



CAHIER TECHNIQUE N° 2

Guide de production semi-industrielle de charbon de Typha

Processus de production développé dans le cadre du projet Typha

Ce projet a été financé par l'Union européenne et l'APAUS, et mis en œuvre par le GRET, le Parc national de Diawling et l'Institut supérieur d'enseignement technologique de Rosso, entre septembre 2011 et avril 2016.

PROJET MIS EN ŒUVRE
EN PARTENARIAT AVEC :



CAHIER TECHNIQUE

Guide de production semi-industrielle de charbon de Typha

Cahier technique réalisé dans le cadre du projet Typha.

Ce projet a été financé par l'Union européenne et l'APAUS, et mis en œuvre par le Gret, le Parc national de Diawling et l'Institut supérieur d'enseignement technologique de Rosso, entre septembre 2011 et avril 2016.

Ce document présente la méthode de production semi-industrielle du charbon de Typha utilisée dans le cadre du projet Typha mis en œuvre par le Gret, l'Iset de Rosso et le Parc National du Diawling à Rosso en Mauritanie entre 2011 et 2015. Il décrit les étapes de production du charbon et fournit des indications sur les équipements nécessaires à cette production.

Le projet Typha est mis en œuvre par le Gret, l'Iset de Rosso et le Parc national du Diawling.



- Fondé en 1976, **le Gret** est une ONG internationale de développement, de droit français, qui agit du terrain au politique, pour lutter contre la pauvreté et les inégalités. Ses 700 professionnels interviennent sur une palette de thématiques afin d'apporter des réponses durables et innovantes pour le développement solidaire. www.gret.org
- **L'Institut supérieur d'enseignement technologique (Iset de Rosso)** est un établissement public d'enseignement supérieur et de recherche créé en 2009. Il a pour missions la formation, la recherche et la vulgarisation dans les domaines agricole, pastoral et agroalimentaire. www.iset.mr
- **Le Parc national du Diawling (PND)** est un établissement public administratif créé en 1991 qui a pour objectifs la conservation et l'utilisation durable d'un échantillon de l'écosystème du bas Delta mauritanien, le développement harmonieux et permanent des activités traditionnelles des populations locales, et la coordination des activités pastorales et piscicoles menées sur son terrain. www.pnd.mr

Avec le soutien financier de :

- l'Union européenne ;
- l'APAUS (Agence de promotion de l'accès universel aux services).



La présente publication a été élaborée avec l'aide de l'Union européenne et de l'Apaus. Le contenu de la publication relève de la seule responsabilité du Gret et ne peut aucunement être considéré comme étant le point de vue de l'Union européenne et de l'Apaus.

Référence bibliographique pour citation : Kévin Doussan, Benjamin Trouilleux, Babana Ould Mohamed Lemine, *Guide technique de production semi-industrielle de charbon de Typha*, Paris, Gret et Iset de Rosso, avril 2016, 52 p.

Crédits photos : © Gret

Sommaire

I. Introduction	5
1. Contexte du projet.....	5
2. Objectif du guide	5
3. Présentation générale du processus.....	5
4. Le rôle de balle de riz dans le processus.....	6
II. La coupe et le séchage du <i>Typha Australis</i>	7
1. Le <i>Typha Australis</i>	7
2. Choix de la zone de coupe	8
3. Méthode de coupe.....	9
4. Matériels nécessaires	11
5. Transport et séchage du Typha coupé.....	11
III. Le broyage mécanique du Typha.....	12
1. Les étapes du broyage mécanique.....	12
1.1. La matière première	13
1.2. Le broyage du Typha	13
2. Fiche machine et données clefs du broyeur à marteaux.....	14
IV. Le séchage artificiel du Typha broyé.....	16
1. Les étapes du séchage artificiel.....	16
1.1. Allumage du séchoir	16
1.2. Le séchage artificiel du Typha.....	17
2. Fiche machine et données clefs du séchoir rotatif	20
V. La densification de la biomasse par extrusion.....	22
1. Les étapes de l'extrusion.....	22
1.1. Préparation de la matière première	22
1.2. Extrusion de la matière première	23
1.3. Sécurité et suivi de la production.....	28
2. Fiche machine et données clefs de la presse à extrusion	29
3. Focus : Maintenance de la vis sans fin.....	31
VI. La carbonisation des buchettes	33
1. Les étapes de la carbonisation.....	33
1.1. Chargement des pots du carbonisateur.....	33
1.2. Carbonisation	38
1.3. Défournement	43
1.4. Stockage.....	45
1.5. Sécurité et suivi de la production.....	45

2. Fiche machine et données clefs du carbonisateur « 3 pots ».....	46
VII. Prix d'une unité semi-industrielle et Origine des équipements	47
VIII. Annexes.....	49
1. Annexe 1 : Fiche de suivi du broyeur	49
2. Annexe 2 : Fiche de sécurité du broyeur.....	49
3. Annexe 3 : Fiche de suivi du séchoir	50
4. Annexe 4 : Fiche de suivi de la presse à extrusion	50
5. Annexe 5 : Fiche de suivi du carbonisateur « 3 pots ».....	51

INTRODUCTION

1. Contexte du projet

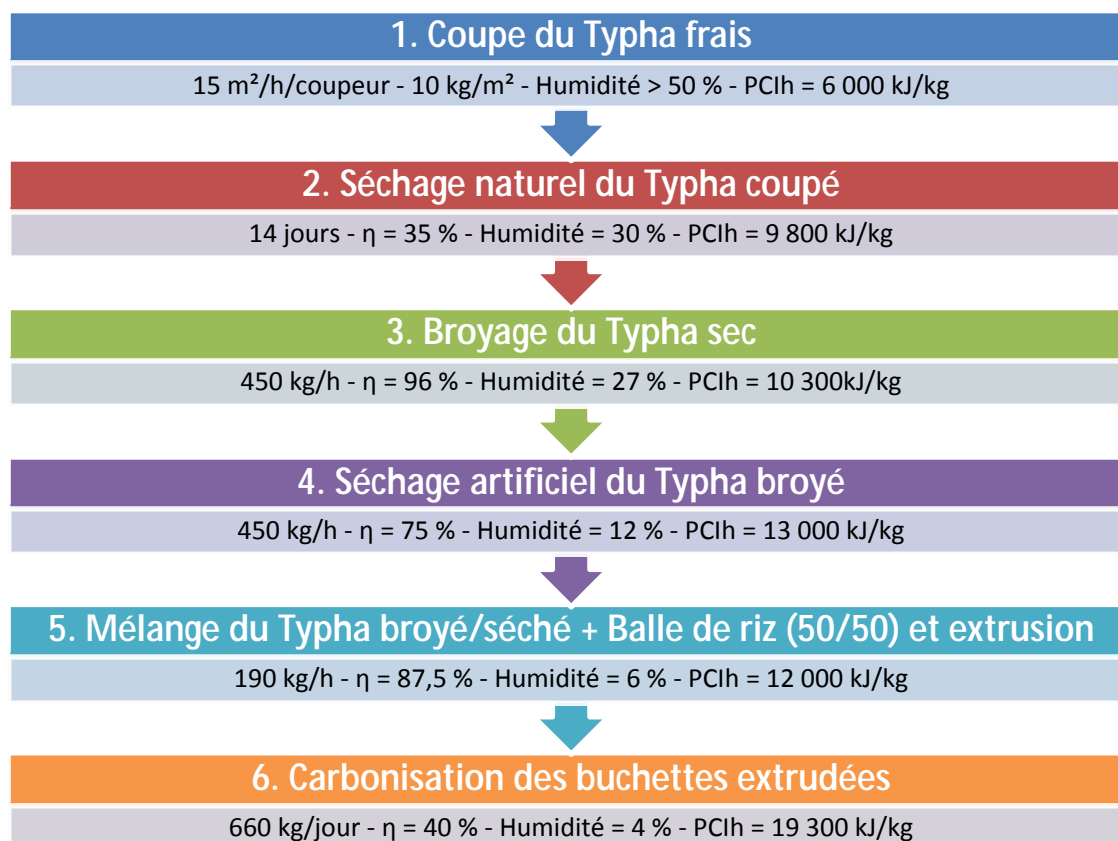
L'unité semi-industrielle de production de charbon de Typha a été installée à l'Institut Supérieur d'Enseignement Technologiques de Rosso dans le cadre du projet TYPHA afin de tester, modifier et optimiser des équipements non prévus spécifiquement pour le compactage du Typha. Après plusieurs mois de tests, il a été possible de produire du charbon de Typha mélangé à de la balle de riz dans cette unité. Elle est appelée semi-industrielle car elle se situe entre le stade expérimental et l'exploitation industrielle.

2. Objectif du guide

Ce document a pour objectif de présenter les différentes étapes nécessaires à la production semi-industrielle du charbon de Typha. Pour chaque étape, le guide présente la méthode de production, l'équipement utilisé et les données associées sur la base de l'expérience acquise après la production de plus de 25 tonnes de charbon en un an.

3. Présentation générale du processus

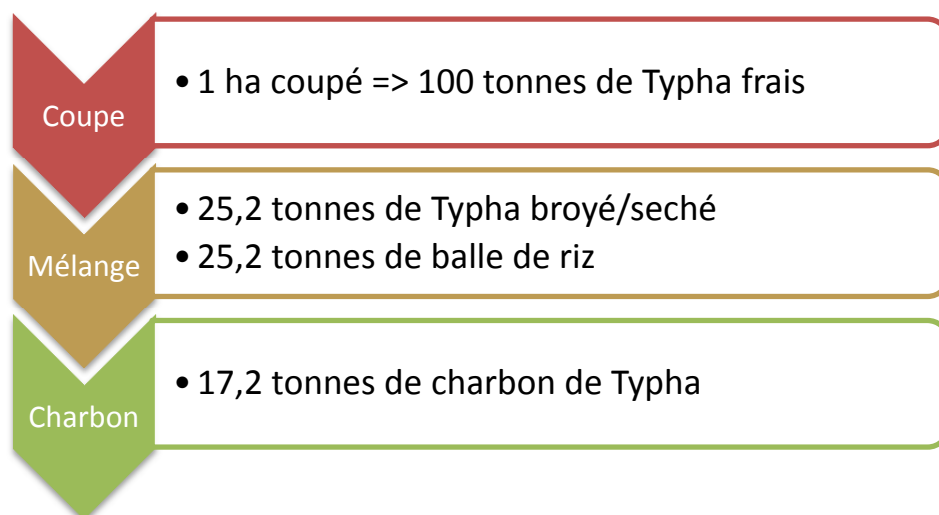
Le schéma ci-dessous synthétise les différentes étapes du processus de fabrication industriel du charbon de Typha avec les valeurs clés associées. Le rendement (η) est le rapport de la masse de matière récupérée à la fin d'une étape sur la masse de matière que l'on a introduite au début de l'étape. Ce rendement dépend grandement de la perte d'eau pour certaines étapes. Le PCIh est le pouvoir calorifique réel qui prend en considération l'humidité de la matière. Le taux d'humidité affiché est celui mesuré en fin d'étape.



1. Schéma synthétique du processus semi-industriel de fabrication du charbon de Typha

Le rendement global du processus qui représente la masse de charbon produite en sortie sur la masse de matière première (Typha frais et balle de riz) en entrée est de 13,7 %. Ce rendement global inclus la production et la consommation comme apport de chaleur externe d'une partie de la production (buchettes) au cours du processus (séchage et carbonisation).

Le schéma suivant présente la masse de charbon que permet de produire un hectare (10 000 m²) de Typha. Le Typha n'étant pas compactable seul, on intègre la masse de balle de riz à ajouter au moment du briquetage par extrusion.



2. Les chiffres clés pour un hectare de Typha coupé

Pour 1 hectare de Typha coupé, on obtient 100 tonnes de matière première fraîche que l'on va broyer et sécher pour obtenir 25,2 tonnes de Typha broyé sec. Pour pouvoir extruder le Typha, on le mélange avec la même masse de balle de riz (25,2 tonnes) pour obtenir, après carbonisation, 17,2 tonnes de charbon de Typha.

4. Le rôle de balle de riz dans le processus

La balle de riz est utilisée à part égale de Typha broyé et séché pour l'étape d'extrusion. L'extrusion de matière sèche de *Typha Australis* seule est impossible avec ce mode de compactage. La plante possède une matière filandreuse blanche et légère (voir photo ci-dessous) qui engendre des efforts de frottements très importants, rendant impossible l'extrusion du Typha sec seul. Afin de pouvoir extruder le Typha, deux mesures ont été prises. Premièrement, il faut séparer cette matière filandreuse au cours du processus lors du broyage et du séchage. Deuxièmement, on introduit de la balle de riz comme seconde matière première à part égale avec le Typha broyé et séché. La balle de riz est une biomasse qui possède des caractéristiques adaptées à l'extrusion. Sa granulométrie et son humidité sont idéales, elle n'a pas besoin de passer par les étapes précédentes du processus (broyage, séchage).



3 : Enroulement de feuilles du Typha constituant la tige et matière filandreuse blanche

La balle de riz n'est pas valorisée par les propriétaires d'usines de décorticage à Rosso. Son accumulation pose problème car plus de 8 000 tonnes de balle de riz sont produites chaque année à Rosso. Elle est donc brûlée à l'air libre par les industriels pour réduire son envahissement. Les industriels cherchent à s'en débarrasser à moindres coûts car la réglementation communale les oblige à la jeter à une certaine distance de la ville. Certains d'entre eux acceptent donc de la livrer gratuitement à l'unité de l'Iset.



4 : Typha broyé/séché avant l'extrusion



5 : Balle de riz

II. LA COUPE ET LE SECHAGE DU *TYPHA AUSTRALIS*

1. Le *Typha Australis*

La première étape de production consiste à couper et extraire manuellement la principale matière première, le *Typha Australis*. Cette plante s'est développée de manière exponentielle sur les rives du fleuve Sénégal et ses affluents depuis la construction du barrage anti-sel de Diama. Elle peut mesu-

rer jusqu'à 4 mètres de haut et se développe dans des hauteurs d'eau pouvant aller de 10 à 150 cm. Si le milieu lui est favorable, elle peut très vite devenir envahissante et couvrir par colonies denses de très grandes surfaces. La rive mauritanienne du fleuve Sénégal compte environ 24 000 ha de Typha soit l'équivalent de 34 000 terrains de football. L'ensemble de ce Typha pourrait produire jusqu'à 400 000 tonnes de charbon de Typha avec le processus semi-industriel.



6. L'occupation du *Typha Australis* dans la retenue d'eau du barrage de Diama © enhaut.org

2. Choix de la zone de coupe

La zone de coupe doit être accessible par transport routier pour l'évacuation des grandes quantités de Typha. Elle doit être située à côté d'une surface suffisamment dégagée d'environ 10 % de la zone de coupe, pour le stockage temporaire et/ou le pré-séchage naturel du Typha avant d'être transporté sur le site de production semi-industrielle du charbon. La distance entre l'unité de production et la ou les zones de Typha exploitables doit être minimisée pour réduire les coûts de transports de matières premières.

La zone de coupe doit être peu profonde pour faciliter la coupe et les déplacements des opérateurs coupant le Typha manuellement. Une profondeur inférieure à 50 cm permet d'assurer des conditions de travail moins éprouvantes. Au-delà de cette profondeur, la coupe manuelle devient très pénible. La distance maximale à la berge doit être minimisée pour réduire le temps nécessaire à l'extraction du Typha coupé, qui est difficile. Il est préférable que la coupe évolue parallèlement à la berge et non en s'en éloignant.



7 : Coupe du Typha au ras de l'eau

La zone coupée peut être valorisée pour lutter contre la repousse du Typha en affectant une activité humaine à la zone après la coupe comme l'agriculture, la pêche, ou encore un accès au fleuve. Dans ce cas, la coupe du Typha doit se faire à au moins à 40 cm en dessous de la lame d'eau pour minimiser la capacité de reprise du Typha. Il faut ensuite entretenir la zone en se débarrassant des repousses éventuelles. L'utilisation fréquente de la zone limite aussi la repousse du Typha.

Dans une optique d'exploitation, il est possible de définir des zones de culture du Typha. On peut ainsi planifier les récoltes du Typha en suivant sa repousse et en se basant sur les besoins de l'unité de production. Pour une repousse rapide du Typha, il est préférable de couper le Typha au niveau de la lame d'eau. Dans ce cas le Typha met environ 6 mois pour retrouver sa taille adulte.

La densité de Typha frais est d'environ 10 kg/m² mais peut varier entre 5 et 15 kg/m² pour des hauteurs comprises entre 2,5 et 4 mètres. Cela dépend de la maturité du Typha et du nombre de pieds par mètre carré qui est lui compris entre 20 et 50.

La vitesse de coupe et d'extraction du Typha par un coupeur est d'en moyenne 15 m² par heure.

3. Méthode de coupe

Une faucille ou une machette sont utilisés pour couper le Typha. Si le coupeur utilise une faucille, il saisit un fagot de Typha avec le bras libre et le coupe avec la faucille en tirant vers lui. Si le coupeur utilise une machette, il penche le Typha avec le bras libre et coupe le Typha à coup de machette. Les coupeurs doivent porter des cuissardes/waders et des gants étanches qui les protègent des coupures et des maladies hydriques.

Le Typha, une fois coupé, peut être déposé derrière le coupeur et récupéré par une personne dédiée à son extraction vers la berge. Le fagot de Typha est ensuite étalé dans la zone de stockage temporaire avant son transport. Pour optimiser le séchage naturel il est conseillé d'avoir une couche de Typha étalée inférieure à 15 cm et de le retourner fréquemment.







8 : Coupe du Typha en profondeur et extraction



9. Zone de coupe de l'Iset de Rosso

4. Matériels nécessaires

Photos			
	Nom	Machette	Faucille
	Provenance	Rosso	Rosso
Prix unitaire	1 000 MRO	500 MRO	
Photos			
	Nom	Cuissarde / Waders	Paire de gants
	Provenance	Nouakchott	Nouakchott
Prix unitaire	42 000 MRO	2 500 MRO	

5. Transport et séchage du Typha coupé

Le transport du Typha depuis la zone de coupe jusqu'au site de production s'effectue en pick-up. La masse de Typha transporté est d'en moyenne 100 kg par voyage. Le chargement et le déchargement s'effectuent manuellement.



10. Arrivage de Typha par pick-up à l'Iset de Rosso

Le Typha continue son séchage à l'air libre sur le site de stockage de l'unité de production semi-industrielle. L'humidité sur brut est comprise entre 25 et 30 % après 2 semaines de séchage à l'air libre, ce qui est adéquat pour passer à l'étape de broyage.



11. Zone de stockage du Typha à l'Iset de Rosso. Le Typha vient d'être déchargé et sera ensuite étalé.

III. LE BROYAGE MECANIQUE DU TYPHA

1. Les étapes du broyage mécanique

Le broyage mécanique du Typha sec permet d'obtenir une faible granulométrie de la matière pour pouvoir être ensuite séchée artificiellement et compactée par la presse à extrusion. Le broyage faci-

lite aussi l'évaporation naturelle de l'eau des couches internes de la plante car le séchage à l'air libre n'est pas assez puissant pour cela.

On appellera « Typha sec », le Typha ayant subi un séchage naturel d'au moins deux semaines par temps dégagé.

La balle de riz ne nécessite pas de broyage car sa granulométrie est suffisante pour être extrudée directement.

1.1. La matière première

Le Typha doit avoir subi un séchage naturel par temps dégagé de deux semaines. Si le Typha n'est pas assez sec, le broyage est difficile et la machine peut se bloquer. Il faut donc s'assurer du niveau de séchage de la plante. La plante doit avoir une humidité sur brut inférieur à 30 % pour pouvoir être broyée. Le Typha sec est ensuite amené manuellement à côté de la machine pour être broyé.

1.2. Le broyage du Typha

Le Typha est ensuite introduit dans le broyeur à marteaux par un opérateur. Une grille permet de laisser passer la matière broyée avec une granulométrie de 1 à 5 millimètres. La matière broyée est entraînée par un extracteur d'air vers le filtre cyclone qui permet d'évacuer une partie des particules fines hors de l'unité. Un sac ouvert placé autour de la sortie du filtre cyclone permet de mieux canaliser la matière sortante. Le Typha broyé est récupéré par un second opérateur dans une brouette pour être ensuite acheminé à côté du séchoir rotatif.



12. Broyage du Typha sec à l'Iset de Rosso

La manipulation du Typha sec doit se faire avec des gants et les bras doivent être couverts pour se prémunir des coupures. Les particules fines dégagées par le broyage sont nombreuses dans l'unité malgré le filtre cyclone. Un masque et des lunettes de protections sont donc obligatoires. Une fiche de sécurité bien visible accompagne l'équipement (voir Annexe 1) ainsi qu'une fiche de suivi (voir Annexe 2).

2. Fiche machine et données clés du broyeur à marteaux

Broyeur à marteaux



13. Broyeur à marteaux de l'Iset de Rosso

Le broyage mécanique du Typha sec permet d'obtenir une granulométrie adaptée. Cette granulométrie est comprise entre 1 et 5 millimètres. La matière peut ensuite être séchée artificiellement de manière plus efficace et adéquate pour être ensuite compactée dans la presse à extrusion. La granulométrie naturelle de la balle de riz est suffisante pour l'extrusion.

Puissance constructeur	Masse	Dimensions (m)	Prix
18,5 kW	600 kg	1,6 × 1,4 × 1,8	2 000 €
Principaux composants de la machine	Moteur électrique triphasé de 18,5 kW		
	Trémie d'alimentation, marteaux, grille de calibrage, extracteur d'air, filtre cyclone		
Transmission du mouvement	Transmission par système poulies – courroies 3 courroies pour les marteaux et 2 courroies pour l'extracteur d'air		

Caractéristiques du produit en entrée	Longueur, diamètre et masse	Humidité sur brut	Taux de cendres	Masse volumique	Pouvoir calorifique inférieur humide
Typha sec (pour un plant)	3,5 m et Ø 3 cm 120 g	29,7 %	~ 4 %	250 kg/m ³	9 800 kJ/kg

Production de charbon de Typha en alternative au charbon de bois en Mauritanie

Caractéristiques du produit en sortie	Granulométrie	Humidité sur brut	Taux de cendres	Masse volumique	Pouvoir calorifique inférieur humide
Typha broyé	0,5 mm à 5 mm	26,8 %	~ 4 %	180 kg/m ³	11 500 kJ/kg

Caractéristiques techniques	Puissance	Capacité de production	Rendement matière
Données constructeur	maximale 18,5 kW	600 kg/h	-
Données relevées	moyenne 12 kW	450 kg/h	96 %

Pièces d'usure	Coût unitaire	Durée de vie
Marteau	< 500 MRO	> 5 ans
Courroie	4 000 MRO	2 à 3 ans
Roulements	4 000 MRO	

Nombre d'opérateurs nécessaires	2 opérateurs - Un premier pour l'apport de matière en entrée et un second pour la récupération du broyat en sortie
Equipements de protection individuelle	<ul style="list-style-type: none"> • Masque de protection anti-poussière • Lunette de protection contre les projections • Gants de protection
Matériels de manutention	<ul style="list-style-type: none"> • Transport du Typha broyé par brouettes

IV. LE SECHAGE ARTIFICIEL DU TYPHA BROYE

1. Les étapes du séchage artificiel

Le séchage artificiel permet de sécher rapidement et en profondeur le Typha broyé. L'humidité de la matière première a un effet important sur sa capacité à être extrudé. Une humidité faible permet un bon compactage et une réduction des forces de frottements.



14. Vue d'ensemble du séchoir rotatif avec un premier plan, le foyer de combustion, au deuxième, le tambour et au troisième plan, le filtre cyclone et la sortie.

1.1. Allumage du séchoir

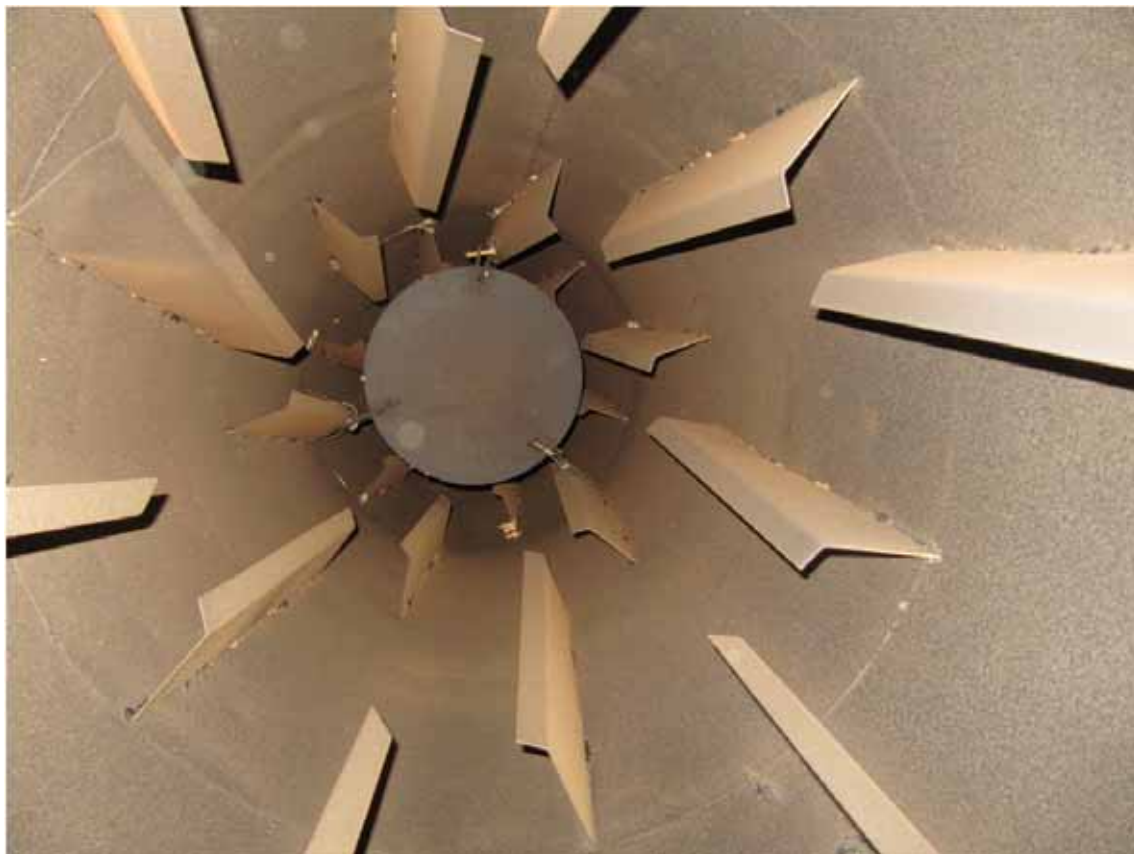
Le séchoir rotatif est muni d'un foyer de combustion en amont du processus pour chauffer le flux d'air qui traversera la matière à sécher. Le foyer est alimenté par des buchettes dites « non carbonisables » car elles sont trop courtes. Ce sont donc les pertes de l'extrusion qui sont utilisées pour chauffer le séchoir. Avec 15 kg de buchettes, le séchoir peut fonctionner pendant une durée d'environ 2 heures.



15 : Foyer de combustion du séchoir rotatif avec le cylindre dans le prolongement

1.2. Le séchage artificiel du Typha

Le séchoir rotatif est muni d'un moteur électrique qui met en rotation le tambour. Un réducteur mécanique permet une rotation lente du tambour, la rotation du tambour soulève la matière. Les gaz chaud peuvent ainsi rentrer en contact avec la matière solide. Le tambour est légèrement incliné, environ 5°, pour permettre à la matière d'avancer tout du long. La matière est insérée à l'entrée du tambour juste après le foyer de combustion.



16. Intérieur du cylindre du séchoir rotatif

Un extracteur d'air situé au niveau du filtre cyclone permet d'aspirer la matière à la fin du cylindre et de la restituer dans le filtre cyclone. Le filtre cyclone permet d'évacuer les particules les plus volatiles comme la matière filandreuse non désirée. Son efficacité n'étant pas optimale pour trier la matière filandreuse, un ventilateur est placé à la sortie du cyclone pour séparer la matière filandreuse, plus légère, de la partie du Typha qui nous intéresse.



17 : Sortie du séchoir et récupération du Typha broyé séché

Comme pour le broyage, une fiche de suivi (voir annexe 3) et une fiche de sécurité accompagnent l'équipement. La manipulation et le séchage du Typha broyé dégagent une grande quantité de particules fines, c'est pourquoi il est obligatoire de mettre un masque et des lunettes de protection au sein de l'unité pendant cette étape. La matière, que l'on appellera « Typha broyé séché » est ensuite acheminée à côté de l'extrudeuse avec des brouettes.

2. Fiche machine et données clés du séchoir rotatif



18. Séchoir rotatif de l'Iset de Rosso

Le séchoir rotatif permet de sécher efficacement le Typha broyé en vue de son extrusion. Cette étape permet aussi d'extraire une grande partie de la matière filandreuse qui pose problème pour l'extrusion. Le séchoir rotatif est alimenté par des buchettes « non carbonisables » issues des pertes lors de l'extrusion.

Puissance	Masse	Dimensions (m)	Prix
9,7 kW	3 800 kg	17 × 3 × 1,8	9 800 €
Principaux composants de la machine	Un foyer de combustion, un extracteur d'air motorisé, un moteur électrique couplé à un réducteur pour la rotation du cylindre, un cylindre et un filtre cyclone.		
Transmission du mouvement	Moteur électrique couplé à un réducteur avec deux courroies. Le réducteur entraîne deux galets moteurs sur lesquels repose le tambour cylindrique.		

Caractéristiques du produit	Granulométrie	Humidité sur brut	Taux de cendres	Masse volumique	Pouvoir calorifique inférieur humide
Entrée : Typha broyé	0,5 à 5 mm	26,8 %	~ 4 %	180 kg/m ³	11 500 kJ/kg
Sortie : Typha broyé sec	0,5 à 5 mm	11,7 %	~ 4 %	110 kg/m ³	13 050 kJ/kg

Production de charbon de Typha en alternative au charbon de bois en Mauritanie

Caractéristiques techniques	Puissance	Capacité de production	Rendement matière	Consommation de buchettes
Données constructeur	7,5 + 2,2 kW	800 – 1000 kg/h	-	
Données relevées	moyenne 7 kW (pour les 2 moteurs)	450 kg/h	75 %	7,5 kg/h

Pièces d'usure	Courroie
Coût unitaire	4 000 MRO
Durée de vie	2 à 3 ans

Nombre d'opérateurs nécessaires	2 opérateurs : un opérateur pour alimenter le séchoir en Typha broyé et un opérateur pour récupérer le Typha broyé séché en sortie
Equipements de protection individuelle	<ul style="list-style-type: none"> • Masque de protection anti-poussière • Lunette de protection contre les projections • Gants de protection
Matériels de manutention	<ul style="list-style-type: none"> • Transport du Typha broyé sec par brouettes

V. LA DENSIFICATION DE LA BIOMASSE PAR EXTRUSION

1. Les étapes de l'extrusion

L'extrusion par une presse à vis sans fin électrique permet un compactage important de la biomasse sans liant en vue de sa carbonisation. Le volume à carboniser est ainsi réduit et cela donne sa solidité et sa forme finale au charbon.

1.1. Préparation de la matière première

Le Typha broyé et suffisamment sec est prêt pour être mélangé et passer dans la presse à extrusion. La balle de riz est stockée dans une zone dédiée du site de production.



19. Stockage de la balle de riz à l'Iset de Rosso

Le mélange de la balle de riz et du Typha sec dans les mêmes proportions est réalisé à côté de la presse à extrusion. Le même nombre de sacs de chaque matière première est mélangé manuellement à l'aide de pelles jusqu'à obtenir un mélange homogène. La manipulation du Typha broyé sec expose les opérateurs à des quantités importantes de particules fines, il est donc obligatoire de porter un masque adapté et des lunettes de protection.



20. Mélange du Typha broyé et de la balle de riz

1.2. Extrusion de la matière première

Une fois que le mélange du Typha broyé et de la balle de riz est homogène, l'extrudeuse est allumée.



21. Presse à extrusion électrique de l'unité de production **semi-industrielle** de charbon de Typha de l'Iset

Le temps de mise en route de la machine est lié au chauffage de la filière de sortie par des résistances. La température de la filière de sortie nécessaire pour réduire suffisamment les frottements est de 400°C, ce qui nécessite un temps de chauffage d'environ 15 minutes. Si la filière n'est pas assez chaude le frottement est tellement important qu'il n'y a plus de glissement. La buchette est alors bloquée jusqu'à ce que la pression imposée par la vis sans fin et le moteur électrique soit assez importante pour l'expulser d'un coup. Cela provoque alors une projection de matière densifiée en avant. Un trou dans le mur face à l'extrudeuse et une cage de protection ont été créés pour éviter les accidents liés à ce phénomène. Le trou améliore aussi l'extraction des fumées générées par l'extrusion.



22. Cage de réception extérieure de l'unité en cas d'expulsion de buchettes

Une fois le mélange réalisé et la température de la filière atteinte, le mélange est inséré dans la trémie d'alimentation à l'aide d'une pelle. Le mélange peut se bloquer au-dessus de la vis sans fin, il est parfois nécessaire d'aider la matière à descendre avec un bâton de bois à travers la grille de protection ajoutée par l'équipe technique.



23. Trémie d'alimentation de l'extrudeuse protégée contre l'intrusion des mains des opérateurs

La matière est ensuite compactée par la vis sans fin et le fourreau conique. Le mélange passe d'une masse volumique de 150 kg/m^3 à une buchette de masse volumique de 1200 kg/m^3 soit un rapport de densification de 8. Le produit obtenu est très compact et ne nécessite pas l'ajout d'un liant. Il peut être carbonisé tel quel pour obtenir un charbon de qualité ou utilisée directement comme une alternative au bois. Une partie des buchettes produites permet d'alimenter le séchoir et le carbonisateur pour fournir la chaleur nécessaire à leur fonctionnement.



24. Buchettes en train de sortir de l'extrudeuse et résistances sous la protection métallique

A la sortie de l'extrudeuse, les buchettes chaudes sont récupérées avec une pelle et déposées dans des brouettes ou des demi-fûts. Un système de support en sortie fixé au bâti de la machine permet de soutenir la buchette et de limiter leur longueur à 45 cm. Elles sont ensuite transportées à côté du carbonisateur « 3 pots » où elles seront stockées avant d'être chargées dans les pots.



25. Manutention des buchettes

Il faut bien protéger les buchettes de la pluie car les buchettes se désagrègent au contact de l'eau, qui libère les contraintes liées au compactage du Typha broyé et de la balle de riz.



26. Buchette ayant subie l'effet direct de la pluie

1.3. Sécurité et suivi de la production

Une fiche de sécurité bien visible accompagne l'équipement pour que les opérateurs n'oublient pas les règles essentielles mises en place pour minimiser le risque d'accidents.

Une fiche de suivi (voir Annexe 4) permet de renseigner les données importantes à chaque utilisation de la machine. Cela comprend la masse de matière première introduite, la température de la filière pendant le fonctionnement, la consommation d'électricité, la durée de fonctionnement de la machine et la masse de buchettes produites. On peut ainsi en déduire la production horaire de la session.

Les pertes de matières liées à cette étape de production varient entre 10 et 15 %. Les causes sont multiples. Une part est due à l'évaporation d'une partie de l'eau présente dans la matière première lors son compactage et de son passage dans la filière de sortie à une température de 400°C. Une autre part est due aux projections incontrôlées de buchettes. Enfin une dernière part est perdue avant l'introduction de la matière première dans la trémie d'alimentation du fait de la volatilité du mélange.

Quelques buchettes sont dites « non carbonisable » car elles n'ont pas une longueur suffisante. Ces buchettes, de moins de 5 cm, sont mises de côtés pour alimenter le séchoir rotatif et le carbonisateur 3 pots qui nécessitent un apport externe de chaleur. Cette partie de la production « non carbonisable » représente environ 1% de la production de buchettes.

2. Fiche machine et données clés de la presse à extrusion

Presse à extrusion électrique



27 : Presse à extrusion - Vue globale

La presse à extrusion électrique permet de compacter le mélange composé à part égale de Typha broyé séché et de balle de riz pour produire des buchettes 8 fois plus denses sans ajout de liant. La matière est insérée manuellement dans la presse par la trémie d'alimentation. Une vis sans fin conique conduit ensuite le mélange le long de la filière de sortie au profil hexagonale concentrique et le contraint à se compacter. Le frottement est important et trois résistances en serpentin placées autour de la filière de sortie facilitent le glissement en la chauffant à 400°C.

Puissance	Masse	Dimensions (m)	Prix
22 kW	750 kg	1,98 × 1,17 × 1,30	4 300 €
Principaux composants de la machine	Moteur électrique réversible (22 kW, 175 kg, 50 Hz, couplage triangle 380V, 1440 tr/min)		
	Trémie d'alimentation, vis sans fin et fourreau conique, filière de sortie hexagonale, 3 résistances, thermocouple, commandes électriques		
Transmission du mouvement	Transmission par système de poulies et courroies (x4) Système de clavette entre la vis sans fin et l'arbre de la poulie		

Caractéristiques du produit en entrée	Granulométrie	Humidité sur brut	Taux de cendres	Masse volumique	Pouvoir calorifique inférieur humide
Typha broyé sec	0,5 mm à 5 mm	11,7 %	3,9 %	110 kg/m ³	13 050 kJ/kg
Balle de riz	1 mm à 10 mm	6,7 %	20,8 %	170 kg/m ³	10 800 kJ/kg
Mélange 50 – 50 en % de masse	0,5 mm à 10 mm	8,3 %	13,3 %	150 kg/m ³	12 300 kJ/kg

Caractéristiques du produit en sortie	Longueur, diamètre et masse	Humidité sur brut	Taux de cendres	Masse volumique	Pouvoir calorifique inférieur humide
Buchettes	45 cm Ø 5,6 cm 1,1 kg	6,2 %	13,7 %	1200 kg/m ³	12 000 kJ/kg

Caractéristiques techniques	Puissance	Capacité de production	Rendement matière
Données constructeur	maximale 22 kW	400 – 500 kg/h	-
Données relevées	moyenne 19 kW	150 – 230 kg/h	85 - 90 %
	Temps de chauffage des résistances (400°C)	Tension moyenne	Intensité moyenne
	15 min	400 V	20 A

Pièces d'usure	Vis sans fin (neuve)	Vis sans fin (entretien)	Résistances	Courroies
Coût unitaire	65 000	4 000 MRO ¹	5 000 MRO	4 000 MRO
Durée de vie	1 à 2 ans	Après 1 à 1,5 tonne de production	6 à 12 mois	2 à 3 ans

Nombre d'opérateurs nécessaires	3 opérateurs : Un pour alimenter en mélange, un autre pour s'assurer de la descente de la matière dans la trémie et le dernier pour récupérer les buchettes à la sortie.
Éléments de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • L'espace de travail minimum (machine comprise) est de 5 m² sans tenir compte de la zone de stockage du mélange si le processus n'est pas continu • Une cage de réception extérieure avec une ouverture dans le mur en cas d'expulsion incontrôlée de buchettes quand la filière n'est pas assez chaude (prévoir un saut d'eau à proximité car des morceaux peuvent encore être incandescents) • Ventilation pour extraire les fumées vers l'extérieur du bâtiment • Ajout d'un bouton d'arrêt d'urgence • Ajout d'une grille empêchant l'intrusion des mains des opérateurs dans la trémie d'alimentation

¹ Coût de rechargement de la vis avec apport de matière, équivaut au prix de la main d'œuvre et de la quantité de baguette de rechargements comprises. La durée de l'opération est d'environ une heure.

Equipements de protection individuelle	<ul style="list-style-type: none">• Masque de protection anti-poussière• Lunette de protection contre les projections• Gants anti-chaleur
Matériels de manutention	<ul style="list-style-type: none">• Pelles, sacs de riz et balance électronique pour réaliser le mélange des matières premières• Stockage provisoire du produit fini (buchettes) dans des demi-fûts métalliques ou directement dans des brouettes• Transport des matières premières et du produit fini par brouettes

3. Focus : Maintenance de la vis sans fin

Maintenance de la vis sans fin



28 : Démontage de la filière



29 : Démontage de la filière 2



30 : Extraction de la vis vue de la trémie



31 : Extraction de la vis 2



32 : Vis de référence et vis usée en bas



33 : Rechargement par la soudure



34 : Meulage du rechargement



35 : Vis rechargée prête à l'emploi

La maintenance de la vis s'effectue après 1 à 1,5 tonnes de buchettes extrudées. Le démontage et le remontage est simple et rapide, entre 5 et 10 minutes par un technicien. Cette étape nécessite peu de matériel, une clé à molette suffit, la vis sans fin vient en tirant dessus.

Le rechargement de la vis demande une certaine compétence en soudure car il faut suivre le mouvement du filet et garder la conicité des derniers filets de la vis. Cette technique d'apport de matière est différente d'une soudure classique et demande donc de la pratique.

Si les filets sont totalement usés, le rechargement peut prendre plus de temps, jusqu'à deux heures, auxquelles il faut ajouter une heure de meulage.

Si les filets sont toujours présents (usure modérée), la durée totale de l'opération est d'une heure. Deux baguettes de rechargement sont nécessaires pour recharger une vis sans fin ayant subi une usure modérée.

Un seul soudeur peut effectuer cette tâche. Le matériel nécessaire se limite à un poste de soudure accompagné du matériel de protection adéquate, de baguettes de rechargement et d'une meuleuse.

Les baguettes de rechargement doivent répondre à certaines exigences. Il est indispensable d'avoir une grande résistance à l'abrasion et à la pression.

Le coût de revient de l'opération est d'environ 4 000 MRO en incluant la main d'oeuvre. Le coût des baguettes de rechargement est de 30 000 MRO pour une boîte de 32 baguettes.

Le coût d'une vis à extrusion importée est de 65 000 MRO auxquels il faut ajouter les frais de port. Une fabrication locale ou sous régionale de cette pièce est à envisager afin de réduire ce coût.

VI. LA CARBONISATION DES BUCHETTES

1. Les étapes de la carbonisation

La carbonisation des buchettes extrudées permet d'obtenir un charbon de qualité ayant les caractéristiques adéquates pour un usage domestique. Le pouvoir calorifique réel est nettement augmenté, l'allumage est facilité et le dégagement de fumée est réduit.

1.1. Chargement des pots du carbonisateur

Ce carbonisateur est appelé « 3 pots » car il est équipé de trois pots amovibles grâce à un palan électrique à chaîne. Les buchettes extrudées acheminées à côté du carbonisateur sont chargées dans les pots descendus au sol grâce au palan. Il est possible de faire fonctionner les pots indépendamment les uns des autres afin d'avoir une carbonisation en continue en optimisant le temps de séjour à l'intérieur du carbonisateur. Afin d'obtenir le rendement maximal du carbonisateur, les pots sont sortis du carbonisateur pour la phase de refroidissement.



36. Vue d'ensemble du carbonisateur « 3 pots » avec son palan électrique de l'Iset de Rosso

Le pot est mis au sol grâce au palan pour le chargement. Deux opérateurs sont nécessaires pour le remplissage d'un pot. Les buchettes sont disposées de manière ordonnée comme sur la figure ci-dessous.

Afin de gagner en temps et en sécurité pour les opérateurs, des paniers en fer rond ont été fabriqués à l'Iset. Chaque pot peut contenir 3 paniers. C'est alors ces paniers qui sont manipulés avec le palan et qui sont chargés de buchettes et déchargés de charbon.



37 : Utilisation du palan pour descendre un des pots



38. Disposition des bquettes à l'intérieur d'un pot

Les bquettes sont pesées dans des sacs avant d'être introduites dans le carbonisateur. Un pot rempli peut contenir environ 550 kg de bquettes avec ce type de chargement. Le temps de chargement total des 3 pots est de 2 heures.

Une fois que les pots sont remplis, on ferme les couvercles des pots hermétiquement à l'aide d'un joint de terre. Dans un premier temps, lors de la montée en température, le chapeau de chaque pot restera ouvert pour permettre l'évacuation de la vapeur d'eau contenue dans les buchettes.



39. Fermeture d'un pot avec le chapeau et fermeture du conduit de récupération des gaz de pyrolyse

Un joint d'argile est réalisé autour du raccord qui vient se glisser sur le conduit. Le conduit permet de récupérer les gaz de pyrolyse pour les restituer dans les différents foyers de combustion qui se situent sous les pots. Ce dispositif permet d'économiser une grande quantité de combustibles car la combustion est auto-entretenu. Des vannes de fermeture sont situées sur chaque entrée et sortie de chaque pot ce qui permet de canaliser les gaz de pyrolyse sur les pots souhaités.



Figure 40 : Intérieur du four dans lequel le pot est glissé. Au fond, le tuyau réinjectant les gaz de pyrolyse sous le pot



41. Mise en place du raccord entre le couvercle et le conduit et réalisation du joint d'argile



Figure 42 : Vannes permettant de gérer la circulation des gaz de pyrolyse récupérés

1.2. Carbonisation

La carbonisation demande un apport externe de chaleur pour que la température des pots atteigne environ 500°C. Cette étape doit se faire avec deux opérateurs pour des raisons de sécurité.



43. Vue du carbonisateur « 3 pots » du côté des foyers de combustion avant l'allumage

Chaque pot est positionné au-dessus d'un foyer de combustion pouvant brûler les gaz de pyrolyse récupérés ainsi qu'une grande quantité de combustible. Cette combinaison représente l'apport ex-

terne de chaleur nécessaire à la carbonisation. Les fumées issues de ces combustions peuvent circuler autour du pot avant d'être rejetées hors du foyer. Les pots étant hermétiques, les flammes issues des foyers de combustion ne sont jamais en contact direct avec les buchettes à l'intérieur des pots.



44. Foyer de combustion sous un pot et conduite de restitution des gaz de pyrolyse

Les foyers sont alimentés par des buchettes de Typha extrudés et de Typha sec pour l'allumage. La carbonisation d'un pot de 550 kg de buchettes de Typha demande 90 kg de buchettes de Typha et donne environ 260 kg de charbon de Typha.

A l'allumage des foyers, les chapeaux sont ouverts et les vannes de récupération des gaz sont fermées. La durée de la montée en température des pots remplis est d'environ 4 heures au cours desquels le foyer est alimenté en continu.

La montée en température des buchettes entraîne une évaporation d'eau importante. Pour un pot contenant 500 kg de buchettes avec une humidité de 6%, il y a environ 30 litres d'eau qui sont évaporés lors de cette phase. Du fait de l'intense dégagement de fumée que provoque cette phase, il est important de choisir un emplacement adapté pour le carbonisateur afin de limiter les désagréments que cela peut engendrer.



45. Evaporation de l'eau pendant la montée en température

Le moment de la fermeture d'un pot et de l'ouverture de son conduit de récupération des gaz intervient quand les gaz sortants par le haut du pot peuvent s'enflammer au contact d'une flamme. Des tiges de Typha sec enflammées permettent de faire le test fréquemment. Ce phénomène arrive entre 3 et 4 heures après l'allumage selon l'intensité de la combustion dans le foyer. Le chapeau du couvercle du pot est alors fermé par un joint de terre.



46. Combustion des gaz sortants d'un pot avec du Typha sec enflammé

La carbonisation produit des gaz qui sont réutilisés et brûlés mais aussi des goudrons végétaux liquides qui ne sont pas valorisés pour le moment. Ces goudrons sont évacués par la conduite de récupération des gaz de pyrolyse et stockés dans des seaux étanches avant élimination.



47. Evacuation des goudrons

Quatre heures après l'allumage, tous les pots sont fermés et les gaz de pyrolyse prennent entièrement le relais pour assurer l'apport de chaleur nécessaire à l'entretien de la carbonisation. Cette phase peut continuer jusqu'à 18 heures après l'allumage. Le refroidissement des pots dure 2 jours. Les pots doivent rester fermés hermétiquement pour éviter l'entrée d'air pouvant entraîner la combustion du charbon. Si la cadence de production est importante, le palan électrique doit être utilisé pour évacuer les pots qui peuvent refroidir à l'extérieur du carbonisateur pour les remplacer par de nouveaux pots, permettant ainsi de lancer une nouvelle carbonisation.



Figure 48 : Combustion des gaz de pyrolyse récupérés, 5h après le démarrage de la carbonisation



49. Carbonisation auto-entretenue grâce à la combustion des gaz de pyrolyse 12 heures après le début de la carbonisation

1.3. Défournement

Après leur refroidissement, les pots sont ouverts pour extraire le charbon de Typha. La masse volumique du charbon de Typha est plus faible que les buchettes, elle passe de 1200 kg/m³ à 800 kg/m³ et le PCIh passe de 12 000 kJ/kg à 19 300 kJ/kg. Pour un même volume d'un mètre cube, on transportera 1 040 mégajoules d'énergies supplémentaires avec un combustible de meilleure qualité après la carbonisation.



50. Charbon de Typha après ouverture d'un pot

Comme pour le chargement des pots, le défournement se fait au sol après avoir descendu les pots avec le palan.

Le rendement matière est de 47 %. Cela correspond à la quantité de matière carbonisée dans les pots sur la masse de buchettes introduites dans les pots. Le rendement tombe à 40 % en incluant la consommation de buchettes sous les pots.



51 : Différents morceaux de charbon de Typha à la sortie du carbonisateur



52 : Produit final découpé et prêt à être allumé

1.4. Stockage

Le charbon de Typha Industriel en sac est stocké en priorité à l'intérieur pour éviter tout contact avec la pluie. Un hangar extérieur couvert a été aménagé. Le charbon de Typha Industriel ne se désagrège pas sous l'effet de la pluie mais il peut absorber de l'humidité. Il est important de surveiller cet indicateur de qualité avant la commercialisation.



53. Zone de stockage du charbon de Typha Industriel à l'Iset de Rosso

1.5. Sécurité et suivi de la production

Une fiche de suivi et une fiche sécurité encadrent l'utilisation du carbonisateur « 3 pots » (voir l'annexe 5). Les opérateurs sont exposés à certains dangers comme le fait d'être en hauteur, sur le carbonisateur, sans sécurité, la présence importante de fumées lors de l'allumage du carbonisateur ou encore la manipulation de charge lourde par palan électrique. C'est pourquoi les opérateurs ont été formés et doivent respecter un certain nombre de règles de sécurité.

La fiche de suivi de la production permet de suivre principalement le rendement de la carbonisation, la consommation de buchettes ainsi que la production mensuelle.

2. Fiche machine et données clés du carbonisateur « 3 pots »

Carbonisateur « 3 pots »



54. Vue globale du carbonisateur « 3 pots » de l'Iset de Rosso

Le carbonisateur « 3 pots » permet de carboniser une grande quantité de buchettes extrudées (1,65 tonnes) en une journée avec les 3 pots remplis pour obtenir du charbon. Chaque pot peut contenir 550 kg de buchettes et peut fonctionner indépendamment des autres.

Le produit fini, le charbon de Typha industriel, représente 47 % de la masse des buchettes en entrée soit 775 kg pour une carbonisation d'1,65 tonne de buchettes. La carbonisation nécessite un apport externe de chaleur lors des 4 premières heures puis l'apport d'énergie est auto-entretenu grâce à la récupération des gaz de pyrolyse. Cet apport représente 90 kg de buchettes de Typha par pot soit 270 kg pour une carbonisation des trois pots.

Le suivi du démarrage de la carbonisation dure 4 heures et la durée totale de cette étape est de 3 jours en intégrant le refroidissement du charbon.

Pays fournisseur	Masse	Dimensions (m)	Prix
Chine	3 800 kg	3,9 × 1,6 × 6,7	8 800 €
Principaux composants de la machine	Palan électrique à chaîne (2,16 kW, charge max 2 tonnes) avec structure métallique pour la manipulation des pots		
	3 pots amovibles avec couvercles, 3 foyers de combustion en pierre, conduites de récupération des gaz de pyrolyse avec des vannes d'entrée/sortie pour chaque pot et foyer, 2 échelles		

Caractéristiques du produit en entrée	Longueur, diamètre et	Humidité sur brut	Taux de cendres	Masse volumique	Pouvoir calorifique infé-
---------------------------------------	-----------------------	-------------------	-----------------	-----------------	---------------------------

	masse				rieur humide
Buchettes	45 cm Ø 5,6 cm 1,100 kg	6,2 %	13,7 %	1200 kg/m ³	12 000 kJ/kg

Caractéristiques du produit en sortie	Longueur, diamètre et masse	Humidité sur brut	Taux de cendres	Masse volumique	Pouvoir calorifique inférieur humide
Charbon de Typha Industriel	41 cm Ø 5,1 cm 670 g	4,4 %	31,4 %	800 kg/m ³	19 300 kJ/kg

Caractéristiques techniques	Palan électrique à chaîne	Capacité de production	Rendement matière
Données constructeur	2,16 kW Charge max : 2 tonnes	1 250 kg par jour	50 %
Données relevées	-	775 kg par jour	47 %
	Temps de chargement	Temps de montée en température (500°C)	Durée de la carbonisation
	2h	4h	5h à 10h
	Temps de refroidissement	Temps de déchargement	Temps total d'une carbonisation
	48h	3h	3 jours

Equipements de protection individuelle	<ul style="list-style-type: none"> Masque de protection anti-poussière Lunette de protection contre les projections Gants anti-chaaleur
Matériels de manutention	<ul style="list-style-type: none"> Sacs et balance électronique pour peser et stocker la production Transport des matières premières et du produit fini par brouettes
Nombre d'opérateurs nécessaires	2 opérateurs sont nécessaires pour réaliser l'ensemble des étapes

VII. PRIX D'UNE UNITE SEMI-INDUSTRIELLE ET ORIGINE DES EQUIPEMENTS

L'unité semi-industrielle de l'Iset de Rosso a été installée dans un bâtiment de l'Iset réhabilité (électricité, maçonnerie) dans le cadre du projet pour accueillir les équipements. Le bâtiment sécurisé fait 200 m². L'unité est équipée de boutons d'arrêt d'urgence à proximité de chaque machine et d'une porte de 3x3 m. Le carbonisateur est sur une dalle à l'extérieur et un hangar a été ajouté afin de stocker le charbon produit.

Equipement	Prix
Broyeur à marteaux	2 000 €
Séchoir rotatif	9 800 €

Production de charbon de Typha en alternative au charbon de bois en Mauritanie

Extrudeuse	4 300 €
Carbonisateur 3 pots	8 800 €
Livraison à Nouakchott	5 900 €
Total	30 800 €

Pays de fabrication : Chine

VIII.ANNEXES

1. Annexe 1 : Fiche de suivi du broyeur

Unité de production industrielle de charbon de Typha - Ligne cuisine

Iset de Rosso - Projet Typha

Fiche de suivi de la production du broyeur

Année : <input type="text"/>		Responsable : <input type="text"/>			
Mois : <input type="text"/>		Participants : <input type="text"/>			
Jour	Compt début	Consommation (kWh)	Durée du broyage (min)	Masse de typha broyé (kg)	Rendement de production (kg/h)
	Compt fin				
Total					

2. Annexe 2 : Fiche de sécurité du broyeur

Fiche de sécurité

Machine : Broyeur

Consignes à respecter

- > Ne pas mettre la main dans la trémie d'alimentation

Conditions d'utilisation

- > Un seul opérateur doit avoir le contrôle de la machine
- > Deux opérateurs au minimum sur une machine
- > L'opérateur ne doit jamais laisser sans surveillance une machine en marche

Protections individuelles

- > Vêtement de travail non flottant (boubous et turbans interdits)
- > Chaussures fermées (claquettes et sandales interdits)
- > Lunettes de protection, masques et gants

3. Annexe 3 : Fiche de suivi du séchoir

Unité de production industrielle de charbon de Typha - Ligne cuisine

Iset de Rosso - Projet Typha

Fiche de suivi de la production du séchoir

Année :		Responsable :								
Mois :		Participants :								
Jour	Masse de typha broyé (kg)	Humidité avant (%)	Humidité après (%)	Masse de buchettes	Température du séchage	Durée du séchage (min)	Compt Compt fin	Consommation (kWh)	Masse de typha sec (kg)	Rendement de production (kg/h)
Total										

4. Annexe 4 : Fiche de suivi de la presse à extrusion

Unité de production industrielle de charbon de Typha - Ligne cuisine

Iset de Rosso - Projet Typha

Fiche de suivi de la production de l'extrudeuse

Année :		Responsable :								
Mois :		Participants :								
Jour	Masse de typha mélangé (kg)	Masse de balle de riz (kg)	Pourcentage du mélange (%)	Température de chauffage (°C)	Durée de briquetage (min)	Compt début Compt fin	Consommation (kWh)	Masse des briquettes (kg)	Rendement de prod (kg/h)	Code
Total										

5. Annexe 5 : Fiche de suivi du carbonisateur « 3 pots »

Unité de production industrielle de charbon de Typha - Ligne cuisine

Iset de Rosso - Projet Typha

Fiche de suivi de la production du carbonisateur

Année :	
Mois :	

Responsable :	
Participants :	

Jour	Code	M bucht (kg)	M pot 1 (kg)	M pot 2 (kg)	M pot 3 (kg)	M initiale bucht (kg)	M bucht utilisé (kg)	Temp ph 1 (°C)	Temp ph 2 (°C)	Durée ph 1 (min)	Durée totale (min)	C début C fin	Consommation (kWh)	Masse briquettes (kg)	Production (kg/h)	Rend de carbonisation (%)
Moyenne																

Pour aller plus loin, les documents suivants sont accessibles en téléchargement sur le site du Gret — www.gret.org :

- Document de synthèse : « Production de charbon de Typha en alternative au charbon de bois en Mauritanie »
- Fiche descriptive du *Typha australis*
- Cahier technique n° 1 : « Guide de production artisanale de charbon de Typha »
- Cahier technique n° 3 : « Mesure des caractéristiques physico-chimiques des combustibles domestiques solides »
- Cahier technique n° 4 : « Caractéristiques physico-chimiques de charbons produits à base de *Typha australis* »
- Cahier technique n° 5 : « Guide pour la récupération d'une zone de pêche suite à la coupe manuelle de *Typha australis* »

CONTACTS

Représentation du Gret en Mauritanie

e-mail : mauritanie@gret.org / **tél.** : +222 45 25 84 96

www.gret.org/mauritanie

En Mauritanie : Tourad Ould Sery, touradsery.mr@gret.org

Au siège : Julien Cerqueira, cerqueira@gret.org

PROJET FINANCÉ PAR :



Le contenu de ce document relève de la seule responsabilité du Gret et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant l'avis des partenaires financiers.