cas	24
Discussion et conclusion	25



Les contenus de ce guide sont proposés en **open source**

NB : Les informations dans ce guide sont un "travail en cours" et les informations sont susceptibles d'évoluer en même temps que notre recherche. Tout retour est le bienvenue par email à jean-baptiste@plasticodyssey.org. Merci

Introduction

Contexte

Avec seulement 9% de plastiques recyclés dans le monde sur les plus de 400 millions de tonnes produites chaque année, la route à parcourir est longue. Pour les plastiques dits à haute valeur comme les bouteilles PET, certains PE ou PP, des voies de recyclage traditionnelles existent, pourvu que celles-ci soient accessibles ou que les plastiques vérifient des critères assez strictes. Pour une grande partie des autres plastiques, ceci n'est pas possible actuellement et même pour les PE ou PP, notamment souples mais aussi parfois rigides, le manque de marché, de solutions de proximité ou de collecte fait que ces plastiques ne verront jamais les filières de recyclage traditionnelles.

La filière plastique - sable

Pour ces plastiques à faible valeur commerciale, il devient alors légitime de s'intéresser à des alternatives à ces filières traditionnelles pour trouver des alternatives évitant la pollution plastique, le brûlage ou incinération. C'est dans ce cadre que le procédé de transformation de déchets plastiques mélangés à du sable en matériaux de construction comme les pavés, les briques ou les tuiles est une pratique assez connue dans le secteur de la transformation des déchets plastiques, notamment en Afrique et dans le secteur informel car le plastique et le sable sont disponibles en abondance, le besoin en matériaux de construction est important et dans certains marchés, ces produits en mix plastique-sable se trouvent être des alternatives compétitives aux produits en ciment ou béton.

A court terme, cette pratique permet de se faire la main sur le recyclage des plastiques et de tester le marché : mise en place d'un système de collecte ou d'approvisionnement en plastiques, d'une petite équipe pour réaliser les étapes de transformation et la recherche de débouchés pour vendre les pavés et être rentable.

Il existe de nombreuses façons de procéder mais la plus répandue d'entre elles reste la méthode dite artisanale, décrite dans la section 2. Cette méthode a des avantages mais aussi des inconvénients et il apparaît pertinent pour beaucoup de porteurs de projets, de tenter de passer à une échelle supérieure pour se développer voire même pour survivre. C'est ce que nous allons étudier dans ce mini-guide.

2. Rappels sur la filière artisanale

La première façon de transformer les plastiques en pavés et la plus connue, notamment répandue en Afrique, prend la forme d'un système artisanal et très low-tech.

Il ne nécessite que **très peu d'équipements** :

- une cuve métallique type "marmite" (pour chauffer et faire le mélange fondu plastique - sable)
- un bâton mélangeur
- Moules mécano-soudés
- Table en métal pour moulage / séchage
- Truelle pour moulage

En termes de consommables, il est nécessaire d'avoir :

- un moyen de chauffe de la cuve de transformation (bois, gaz etc) ;
- plastiques (souples et rigides)
- sable (sec)

Les grandes étapes du processus de fabrication



Collecte plastique



Transformation



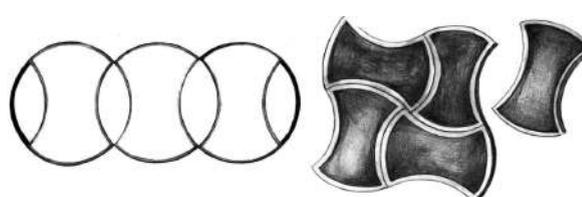
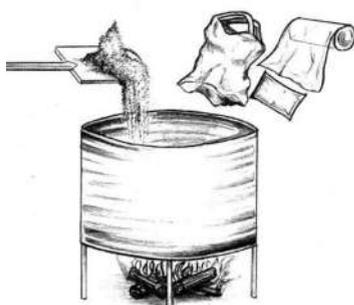
Moulage



Produits finaux

Crédits Photos - BGS Recyclast - République de Guinée (process avant 2022/2023 et le passage à l'échelle semi-industrielle)

Le [guide de WasteAid](#) (en anglais) résume assez bien le processus et les enjeux dont voici ci-dessous quelques photos et extrait pour les moules et la cuve :



Un autre document de Ingénieur sans frontière et CEAS / CEAS Burkina présente une solution artisanale : [Fiche technique valorisation des déchets plastiques en pavés](#).

La "recette" plastique - sable :

WasteAid donne aussi ses analyses pour la recette qu'ils ont testé pour le mélange plastique - sable et qui est plutôt raisonnable :

"La résistance du pavé dépend du mélange avec le sable. Des tests en laboratoire indiquent que le mélange optimal est de 3 parts de sable pour 1 part de plastique (3:1 sable:plastique), mais il est fortement recommandé d'essayer différents mélanges. Commencez par un mélange de sable et plastique de 50:50, puis augmentez la proportion de sable à 60:40 et 70:30 pour voir ce qui vous convient le mieux. Un mélange de 75:25 fonctionne bien pour les pavés à utiliser dans un complexe résidentiel. En général, les dalles contiennent plus de sable que de plastique, car le plastique sert d'agent de liaison pour maintenir le sable ensemble".

Quels plastiques peut-on traiter ?

Il est important de noter que le plastique utilisé généralement ici est un mélange de PE (Haute Densité ou Basse Densité) et PP (souple ou rigide).



(a) PEHD



(b) PEBD



(c) PP

Les PEBD et PP souple incluent : films, sacs, poches à eau

Les PEHD et PP rigides incluent : caquettes, jerricanes, bouchons, chaises, bassines etc

Les PVC et PS/EPS sont à proscrire pour des raisons de toxicité (rejets de fumées toxiques).

Également, les PET (bouteilles d'eau /soda) fondent à des températures plus élevées et refroidissent assez vite et risquent de créer des infondus ou problèmes de qualité. Ils ne se mélangent pas bien avec les PE et PP (polyoléfinés). Les photos issues du projet de La Fabrik à Djibouti (au démarrage du projet avec une filière artisanale) illustrent bien ce problème avec un plastique PET utilisé ici.



Avantages et inconvénients

Voici ci-dessous un tableau qui compare les avantages et inconvénients de cette approche :

	Avantages	Inconvénients
Financier	Très peu cher ! (quelques centaines d'euros seulement pour les équipements de base - sans compter le terrain / hangar)	
Technique et opérationnel	Très facile à opérer et facile de se procurer les équipements	<ul style="list-style-type: none"> - Petite capacité de production (100 à 200 pavés par jour maximum par cuve) - Travail manuel et fastidieux pour le mélange
Économique	Cette solution permet de mettre très rapidement sur le marché des premiers produits.. (En revanche, atteindre des produits de qualité suffisante et qui se vendent bien et en quantité est plus difficile et chronophage)	Avec une capacité de production limitée et demandeur en ressources humaines, la rentabilité est affectée
HSE (Hygiène Sécurité Environnement)		<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle de la température difficile, brûlage fréquent et émission de fumées à ciel ouvert (risque pour les

		opérateurs s'ils ne sont pas protégés, pertes en matière, méthode de chauffe souvent assez polluante pour l'air)
Qualité		Risques d'irrégularités dans les produits, qualité limitée dues à une température de chauffe peu maîtrisée

En résumé, la solution à échelle artisanale peut être intéressante pour prototyper, commencer à transformer la matière, se faire la main à moindre coût. Elle est dans beaucoup de cas incontournable à des échelles locales faute d'alternatives, d'autres solutions ou de moyens financiers. En revanche, cette technique reste limitée en termes de capacité de production et donc d'accès au marché mais aussi une remise en question à cause des standards de qualité et de sécurité.

Dans la section suivante, nous étudions cette filière mais à une échelle semi-industrielle.

3. Description de la filière semi-industrielle

La filière semi-industrielle tente de tirer le meilleur des deux mondes entre une filière locale et des standards et une capacité de production qui se rapprochent plus d'un modèle industriel.

Cette filière va donc nécessiter à la fois plus d'équipements et machines ainsi qu'un protocole opérationnel plus précis et plus rigoureux mais tout en restant relativement simple d'utilisation et accessible. Une telle filière nécessitera bien sûr un investissement plus conséquent mais bien en deçà d'usines industrielles.

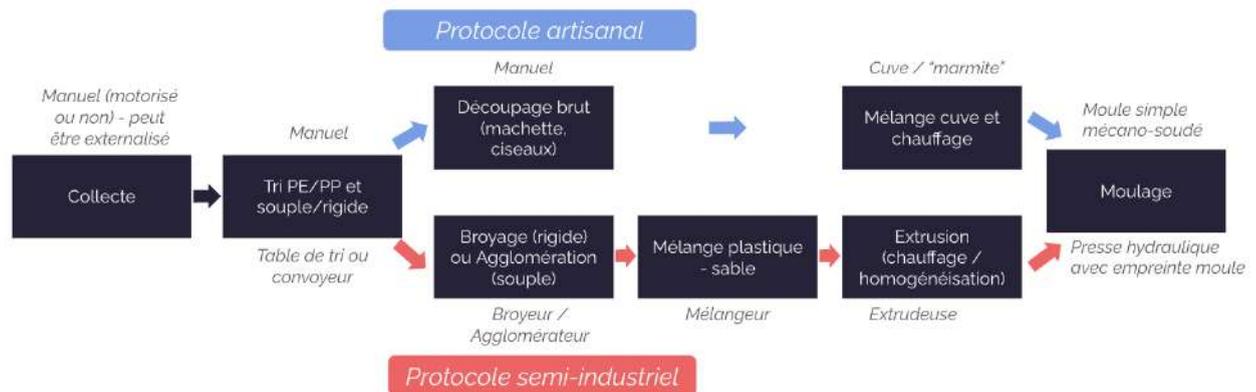
Pour schématiser, en échelle d'investissement, on aurait :

- la filière artisanale : 1 000 à 10 000 EUR d'investissement;
- la filière semi-industrielle (Plastic Odyssey) : 50 000 à 150 000 EUR d'investissement
- la filière industrielle : 500 000 / 1 m EUR à 10 - 20 million EUR d'investissement et plus

Les grandes étapes du processus de fabrication

Le document ci-dessous présente le protocole semi-industriel comparé au protocole opérationnel artisanal.

La grande différence réside évidemment dans la mécanisation du processus afin de découpler la capacité de production et augmenter les standards de qualité et HSE en général.



Nous allons détailler ci-dessous le processus sur ses plusieurs étapes clés :

- 1) La collecte, approvisionnement en plastiques et pré-tri :** comme présenté dans la section 2, les plastiques polyoléfinés (catégories 2, 4 et 5) sont recommandés (PEHD/PEBD/PP souples ou rigides) car ils ont des propriétés suffisamment proches pour être traités séparément ou en mélange, avec des propriétés de fusion assez proches. Les PET, PS ou PVC sont évités pour des raisons de propriétés et dangerosité (PET avec des contraintes de fusion différentes, plus difficiles à recycler à des échelles semi-industrielles de manière générale).

NB : Il est important de sélectionner les bons plastiques à la base pour éviter de collecter ou de payer de la matière non-utile, générant un résidu à évacuer par la suite.

Cette étape peut être internalisée ou conduite avant l'arrivée au centre en choisissant précisément le gisement auprès des fournisseurs.

- 2) le tri des plastiques :** les plastiques sont séparés entre les différents types ou au moins entre souples et rigides afin de favoriser l'étape de pré-traitement suivante qui diffère en fonction de la densité des plastiques.

NB : Il est important de noter qu'on fait l'hypothèse ici d'un déchet plastique non mélangé à des matières organiques ou non souillé outre mesure. Le plastique dans ce cas n'a pas besoin de subir une étape de lavage / séchage car la poussière ou quelques impuretés inertes ne posent pas de problème dans le processus car le plastique est ensuite mélangé au sable.

- 3) le pré-traitement des plastiques :**

- le broyage pour les plastiques rigides (jerricanes, bassines, bouteilles de shampoing, bouchons de bouteilles etc) pour en faire des copeaux de **5 à 15 mm** (via un broyeur)



- l'agrégation des plastiques souples (sacs plastiques, films plastiques, poches à eau etc) pour en faire des petites boulettes traitables ensuite comme les plastiques rigides dans l'extrudeuse (via un agglomérateur). L'agrégation a lieu sous l'effet d'un découpage par rotation au fond de la cuve et par chauffe.



Avant (sacs plastiques) → **Après** (agglomérats extrudables)

4) La transformation des plastiques :

Une fois les plastiques pré-traités, ceux-ci peuvent être extrudés en mélange avec du sable pour donner une pâte qui peut ensuite être moulée.

Le mélange de plastiques et de sable est préparé à l'avance dans un silo pour homogénéiser la matière dans un rapport de 40% de plastiques pour 60% de sable (en masse). Le mélange est ensuite incorporé dans l'entonnoir de l'extrudeuse.



Nous choisissons ici une extrudeuse conçue pour ce mélange appelée extrudeuse à pâle qui, contrairement à des extrudeuses classiques à vis sans fin, à un système de vis plus large pour laisser passer ce mélange contenant du sable. Le mélange est malaxé, chauffé et poussé progressivement le long du cylindre de l'extrudeuse pour en sortir une pâte chaude et visqueuse.



5) Le moulage :

Cette pâte est ensuite collectée, pesée et moulée à la chaîne dans une presse hydraulique contenant le moule de pavé choisi. Ceci inclut aussi un système de refroidissement pour faire redescendre le pavé en température et garder sa forme.



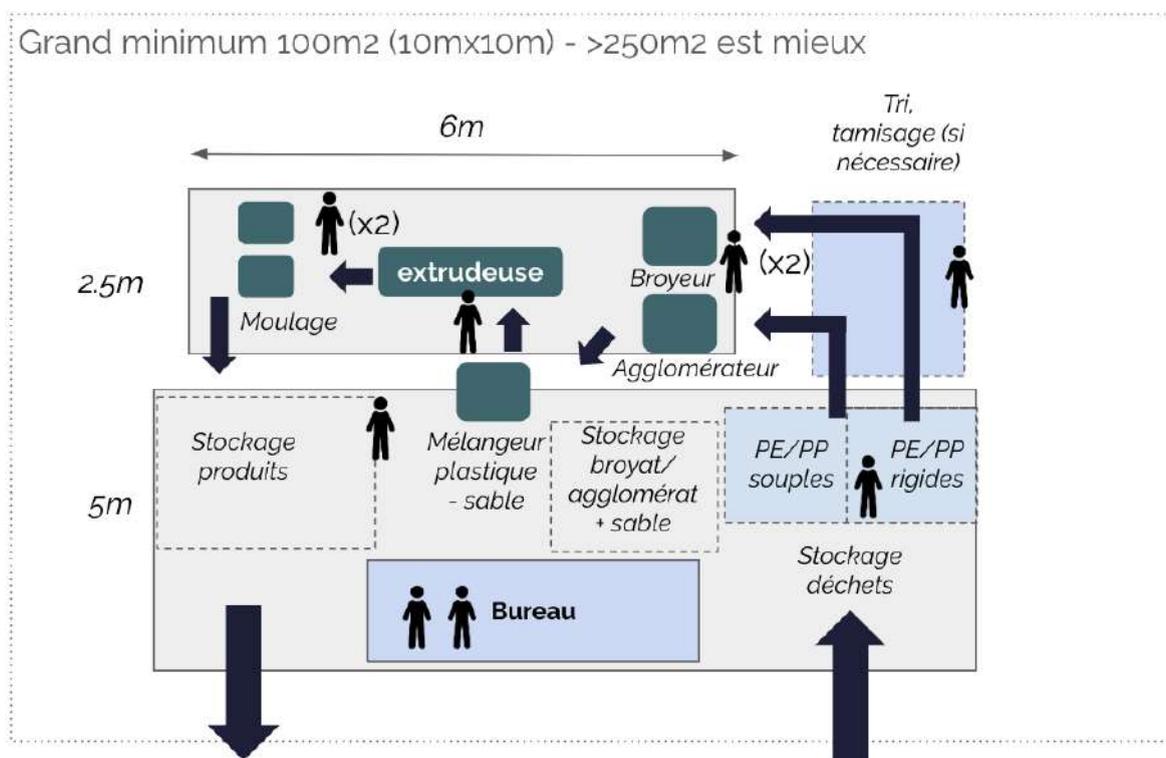
Presse pneumatique simple ci-dessus



Presse hydraulique plus efficace (2 pavés à la fois) - Presse hydraulique double ou simple

Le schéma opérationnel

A titre illustratif, voici le schéma des opérations d'une micro-usine de production de pavés en plastique - sable :



Sur une production autour de 100 kg/h par exemple, on peut envisager le dispositif opérationnel suivant :

- 1 opérateur pour la **réception du gisement et logistique** annexe,
- (1 opérateur pour réaliser un **tri et tamisage** → cette étape est nécessaire ou non selon la qualité du gisement et l'approvisionnement)
- 1 (ou 2 - selon capacité) opérateur(s) pour le prétraitement (**broyeur ou agglomérateur**)
- 1 opérateur pour préparation **mélange plastique-sable et alimentation de l'extrudeuse**
- 1 (ou 2 - selon capacité) opérateur(s) pour le **moulage des produits** (cela dépend aussi de la presse choisie et du nombre de pavés réalisés simultanément)
- 1 opérateur en **stockage et logistique**.

En résumé, il faut un **minimum de 5 opérateurs** et plus **raisonnablement 8 ou 9 opérateurs** (incluant un chef d'équipe) pour faire tourner les machines.

A noter : en cas d'une opération sur plusieurs shifts (2 x 8 heures ou 3 x 8 heures par jour par exemple, il faut bien sûr plusieurs équipes qui se relaient).

Il faut aussi compter un staff support (1 ou 2 personnes) pour la vente, l'administratif.

En fonction de la zone, il peut être envisagé d'avoir un système de gardiennage (1 personne la nuit par exemple).

Métriques opérationnelles pour le pavé (et la tuile)

On peut distinguer plusieurs types et tailles de pavés selon les usages, sans parler du design. Les pavés routiers (plus épais), les pavés type trottoir (épaisseur intermédiaire) et les pavés résidentiels (type cours d'école - plus fins).



Voici des éléments sur le pavé routier (photo ci-contre) :

- Un pavé type routier fait entre 6 et 8cm d'épaisseur au minimum - 20cm x 16cm (contre environ 3 cm d'épaisseur pour des pavés plus résidentiels et destinés à la mobilité douce)
- Il faut donc environ 31-32 pavés de cette dimension par m2 - soit environ 93 kg de matière
- Un pavé de 6cm d'épaisseur pèse environ 3kg dont 1,2 kg de plastiques (40%) et 1,8 kg de sables (60%)

Remarque : nous avons aussi testé des pavés plus fins et creux (3,5 cm d'épaisseur - 420 g par pièce) mais c'est un produit assez méconnu et mal maîtrisé pour la pose.

Nous pensons aussi aux pavés autobloquants mais plus creux en dessous mais la résistance et le comportement pratique sont à tester.

“Recette” pour les plastiques :

Pour la part des plastiques souples par rapport aux plastiques rigides, les propriétés seront impactées par la part des plastiques souples donc dans l'idéal et d'après nos retours d'expérience actuels : **20-33% de plastiques souples (PEBD, PP souples : exemple sacs plastiques, poches à eau, films plastiques etc) et 67-80% de plastiques rigides (PEHD, PP rigide : bassines, jerricanes etc).**

Cela sera pris comme référence pour tout type de pavé pour l'instant (routier, trottoir, résidentiel).

Utilisation de colorants :

L'incorporation d'un colorant peut se faire au moment de l'homogénéisation des plastiques et du sable dans le mélangeur et donc avant la phase d'extrusion.

En fonction de la couleur souhaitée, il y a différentes méthodes pour le choix du colorant mais de manière générale, le colorant en poudre pour béton est pertinent.

Type	Pigment jaune
Domaine d'application	Bâtiment
Forme de livraison	Microgranulés
Désignation chimique	Oxyde de fer synthétique α - FeOOH
Colour Index	Pigment yellow 42 (77492)
N° CAS:	51274-00-1
N° d'enregistrement REACH	01-2119457554-33
Le produit remplit les conditions de la norme EN 12878 catégorie A (béton non armé).	

La quantité est de l'ordre de **0,5 à 3% en masse** dans le mélange.

Pour le coût, il faut prévoir environ **70-100\$** pour **25 kg de colorant**.

Production :

- Il est possible de prendre des machines produisant dans la fenêtre semi-industrielle 100-250 kg/h (le limitant est plutôt du côté de l'extrusion). Cela signifie pour 200 kg/h en moyenne par exemple et des pavés de 6cm d'épaisseur, une capacité de 67 pavés de l'heure soit un peu plus de 2m² de l'heure. Cela signifie aussi environ un pavé à la minute (d'où le besoin d'un protocole fluide entre l'extrudeuse et la presse).
- Il est important de noter que la clef de la rentabilité est dans l'optimisation de la matière utilisée dans le pavé. Des pavés très épais et lourds sont toujours vendus au m² à des prix qui n'explorent pas par rapport à des pavés plus fins. En revanche, le coût matière est lui beaucoup plus important.

Comparaison - Métriques opérationnelles pour la tuile :

- Une tuile de toit fait environ 4,5 kg la pièce
- Il faut environ 5,5 tuiles pour 1 m² de toiture soit 25 kg de matière
- Le processus de fabrication est le même que pour le pavé (même ratios plastiques - sable) et même filière de production. Seul le moule change.



Tuiles de toit dans la presse avec son moule ci-dessus

Remarque :

On peut faire de même pour d'autres produits comme les briques, dalles, parpaings etc. Plus d'idées dans le mini-guide ["En quoi recycler mes déchets plastiques ?"](#)

Dispositif technique (machines et investissement)

Voici ci-dessous une illustration des machines et équipements requis pour la transformation des déchets plastiques en pavés :



(a) Broyeur (b) Agglomérateur (c) Mélangeuse



(d) Extrudeuse à pâte (e) Presse hydraulique avec moules (f) Système de refroidissement

	Caractéristiques	Estimatif de prix (EUR)
Machines		≈ 58,5k-76,5k EUR
Broyeur	100-150 kg/h - 11kW 150-200 kg/h - 15kW (prendre environ 1kW par 10kg/h)	≈ 10-15k EUR
Agglomérateur	50-100 kg/h - 20kW	≈ 8-10k EUR
Mélangeuse plastique - sable	125 L - 0.5kW	≈ 0,5k EUR
Extrudeuse à pâte plastique-sable	150- 250 kg/h - 30kW	≈ 20-25k EUR (travail pour descendre à 15k EUR)
Presse hydraulique	4kW par presse	≈ 10-15k EUR

Moule pour pavés		≈ 8-9k EUR
Système de refroidissement	4kW - 7m3/h en circulation	≈2k EUR
Equipements		≈ 7k-8k EUR
Système électrique (câblage, tableau elec etc)		≈ 4k EUR
Hôte pour fumée extrudeuse		≈ 1k EUR
Table de travail / tri		≈ 0,5k EUR
Tamis pour sable		≈ 0,5k EUR
Autres équipements (maintenance etc)		≈ 1-2k EUR
Options		≈ 0-55k EUR
Bac de lavage	si nécessité de laver le gisement	≈ 5-10k EUR
Système de séchage / centrifugeuse	si nécessité de laver le gisement	≈ 10-15k EUR
Générateur diesel	si coupures de courant trop fréquente et/ou trop longues	≈ 10k EUR
Convoyeur	pour fluidifier le transfert de matière (pertinent pour des grandes capacités)	≈ 5-10k EUR
Petit véhicule pickup	si collecte internalisée - 1 tonne compactée par voyage	≈ 7-10k EUR

NB : Les coûts de transport, taxes douanières, installation ne sont pas inclus ici pour le CAPEX. Il s'agit d'un descriptif simple des machines, équipements et options.

Besoin en électricité et en eau

Besoin en électricité :

En fonction de la taille du système, la **puissance utile** en machines est de l'ordre de 40-60 kW pour une capacité de production entre 100 et 250 kg/h.

Pour 200 kg/h, nous avons environ 55 kW de **puissance utile (ou puissance réelle)** soit 275 kWh par tonne de plastique recyclé (5h x 55 kW).

Pour un prix du kWh à 0,25 EUR par exemple, cela signifie 69 EUR de coût d'électricité par tonne recyclée.

Remarque : Il est important de noter ici que l'on fait l'hypothèse ici d'un système alimenté uniquement par le réseau électrique national. En fonction des coupures ou autres problèmes liés à l'accès au réseau, il peut être nécessaire voire essentiel d'avoir recours à un système de backup, généralement par groupe électrogène (auquel cas le prix du kWh sera différent, en fonction du prix du carburant) ou via une autre énergie comme du biogaz ou l'énergie solaire (cela a dans ce cas des répercussions sur le CAPEX et des investissements à faire en conséquence).

Besoins en eau :

En fonction du gisement et de sa provenance, les plastiques auront besoin ou non d'un lavage. La plupart du temps, on préférera un gisement non souillé par des matières organiques ou trop d'huiles etc. Dans ce cas, la présence de poussières, petites saletés ne sont pas problématiques pour le processus étant donné le mélange par la suite du plastique avec le sable. On peut donc s'abstraire avec un bon choix de gisement de toute phase supplémentaire et coûteuse de lavage - séchage.

Le besoin en eau se concentre donc essentiellement dans son usage dans le système de refroidissement, en circuit fermé. L'évaporation est néanmoins inévitable et il faudra donc régulièrement remplir la cuve soit en accès direct soit par livraison.

Le coût en eau associé est très peu significatif mais il est bon de l'avoir en tête pour la logistique et le choix du terrain.

Conseils de maintenance : entretien des machines et équipements

<u>Type d'équipement</u>	<u>Quotidienne</u>	<u>Hebdomadaire</u>	<u>Mensuelle</u>	<u>Annuelle</u>
Hangar / Container	Nettoyage de la zone de travail à la fin de chaque journée	Vérification de la fermeture des portes, les graisser si nécessaire	Vérification des potentielles traces de corrosion (toit, parois)	Retouche de la peinture extérieure
Tableau électrique général	Vérification du bon fonctionnement de la LED témoin	Relevés des compteurs et vérification du bon fonctionnement	Resserrer l'ensemble des vis des disjoncteurs, compteurs, borniers, etc	
Agglomérateur	Retirer les films plastiques enroulés autour du rotor	Vérification du câble d'alimentation	Affûtage des lames et contre-lames	Changer le jeu de lames si nécessaire
		Vérifier le réglage à l'aide d'une cale et	Vérifier l'état des roulements et	

		la fixation des lames	graissage si nécessaire	
Broyeur	Retirer les plastiques coincés dans la grille tamisée	Affûtage des lames et contre-lames	Vérifier l'état des roulements et graissage si nécessaire	Changer le jeu de lames si nécessaire
		Vérifier le réglage à l'aide d'une cale et la fixation des lames		
		Vérification du câble d'alimentation		
Mélangeur plastique-sable	Vérification du câble d'alimentation	Nettoyage du tambour du mélangeur		
Circuit de refroidissement	Vérification qu'aucunes fuites n'est présente au raccords	Vérification de la propreté de l'eau, la remplacer si nécessaire et vérification du fonctionnement de la pompe	Vérification du filtre de la pompe, nettoyer si nécessaire	Vidange de la cuve et nettoyage
Extrudeuse		Nettoyage de la zone d'extrusion lorsque l'extrudeuse est froide et éteinte	Vérification du câble d'alimentation	Vérification du niveau et de la propreté de l'huile
			Graissage des graisseurs	
		Purge de la vis d'extrusion	Vérification de l'état des courroies	
Moules pavé	Nettoyage et lubrification des moules	Vérification générale de l'état des moules, intérieur et extérieur	Vérification des potentielles traces de corrosion	

4. Pourquoi et comment passer à l'échelle supérieure ?

Avantages et inconvénients de la filière semi-industrielle

	Avantages	Inconvénients
Financier	<ul style="list-style-type: none">- Beaucoup plus accessible financièrement qu'une infrastructure industrielle- Possibilité de faire construire des machines dans la région ou même en interne (à vérifier en fonction de la zone et capacité du projet)	Nécessite un investissement significativement plus important qu'une filière artisanale.
Technique et opérationnel	Reste relativement facile à opérer et maintenir même s'il faut suivre un protocole plus rigoureux	<ul style="list-style-type: none">- Capacité nettement accrue (minimum 500 à 1000 pavés par jour)- Travail manuel et fastidieux pour le mélange
Économique	Cette solution permet d'accéder à un marché plus conséquent et professionnel notamment B2B, faire une économie d'échelle avec un processus plus fiable et plus maîtrisé	Il est nécessaire de tenir un rythme de production continu pour amortir les équipements.
HSE (Hygiène Sécurité Environnement)	Cette solution permet de passer dans une autre dimension en termes de standards de production qui sont désormais de l'ordre quasi-industriel. La température de chauffe est maîtrisée et ne cause donc pas de risques sanitaires.	Les nouveaux standards demandent une rigueur qu'il faut maintenir dans la durée. Cela demande donc une formation (pas forcément un staffing plus qualitatif car le protocole n'est pas vraiment plus compliqué).
Qualité	La production est homogène avec une qualité accrue.	Besoin d'instaurer un suivi qualité pour être en ligne avec les standards

Les obstacles et solutions

Au niveau technique et opérationnel

Comme présenté dans la section précédente, **le passage à l'échelle semi-industrielle requiert tout d'abord des machines et équipements pour mécaniser le processus opérationnel.**

→ Pour le prétraitement des déchets, le [broyeur](#) et l'agglomérateur seront les deux pièces maîtresses, respectivement rigides et souples.

→ Pour l'étape clef de la transformation (phase de chauffe), s'équiper d'une machine qui permet de contrôler la température (comme une **extrudeuse à pâles**) est déterminant car le procédé n'émet alors que très peu de fumées qui peuvent être absorbées par une hote.

→ Enfin pour le moulage, une **presse (pneumatique ou [hydraulique](#))** avec un **moule** permet de standardiser et accélérer la production mais aussi d'améliorer la qualité des produits.

→ Une **tour de refroidissement** est un souvent incontournable pour accélérer le processus de refroidissement des moules et permettre de conserver une cadence de production rapide. Une autre astuce pour accélérer le refroidissement consiste à faire des produits plus fins ou creux (dans la mesure où ils sont intéressants pour le marché).

Deux options principales sont possibles pour s'équiper avec ces machines :

- les construire sur place avec un **constructeur local** ou un fournisseur sur base des plans open source Plastic Odyssey (si disponible) ou sur base de produits déjà disponibles chez le constructeur s'ils existent,
- les **commander auprès d'un fournisseur ou auprès de Plastic Odyssey** directement.

Au niveau économique

Avoir un accès suffisant aux déchets plastiques ad hoc et au débouché pour les produits !

Pour envisager de passer à la vitesse supérieure, il faut a minima qu'une traction du côté du gisement plastique ou des débouchés se fasse ressentir et qu'à terme les deux puissent coïncider.

Il est courant dans le marché de la construction que les demandes en matériaux soient significatives. Ce qui signifie qu'un certain nombre de constructeurs faisant des appels à

projet sélectionnent des candidats aptes à produire les quantités demandées en un temps donné. Il est donc très fréquent que ces marchés ne soient pas accessibles aux petites structures artisanales car la capacité de production est trop faible.

Exemple : un lot de 5000m² pour la municipalité à livrer sous 3 mois soit environ 180 000 pavés donc plus de 2 000 pavés par jour soit environ 3 tonnes par jour de plastiques pour des pavés routiers de 3 kg avec 50% de sable (en schématisant).

La question du débouché est à aborder bien sûr au cas par cas mais il est important de garder à l'esprit que le volume est un paramètre critique du développement et de la pérennité du modèle. Un certain seuil de production doit être atteint pour favoriser la rentabilité du projet.

Côté gisement et approvisionnement en déchets plastiques, il est important de pouvoir anticiper sur la possibilité ou non de continuer l'approvisionnement en augmentant le volume avec la même chaîne d'approvisionnement ou s'il est nécessaire de trouver de nouveaux fournisseurs voire d'internaliser tout ou partie de la collecte pour être performant. En plus des volumes collectés, il est important d'être soucieux de la qualité de ce gisement par rapport à son prix (déjà suffisamment trié, lavé etc ?).

Au niveau financier

Au bout du compte, pour pouvoir actionner ce passage à l'échelle, il devient nécessaire de trouver des ressources financières.

Plusieurs options et scénarios sont possibles pour cela :

- procéder par étape avec l'acquisition / fabrication d'abord de machines de pré-traitement (broyeur puis agglomérateur) et ensuite de transformation (extrudeuse, presse et moule) et convaincre des clients et investisseurs au fil de l'eau
- après le prototype ou proof-of-concept (POC), passer à une étape de lever de fonds pour financer tout le projet d'un coût (machines, terrain, installation et étude, fonds de roulement pour pouvoir commencer). Il ne faut pas oublier que le budget requis ne se limite pas aux machines elles-mêmes mais aussi à tous les autres coûts annexes pour mettre en place et lancer le projet. La levée de fonds peut se faire via des appels à projet, des investisseurs ou donateurs privés, des clients etc.

Pour cela, vous pouvez cheminer en autonomie ou vous former au contact d'autres porteurs de projet de la [communauté Plastic Odyssey sur WhatsApp](#) ou encore vous faire accompagner directement avec le Programme d'Accélération de projet de Plastic Odyssey (contacter jean-baptiste@plasticodyssey.org pour plus d'informations).

5. Etudes de cas

BGS Recyclast en Guinée : d'un modèle artisanal à semi-industriel

Après avoir commencé de zéro, Mariam est une entrepreneur qui a développé son activité de recyclage pas à pas. En gagnant des prix d'entrepreneuriat avec son idée de collecter et transformer les déchets plastiques en pavés, elle peut s'acheter quelques équipements de base et faire grossir son équipe pour arriver à une petite échelle de production artisanale. Après plus de 3 ans, elle a pu gagner quelques mandats significatifs de production mais les conditions de production et la capacité deviennent trop limitées. Voici ci-dessous quelques photos de la production artisanale :



En 2022, avec l'aide de Plastic Odyssey, le projet de micro-usine se met en place (la première unité de ce type).

La micro-usine est équipée d'une filière complète avec une capacité de production de 100 kg/h pour des pavés résidentiels :

Voici la micro-usine en question ci-dessous :



Pavé résidentiel 140x140x35 mm - 2 pièces différentes emboîtables



Voici la page web du projet pour plus de détails : <https://bgsrecyplast.com/>
Plus d'informations dans [l'article](#).

La Fabrik à Djibouti : d'un modèle artisanal à semi-industriel

La Fabrik est un projet développé à Obock (Djibouti) à l'initiative de l'OIM (Organisation Internationale des Migrations) pour tenter de régler le problème des déchets (zone isolée) et créer de l'emploi localement.

Ce projet a démarré avec un processus artisanal avec l'acquisition d'un broyeur chinois pour le prétraitement des plastiques. Initialement, le projet utilisait uniquement des bouteilles PET comme gisement, créant des défauts importants sur les pavés (infondus entraînant des risques de fissures et des défauts de surface).



Par la suite, le projet s'est équipé de machines pour le reste de la chaîne de transformation : extrusion et presse / moule, en se concentrant sur des pavés résidentiels d'abord. Un agglomérateur a aussi été ajouté pour traiter les plastiques souples et le broyeur a été ajusté pour remplir plus efficacement sa mission.

Une presse à balle a été ajoutée au dispositif pour gérer les bouteilles PET sur une filière séparée avec un acheteur à Djibouti-ville (la capitale) tandis que la filière pavé se focalise maintenant sur les PE et PP qui sont les plastiques recommandés pour cette filière.



Plus d'informations dans [l'article](#).

Autres études de cas

Voici ci-dessous quelques retours d'expérience et ressources intéressantes :

Témoignage d'un projet au Sénégal:

- Nombre de pavés produits par mois : 5250 soit 250m² (21 pavés par m² et environ 200 pavés produits par jour).

- Prix du m2 des pavés de 6cm d'épaisseur : 7500 FCFA (transport non inclus)
- Prix du m2 des pavés de 8cm d'épaisseur 9000 FCFA (transport non inclus)

L'entreprise s'approvisionne en plastiques via deux canaux : les industriels (gratuit mais le transport est à leur charge) et les particuliers (contre une rémunération de 125 FCFA / kg).

[Etude de cas au Mali \(documenté par l'ONG Waste NL\)](#)

Discussion et conclusion

Impacts de la filière plastique - sable

En définitive, la filière plastique - sable produisant des pavés, tuiles, briques a du potentiel et présente un intérêt certain pour permettre la valorisation de déchets à faible valeur économique et la création d'emplois locaux. Elle est en revanche discutée pour son caractère de "decyclage" (downcycling) et de ses impacts réels sur l'environnement. Est-ce que les pavés en plastique - sable sont de nouveau recyclables et comment procéder ? Quelle est la durée de vie de ces produits ? Est-ce que des micro-plastiques sont émis de ces produits vers l'environnement ? Ce sont des questions importantes à adresser et sur lesquelles Plastic Odyssey travaille afin de maîtriser les impacts de cette filière existante. Ce document sera donc mis à jour avec les résultats d'analyse et les solutions trouvées.

Passer d'une filière semi-industrielle à industrielle ?

Une autre question qui se pose est : si la filière à échelle semi-industrielle fonctionne mieux qu'à l'échelle artisanale, pourquoi ne pas passer ensuite à une échelle encore plus importante (industrielle) ?

Il est vrai que c'est une filière dont un des moteurs est le volume et le phénomène d'économie d'échelle reste valable. Cette option reste donc théoriquement valable.

Certaines questions demeurent. Notamment, à une échelle industrielle, il faut toujours plus de plastiques et donc la question de l'approvisionnement en plastiques devient de plus en plus critique (surtout dans les zones non urbaines). Toujours plus de plastiques signifie aussi toujours plus de consommation et donc pas de réduction de la production de plastiques ... Cette question peut être appliquée au recyclage en général mais la question de la transition et de la disponibilité d'alternatives au plastique également.

En termes de rentabilité, il faut ensuite voir comment cette solution se compare aux alternatives mais si une filière semi-industrielle est rentable alors la solution industrielle le sera aussi à la condition que l'approvisionnement en matières premières et le marché et les débouchés soient suffisants et stables pour absorber plus de volumes.

A une telle échelle, le modèle sera en revanche moins agile et la perturbation du marché ou l'instabilité des chaînes de valeur (parfois fragiles) pourra être fatale.

Enfin, la centralisation de l'infrastructure revient à collecter les plastiques sur un rayon plus large et donc réhausse les coûts de transport et de collecte (ce qui peut contrebalancer en partie l'économie d'échelle par rapport à la filière semi-industrielle).

Conclusion

Pour conclure, cette filière reste assez récente et assez peu documentée en profondeur et mérite d'être plus analysée pour en comprendre les tenants et aboutissants, notamment à une échelle semi-industrielle. Néanmoins des références sont données ci-dessous et des mises à jour seront effectuées au fur et à mesure. Nous sommes aussi preneur de vos témoignages et retours d'expérience pour les partager avec notre communauté.



C'est maintenant à vous de jouer, appropriez-vous ces connaissances et appliquez-les à l'environnement autour de vous.

Ressources

- [Fiche technique valorisation des déchets plastiques en pavés](#) (Amorce)
- [Mise en place d'une unité de transformation de sacs plastiques en pavés \(Togo, 2009/2010\)](#)
- [Projet de création d'une entreprise de fabrication et de commercialisation de pavés à base de déchets plastiques dans la ville de Parakou \(Bénin, 2020\)](#)
- [Etude de faisabilité technique et financière de la mise en place d'un centre pilote de valorisation des déchets ménagers du Bassin du Versant du Gourou à Abidjan \(Côte d'Ivoire, 2017\)](#)
- [Élaboration et caractérisation d'une structure composite \(sable et déchets plastiques recyclés\) : Amélioration de la résistance par des charges en argiles.](#)
- [Cementless building materials made from recycled plastic and sand/glass: a review and road map for the future \(2022\)](#)
- [FORMULATION AND CHARACTERISATION OF A TILE BASED ON PLASTIC WASTE AND ALLUVIAL SAND SANAGA-CAMEROON \(2023\)](#)
- [Manufacturing of Floor Tiles by using Polypropylene as a Plastic Waste Material with Manufactured Sand \(2020\)](#)
- [Process for Making Self-Locking Pavements from Madagascar River Sand and Plastic Waste \(2023\)](#)
- [Reuse of Waste Plastics in Developing Countries: Properties of Waste Plastic-Sand Composites \(2022\)](#)