



CAHIER TECHNIQUE N° 4

Caractéristiques physico- chimiques de charbons produits à base de *Typha australis*

Synthèse des résultats obtenus 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

Caractéristiques physico-chimiques de charbons produits à base de *Typha australis*

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 les caractéristiques de plusieurs charbons produits à base de *Typha australis*. Ces tests ont été réalisés à partir des protocoles de mesure des caractéristiques physico-chimiques des combustibles domestiques conçus par le projet sur des échantillons de charbon de bois et de plusieurs charbons de Typha produits dans le cadre du projet.

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, *Caractéristiques physico-chimiques de différents charbons produits à base de Typha Australis*, Paris, Gret et Iset de Rosso, avril 2016, 20 p.

Crédits photos : © Gret

Sommaire

I.	Avant propos.....	4
II.	Caractérisation de la matière première, <i>Typha australis</i>	5
1.	Caractéristiques biologiques de la plante	5
2.	Analyse élémentaire du <i>Typha Australis</i>	5
III.	Caractérisation des charbons de Typha et du charbon de bois	6
1.	Analyse élémentaire des charbons	6
2.	Humidité.....	7
3.	Taux de cendres.....	8
4.	Pouvoir calorifique.....	9
5.	Masse volumique.....	11
6.	Masse volumique apparente	12
7.	Solidité	12
8.	Facilité d'allumage.....	13
9.	Test d'ébullition de l'eau.....	13
10.	Test de cuisine comparée	15
IV.	Récapitulatif.....	19
1.	Tableau de synthèse des mesures réalisées :	19
2.	Conclusion :	20

I. AVANT PROPOS

Le projet Typha vise à développer un charbon à partir de la plante *Typha australis* afin de remplacer le charbon de bois. Des mesures en laboratoire ont été réalisées afin de connaître les caractéristiques des différents charbons produits dans le cadre du projet TYPHA.

Ces mesures permettront :

1. De s'assurer du respect du cahier des charges lors de sa production ;
2. De s'assurer de la mise sur le marché d'un produit répondant aux usages des utilisatrices ;
3. D'aider au positionnement du combustible sur le marché en fonction de ses forces et faiblesses.

Elles ont été réalisées durant les mois de mai et juin 2015 en suivant les protocoles de mesure des caractéristiques physico-chimiques des combustibles domestiques solides établies à l'Iset de Rosso par Babana Ould Mohamed Lemine dans le cadre du projet Typha.

Notations :

Charbon de bois : Charbon de bois vendu dans les commerces de la ville de Rosso.

Charbon de Typha – Industriel : Charbon de Typha produit suivant le processus de production semi-industriel mis en place à l'Iset de Rosso. Il se compose de 50 % de Typha et de 50 % de balle de riz (Pour en savoir plus sur le processus de production : cf. Processus de fabrication industriel du charbon de Typha).

Charbon de Typha – Argile : Charbon de Typha produit suivant le processus de production artisanal utilisant l'argile comme liant à hauteur de 15% du Typha carbonisé (Pour en savoir plus sur le processus de production : cf. Processus de fabrication artisanal du charbon de Typha).

Charbon de Typha – Gomme : Charbon de Typha produit suivant le processus de production artisanal utilisant la gomme arabique comme liant à hauteur de 5% du Typha carbonisé (Pour en savoir plus sur le processus de production : cf. Processus de fabrication artisanal du charbon de Typha).

II. CARACTERISATION DE LA MATIERE PREMIERE, *TYPHA AUSTRALIS*

1. Caractéristiques biologiques de la plante

Le *Typha Australis* est une plante herbacée de la famille des *Typhaceae*. Cette plante est aussi appelée « massette » ou « quenouille » en raison d'une massette caractéristique située sur la tige composée de fleurs mâles en partie supérieure et de fleurs femelles en partie inférieure. Elle se développe en colonies denses grâce à ses rhizomes dans les zones humides d'eau douce. Les bords des cours d'eau calme, les étangs, les marais et les fossés sont des milieux idéals au développement de cette plante.

La croissance de cette plante est rapide et sa taille peut atteindre 4 mètres à sa maturité. La masse fraîche de *Typha* est de 10 kg/m² en moyenne et varie entre 5 et 15 kg/m².

Le pouvoir calorifique¹ supérieur du *Typha* est d'environ 16 300 kJ/kg, avec un pourcentage d'hydrogène sur masse sèche de 5,7 % obtenue grâce à des analyses élémentaires (voir tableau ci-dessous). Le pouvoir calorifique inférieur sec est de 15 000 kJ/kg. Si l'on souhaite utiliser le *Typha* directement comme combustible, son humidité après un séchage naturel (à l'air libre) de 10 jours sera d'environ 30% et cela aura un impact majeur sur son pouvoir calorifique. Son pouvoir calorifique réel que l'on appellera pouvoir calorifique inférieur humide n'est alors que de 10 000 kJ/kg.

Le taux de cendres du *Typha* est d'environ 4 %. Ce taux de cendre est faible et représentatif d'une biomasse avec une teneur faible en minéraux comme le bois.

2. Analyse élémentaire du *Typha Australis*

2.1. Définition :

Une analyse élémentaire consiste à déterminer les éléments chimiques qui constituent un composé. Elles ont été réalisées sur la plante dans le cadre d'un projet de fin d'étude en relation avec le projet *Typha* effectué par des étudiants de l'École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois (ENSTIB). On a ainsi pu obtenir le pourcentage sur sec des éléments du *Typha* suivants : Carbone, Hydrogène, Azote, Soufre et Chlore.

2.2. Résultats :

	Carbone en % sur sec	Hydrogène en % sur sec	Azote en % sur sec	Soufre en % sur sec	Chlore en % sur sec
Typha situé à ~ 130 km de l'embouchure	47,3 %	5,7 %	0,5 %	1,0 %	5,8 %
Typha situé à ~ 30 km de l'embouchure	45,4 %	5,4 %	0,5 %	0,4 %	12,81 %

Tableau 1. Résultats des analyses élémentaires du *Typha Australis* issues de deux sites différents

¹ Le pouvoir calorifique est défini en détail dans le chapitre 4 de la partie III de ce présent document

2.3. Analyse :

Depuis la construction du barrage de Diama, il n'y a plus de remontés d'eau salée provenant de l'océan mais les sols ont gardés certains minéraux liés à ce passé. Nous avons donc souhaité voir l'impact du sol sur la plante en s'intéressant notamment au chlore, élément chimique caractéristique des milieux salés. On observe une très nette différence entre les deux sites avec le double de chlore dans la plante de Typha issue du site anciennement sujet aux remontées d'eau salée.

L'azote et le soufre sont peu présent dans la plante, l'industrialisation et l'agriculture intensive étant faible au bord du fleuve Sénégal, l'eau est peu polluée.

Le taux de carbone et le taux d'hydrogène sont comparables à d'autre biomasse comme le bois qui a un taux de carbone de 50% et un taux d'hydrogène de 6%. Cette biomasse possède donc les caractéristiques adéquates pour être valorisée énergétiquement.

III. CARACTERISATION DES CHARBONS DE TYPHA ET DU CHARBON DE BOIS

1. Analyse élémentaire des charbons

1.1. Définition :

Comment pour le Typha Australis, nous avons effectués des analyses élémentaires sur les différents charbons pour connaître leurs taux de carbone, d'hydrogène, d'azote, de soufre et de chlore.

1.2. Résultats :

	Carbone en % sur sec	Hydrogène en % sur sec	Azote en % sur sec	Soufre en % sur sec	Chlore en % sur sec
Charbon de bois	84,2 %	2,8 %	0,4 %	0,2 %	1,7 %
Charbon de Typha – Indus. 80 – 20 ²	77,5 %	3,1 %	1,2 %	0,9 %	8,5 %
Charbon de Typha – Argile	37,1 %	1,6 %	0,4 %	0,6 %	3,0 %
Charbon de Typha - Gomme	49,3 %	1,5 %	0,7 %	1,0 %	41,6 %

Tableau 2. Résultats des analyses élémentaires des différents charbons

² Charbon de Typha Industriel produit selon les proportions de l'ancien mélange, 80 % de balle de riz et 20 % de Typha, avec lequel nous avons effectué ces analyses élémentaires.

1.3. Analyse :

Le charbon de bois possède le plus haut taux de carbone en raison de la faible présence de minéraux. Le charbon de Typha Industriel est composé exclusivement de biomasse, du Typha et de balle de riz à part égale. C'est pourquoi le charbon de Typha Industriel possède lui aussi un fort taux de carbone. Le charbon de Typha – Argile possède le plus faible de taux de carbone en raison de l'utilisation de l'argile, un minéral, comme liant. Le charbon de Typha – Gomme possède un taux de carbone moyen, la gomme arabique étant un composé organique difficilement combustible contenant des minéraux.

Le taux d'hydrogène est élevé, environ 3%, pour les charbons issus uniquement de biomasse et faible, environ 1,5 %, pour les charbons artisanaux.

Les taux d'azote et de soufre sont faible et sont synonymes d'un sol peu pollué par les engrais liés à l'industrie agricole de la sous-région.

La présence de chlore dans les charbons est liée principalement à la salinité du sol d'où est extraite la biomasse utilisée. Le charbon de Typha – Gomme provient d'un site de production artisanal proche du barrage de Diama. Le taux de chlore est d'autant plus important pour le charbon de Typha – Gomme car le processus artisanal implique l'utilisation de l'eau comme liant, une eau qui contient potentiellement un important taux de chlore. Ce taux est à surveiller car il peut avoir un impact direct sur les qualités du combustible, notamment sur l'allumage et donc la combustion. Nous avons pu observer que l'utilisation de la gomme arabique comme liant permet de réduire ces impacts.

2. Humidité

2.1. Définition :

L'humidité sur brut représente la quantité d'eau présente dans le charbon par rapport à sa masse humide. L'humidité d'un solide poreux est une caractéristique qui tend à s'homogénéiser avec l'humidité relative de l'air ambiant. Cette caractéristique est donc directement liée à la méthode de séchage à court terme et aux conditions de stockage à long terme et varie donc au cours du temps.

Les mesures suivantes ont été relevées après une durée de séchage supérieur à une semaine et un stockage de plus de deux semaines dans une enceinte close et sèche (laboratoire de mesure des caractéristiques physico-chimiques des combustibles solides de l'Iset de Rosso).

L'humidité a un impact direct sur le pouvoir calorifique du combustible : plus un combustible est humide, moins il pourra dégager d'énergie.

2.2. Résultats :

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Humidité sur brut	5,60 %	4,38 %	7,01 %	7,36 %
Ecart-type	0,31	0,37	0,14	0,22

Tableau 3. Humidité sur brut des différents charbons

2.3. Analyse :

Le faible écart-type sur les 4 charbons montre que les différents échantillons d'un même charbon tendent vers une même humidité.

Le charbon de bois et le charbon de Typha industriel ont une humidité faible avec respectivement 5,60 % et 4,38 %, contrairement aux charbons de Typha artisanaux (Argile et Gomme) qui ont une humidité supérieur à 7 %.

Le processus de fabrication de charbon de bois et du charbon de Typha industriel permet d'évacuer l'eau présente dans la biomasse lors de la carbonisation qui est la dernière étape pour obtenir le produit fini. Pour le charbon de Typha artisanal, on ajoute de l'eau et un liant au Typha carbonisé pour ensuite le compacter via une presse à extrusion et ensuite le sécher pour obtenir le produit fini. (cf. Processus de fabrication industriel et artisanal du charbon de Typha)

Ces différents processus ont un impact sur la capacité des charbons à emmagasiner de l'eau. Le charbon de Typha artisanal qui était composé d'eau avant le séchage final peut facilement la regagner car celle-ci avait déjà « sa place » dans le produit contrairement au charbon de bois et au charbon de Typha industriel qui se sont rétractés lors de la carbonisation.

Le charbon de Typha artisanal (Argile et Gomme) doit être séché suffisamment longtemps à l'extérieur et être stocké dans un endroit très sec car il est sensible à l'humidité. Le charbon de Typha industriel doit être lui aussi stocké dans un endroit sec même si ce dernier est moins sensible à l'humidité.

3. Taux de cendres

3.1. Définition :

Le taux de cendres représente la masse de cendres (matières minérales non combustibles) restante après une incération complète du combustible par rapport à sa masse sèche.

3.2. Résultats :

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Taux de cendres	4,26 %	31,40 %	37,68 %	25,59 %
Ecart-type	1,64	0,18	0,97	1,08

Tableau 4. Taux de cendres des différents charbons

3.3. Analyse :

Le charbon de bois a un taux de cendres moyen très faible, inférieur à 5 %. Cela est lié à sa faible teneur en matières minérales. Cependant l'écart-type montre une certaine variabilité tout en restant toujours inférieur à 6 %. On s'aperçoit de l'hétérogénéité de la qualité du combustible due à une composition variable (branchages, écorces, troncs et différentes essences) et à des variations dans les méthodes de production.

Le charbon de Typha Industriel à un taux de cendres de 31,40 % avec un écart-type de 0,18. Le taux de cendres élevé est directement lié à la balle de riz. En effet, celle-ci contient un taux de cendres élevé (~ 21,5 %) contrairement au Typha (~ 4 %) avant la carbonisation. Ce taux est principalement lié à la présence importante d'oxyde de silicium dans la balle de riz. L'écart-type très

faible souligne une très bonne homogénéité du charbon de Typha produit via le processus industriel au cours duquel des contrôles sont réalisés sur les matières premières entre chaque étape de production. De plus, le charbon de Typha industriel ne sèche pas à l'extérieur et évite ainsi les dépôts de poussières.

Le charbon de Typha Argile artisanal a un taux de cendres élevé de 38,8 %, lié à l'utilisation de l'argile, un composé minéral, en quantité non négligeable comme liant. Des dépôts de poussières peuvent augmenter le taux de cendres selon la saison lors du séchage final à l'extérieur. La cendre se distingue facilement et se caractérise par une couleur grise – orangée liée à la couleur de l'argile. L'écart-type est élevé et montre une certaine hétérogénéité du produit qui est directement liée à la précision du mélange (eau, Typha carbonisé, argile) et à la qualité variable de la carbonisation.

Le charbon de Typha Gomme artisanal a un taux de cendres plus faible que les autres charbons de Typha avec une valeur de 25,59 %. Cette valeur plus faible que le charbon de Typha Argile est liée à l'utilisation de la gomme arabique, un composé organique, comme liant. Tout comme le charbon de Typha Argile artisanal, l'écart-type est lié au processus de fabrication et à ses contraintes.

4. Pouvoir calorifique

4.1. Définitions :

Le pouvoir calorifique représente la quantité d'énergie contenue dans une unité de masse de combustible. L'unité choisie est le kilojoule par kilogramme, soit la quantité de chaleur en kilojoules délivrée par un kilogramme de combustible.

On distingue le PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur), le PCIs (Pouvoir Calorifique Inférieur sec) et le PCIh (Pouvoir Calorifique Inférieur humide).

Le PCS représente la quantité de chaleur dégagée par le combustible avec récupération par condensation de l'énergie contenue dans la vapeur d'eau issue de la réaction de combustion. C'est le cas par exemple pour les chaudières à condensation qui permet d'avoir de très bon rendement énergétique. Si cette énergie n'est pas récupérée, il faut s'intéresser au pouvoir calorifique inférieur.

Le PCIs représente la quantité de chaleur dégagée par le combustible sans récupération de l'énergie contenue dans la vapeur d'eau issue de la réaction de combustion.

Le PCIh représente la quantité de chaleur dégagée par le combustible sans récupération de l'énergie contenue dans la vapeur et en prenant en compte l'énergie perdue due à la présence d'eau dans le combustible.

Le PCIh est donc directement lié à l'humidité du combustible et représente la quantité d'énergie réelle pouvant être dégagée du combustible. On peut ainsi comparer différents combustibles s'ils ont les mêmes conditions de stockage et une humidité stable. Les valeurs d'humidité utilisées pour le calcul du PCIh sont celles données dans la partie 2 de ce document.

Le calcul du PCIs se fait à partir du PCS obtenu à l'aide d'une bombe calorimétrique et du taux d'hydrogène sur masse sèche du combustible. Le taux d'hydrogène sur masse sèche (H%) a été obtenu grâce à des analyses élémentaires réalisées dans le cadre d'un Projet de Fin d'Étude (PFE) effectué par des étudiants de l'ENSTIB (École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois) lors du projet Typha.

4.2. Résultats :

	<i>Typha Australis</i>	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Taux de carbone (C% sur sec)	47,25 %	84,2 %	77,5 %	37,1 %	49,3 %
Taux d'hydrogène (H% sur sec)	5,73 %	2,82 %	3,11 % ³	1,57 %	1,46 %

Tableau 5. Analyse élémentaires du *Typha Australis* et des différents charbons

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
PCS (kJ/kg)	28 700	21 000	16 300	17 750
Hydrogène %	2,8	3,1	1,6	1,5
PCIs (kJ/kg)	28 000	20 300	16 000	17 400
Humidité (%)	5,6	4,38	7,01	7,36
PCIh (kJ/kg)	26 300	19 300	14 650	16 000
Ecart-type	2 260	700	700	1 330
PCIh x / PCIh charbon de bois	100 %	73,4 %	55,7 %	60,8 %

Tableau 6. Pouvoir calorifique des différents charbons

4.3. Analyse :

Le charbon de bois est connu pour son pouvoir calorifique élevé ; on relèvera un PCIh de 26 300 kJ/kg pour ce dernier mais un écart-type très important. Le pouvoir calorifique du charbon de bois peut varier de plus ou moins 2 000 kJ/kg. Cela est dû à la présence de différentes essences, à la qualité non homogène de la carbonisation, la présence d'écorces et de branches. L'effet de l'humidité sur le pouvoir calorifique du charbon de bois est important avec une baisse de 1 700 kJ/kg qui est la différence entre le PCIs et le PCIh. Plus le pouvoir calorifique inférieur sec (PCIs) est important, plus l'effet de l'humidité sur le pouvoir calorifique est élevé.

Le PCIh du charbon de Typha industriel est proche de 20 000 kJ/kg avec une valeur moyenne de 19 300 kJ/kg et un écart-type faible de 700 kJ/kg synonyme d'une bonne homogénéité. Le charbon de Typha Industriel est composé principalement de biomasse, mais la balle de riz contenant un

³ Valeur mesurée sur le charbon de Typha Industriel ayant un mélange de 80 % de balle de riz et 20 % de Typha que l'on utilise pour le calcul du pouvoir calorifique inférieur d'un mélange de 50 % de balle de riz et 20 % de Typha. Il est probable que le taux d'hydrogène réel du produit soit supérieur à 3,11 % pour atteindre un taux d'environ 3,5 %. Cette différence de taux d'hydrogène engendrerait une réduction de 100 kJ/kg sur les PCI et reste donc négligeable devant l'ordre de grandeur.

important taux de minéraux réduit le pouvoir calorifique de ce dernier. L'humidité quant à elle réduit de 1 000 kJ/kg le pouvoir calorifique.

Le charbon de Typha Argile a un PCIh de 14 650 kJ/kg avec un écart-type de 700 kJ/kg. L'humidité du charbon de Typha Argile a un impact sur le pouvoir calorifique avec une réduction de 1 500 kJ/kg. L'effet de l'humidité est donc plus faible que le charbon de bois malgré une humidité supérieur mais le PCIh reste très inférieur à celui du charbon de bois avec 14 650 kJ/kg de moins soit 55,70 % du PCIh du charbon de bois. L'écart-type est faible comparé au charbon de bois, le combustible est donc plus homogène.

Le charbon de Typha Gomme a un PCIh de 16 000 kJ/kg. La gomme arabique est un composé organique mais n'est pas considéré comme un combustible. Cela réduit donc le pouvoir calorifique. L'écart-type est de 1 330 kJ/kg et est directement lié à l'homogénéité du mélange et la qualité de la carbonisation. L'humidité abaisse le pouvoir calorifique de 1 400 kJ/kg.

Le charbon de Typha Industriel a un bon PCIh par rapport au charbon de bois qui représente 73,4 % de ce dernier et une bonne homogénéité. Les charbons artisanaux de Typha (Argile et Gomme) ont un pouvoir calorifique inférieur humide plus faible se rapprochant du PCIh moyen du bois (bois vert ~ 15 000 kJ/kg et bois sec ~ 19 000 kJ/kg). Les combustibles produits à base de Typha dans le cadre du projet ont donc un pouvoir calorifique satisfaisant pour une utilisation domestique.

5. Masse volumique

5.1. Définition :

La masse volumique représente la masse contenue dans une unité de volume de matière. Elle est exprimée en kilogramme par mètre cube. La masse volumique moyenne mesurée est une approximation due à l'utilisation du volume immergé de l'échantillon dans une éprouvette graduée pour mesurer son volume (cf. Protocoles de mesures des caractéristiques physico-chimiques des combustibles solides).

5.2. Résultats :

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Masse volumique moyenne	650 kg/m ³	800 kg/m ³	600 kg/m ³	600 kg/m ³
Ecart-type	80	20	60	35

Tableau 7. Masse volumique moyenne des différents charbons

5.3. Analyse :

Le charbon de bois à une masse volumique de 650 kg/m³ qui peut varier en fonction de la masse volumique de l'essence de bois utilisée.

Le charbon de Typha Industriel est plus dense que le charbon de bois avec une masse volumique autour de 800 kg/m³ et un faible écart-type. La presse à extrusion industriel permet de densifier le mélange de biomasse avec une pression importante alors que la presse artisanale ne peut pas fournir autant de puissance. Les charbons de Typha artisanaux ont donc une masse volumique plus faible, autour de 600 kg/m³.

6. Masse volumique apparente

6.1. Définition :

La masse volumique apparente représente la masse de combustible réel présente dans un volume donné, elle permet de rendre compte de la forme, de la porosité et de la granulométrie du combustible. On peut ainsi estimer la quantité de combustible dans un emballage de vente au volume connu.

6.2. Résultats :

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Mv app en vrac	260 – 280 kg/m ³	360 – 390 kg/m ³	270 – 310 kg/m ³	310 – 340 kg/m ³
Mv app en rang	300 kg/m ³	420 kg/m ³	355 kg/m ³	390 kg/m ³
Dans un sac de riz en vrac	18,9 kg	26,3 kg	20,3 kg	22,8 kg

Tableau 8. Masse volumique apparente en vrac et en rang des différents charbons

6.3. Analyse :

Les charbons de Typha Industriel et artisanaux ont à peu près la même granulométrie due à leur forme tubulaire liée à l'utilisation d'une vis à extrusion pour leur compactage. La masse volumique apparente est donc directement liée à la masse volumique si l'on compare les charbons de Typha entre eux.

La masse volumique du charbon de Typha industriel permet un gain non négligeable sur la masse de combustible transporté dans un sac de riz comparé au charbon de bois avec un écart d'environ 7,4 kg par sac de riz.

Les charbons de Typha artisanaux gagnent aussi environ 3 kg par sac de riz mais ce transport n'est pas préconisé pour de grandes quantités à cause de leur faible solidité.

7. Solidité

7.1. Définition :

Dans le cadre d'une utilisation domestique, un charbon doit avoir une certaine solidité pour résister à son transport en camion et à la pression de la marmite lors de la cuisson. Grâce à un dispositif où l'on lâche une bille d'acier sur le charbon, on détermine le seuil de rupture moyen de l'échantillon.

7.2. Résultats :

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Seuil de rupture	0,23	0,25	0,14	0,08

Ecart-type	0,014	0,004	0,013	0,007
-------------------	-------	-------	-------	-------

Tableau 9. Seuil de rupture moyen des différents charbons

7.3. Analyse :

Le charbon de Typha Industriel est un peu plus solide que le charbon de bois et il a une meilleure homogénéité. Il peut donc être transporté en grande quantité sur de longues distances.

Les charbons de Typha artisanaux sont en revanche deux fois plus fragiles et devront être maniés plus délicatement. Il faudra donc minimiser leurs déplacements et les pressions exercés sur ces charbons lors de leurs utilisations.

8. Facilité d'allumage

8.1. Définition :

La facilité d'allumage permet de mettre en évidence, à titre comparatif, la durée nécessaire pour allumer un combustible. Pour avoir des résultats comparables on étudie la facilité d'allumage à l'endroit le plus facile à allumer.

8.2. Résultats :

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Facilité d'allumage (s)	61	42	11	14
Ecart-type	8	10	3	3

Tableau 10. Facilité d'allumage en secondes des différents charbons

8.3. Analyse :

On constate que les endroits qui sont les plus aptes à rentrer en combustion sont pour le charbon de bois la partie interne du bois et pour les charbons de Typha, les extrémités. On observe sur les charbons de Typha une couche extérieure durcie sur 1 à 2 mm dû à la friction lors de l'extrusion.

On constate que le charbon de bois est le plus long à allumer. Le charbon de Typha Industriel est plus rapide avec environ 20 secondes de moins et une durée d'allumage d'environ 40 secondes.

Les charbons de Typha artisanaux sont quant à eux très facile à allumer avec un allumage allant de 10 à 15 secondes.

9. Test d'ébullition de l'eau

9.1. Définition :

Le test d'ébullition de l'eau permet de comparer, dans des conditions normalisées, le temps d'ébullition spécifique qui représente le temps nécessaire pour atteindre la température d'ébullition avec une eau à 30°C et la quantité de chaleur dégagée par rapport à la quantité de chaleur transmise à la marmite d'eau représentée par l'efficacité énergétique. On peut ainsi comparer les résultats de différents combustibles avec des conditions initiales identiques pour chaque mesure.

9.2. Résultats :

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Temps d'ébullition spécifique (min)	18	27	23	23
Ecart-type	5	12	6	6
Pourcentage de charbon consommé	72,3 %	54,7 %	69,5 %	63,4 %
Efficacité énergétique (%)	31	42	38	42
Ecart-type	1	4	4	3

Tableau 11. Résultats des tests d'ébullition d'eau des différents charbons

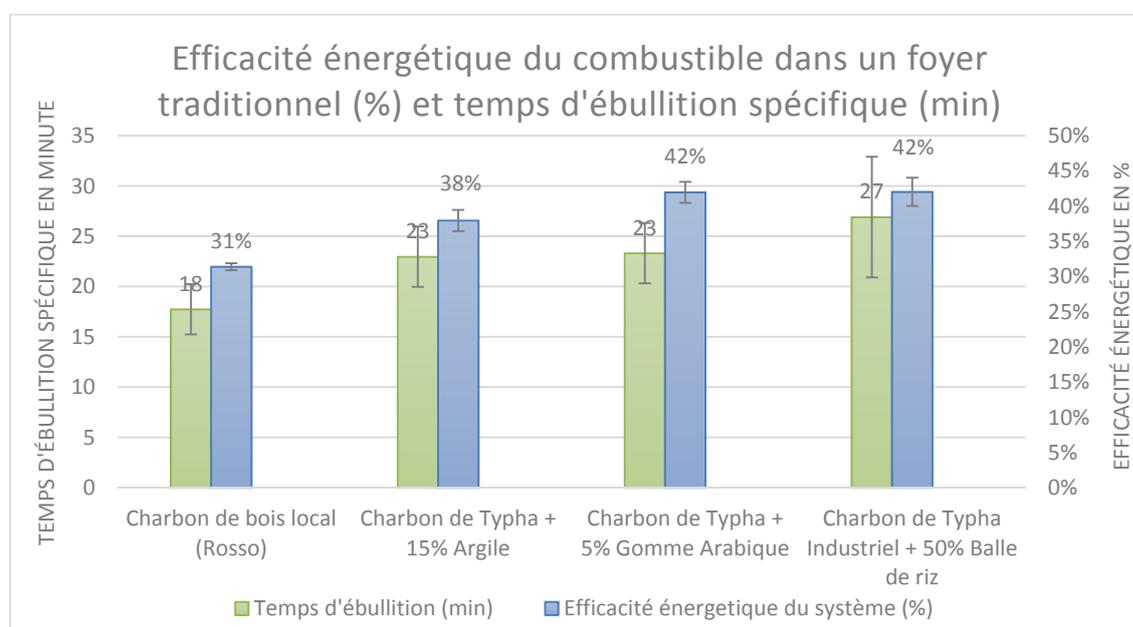


Figure 1. Efficacité énergétique et temps d'ébullition spécifique des différents charbons classé par efficacité énergétique croissante

9.3. Analyse :

Le charbon de bois possède le meilleur temps d'ébullition spécifique avec 18 minutes nécessaires pour atteindre l'ébullition avec une eau à une température initiale de 30°C. Si l'on compare les temps d'ébullitions spécifiques des charbons de Typha, les charbons artisanaux ont besoin de 5 minutes supplémentaires et le charbon de Typha Industriel de 9 minutes supplémentaires.

Le temps d'ébullition spécifique est directement lié à la qualité de l'allumage car la marmite remplie d'eau est posée dans le foyer directement après l'allumage. L'allumage étant difficile à normaliser et à contrôler, on peut donc avoir des écarts-type important, notamment ici sur le charbon de Typha Industriel où nous avons un écart-type de 12 minutes pour une moyenne de 27 minutes.

Les temps d'ébullitions plus importants pour les charbons de Typha sont dus à leurs pouvoirs calorifiques inférieurs plus faibles que le charbon de bois.

L'efficacité énergétique représente le rapport entre l'énergie dégagée par le combustible sur l'énergie reçue par la marmite. Ce rapport met en évidence les pertes énergétiques liées à la surconsommation de combustible. On utilise des foyers identiques et des marmites identiques pour pouvoir comparer les résultats.

La figure 1 ci-dessus montre les moyennes des temps d'ébullition spécifiques ainsi que l'efficacité énergétique de chaque combustible. Les combustibles sont classés dans l'ordre croissant d'efficacité énergétique.

Le charbon de bois a la plus faible efficacité énergétique en raison de sa combustion rapide et son pouvoir calorifique élevé. L'énergie dégagée par le charbon de bois est trop importante pour être reçue par la marmite et se dissipe dans l'air ambiant, les pertes énergétiques, d'environ 70%, sont considérables.

Grâce à un pouvoir calorifique plus faible et une combustion plus lente, l'utilisation du charbon de Typha permet de réduire les pertes énergétiques et d'atteindre une efficacité énergétique d'environ 40% dans un foyer traditionnel « malgache ».

10. Test de cuisine comparée

10.1. Définition :

Le test de cuisine comparée permet d'observer en condition réelle de cuisine les différences de comportement des combustibles et les temps de cuisson dans des conditions identiques. Le repas cuisiné est le thiéboudienne (riz au poisson) et la quantité initiale de combustible utilisé est de un kilogramme.

10.2. Résultats :

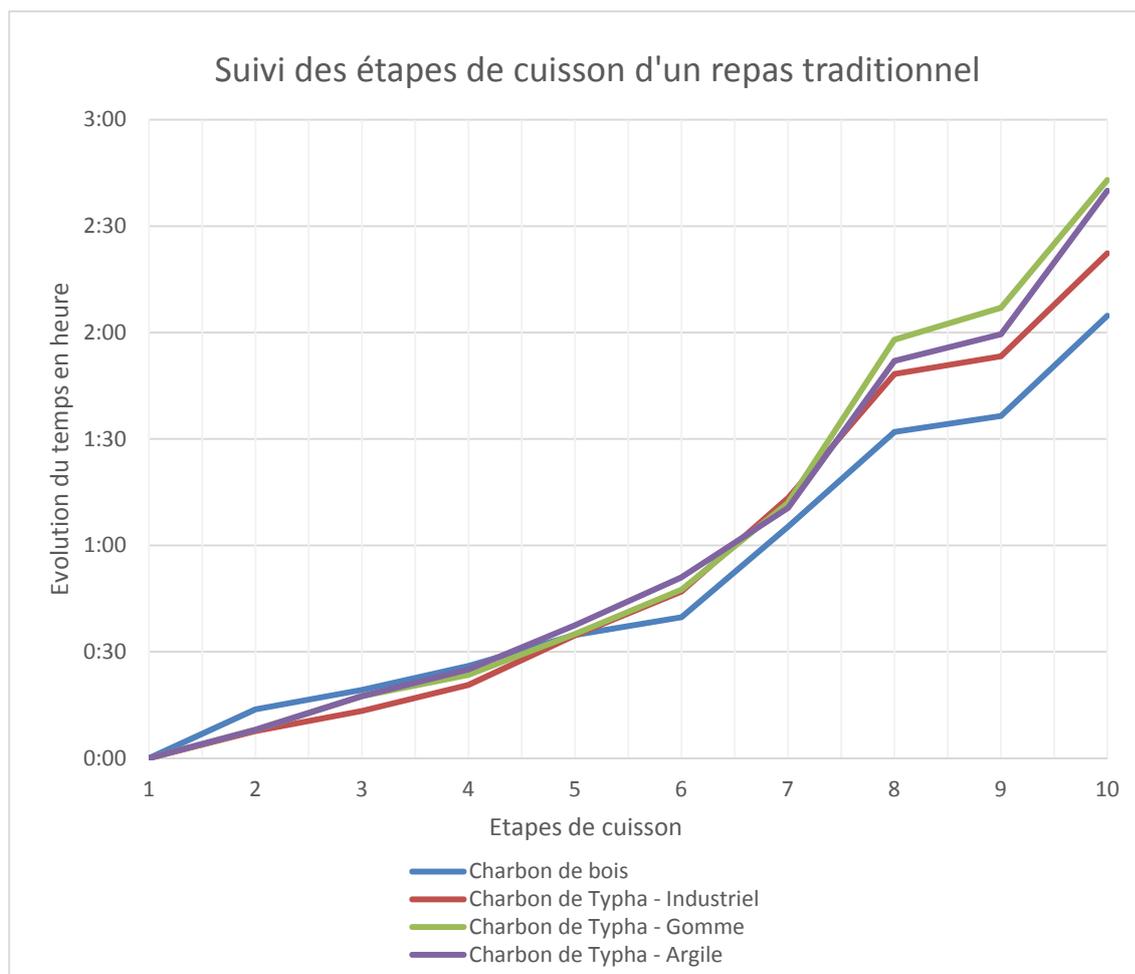


Figure 2. Evolution du temps en fonction des étapes de cuisson

Les étapes de cuissons sont les suivantes :

- 1 : Allumage du combustible
- 2 : Pose de la marmite dans le foyer
- 3 : Ajout de l'huile
- 4 : Cuisson du poisson
- 5 : Ajout de l'eau et des légumes
- 6 : Atteinte de l'ébullition
- 7 : Pose du riz sur la marmite (pré-cuisson à la vapeur)
- 8 : Fin de cuisson des légumes
- 9 : Ajout du riz
- 10 : Fin de cuisson du riz

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Durée de	0h13	0h07 (- 6 min)	0h08 (-5 min)	0h08 (-5 min)

l'allumage (1 à 2)				
Durée de la cuisson des légumes (5 à 8)	0h57	1h13 (+ 16 min)	1h14 (+ 17 min)	1h23 (+ 25 min)
Durée de la cuisson du riz (9 à 10)	0h28	0h29 (+ 1 min)	0h40 (+ 12 min)	00h36 (+ 7 min)
Temps total de cuisine	2h04 (réf.)	2h22 (+ 14,5 %)	2h40 (+ 29 %)	2h43 (+ 31,5 %)
Temps d'ébullition à chaud	5 min	12 min	12 min	13 min
Pourcentage de charbon consommé	80 %	75 %	95 %	95 %

Tableau 12. Résultats des tests de cuisine comparée avec les différents charbons

10.3. Analyse :

L'allumage est la première étape considérée. Elle commence au moment où on allume le combustible d'allumage, généralement du carton, jusqu'à la pose de la marmite. L'allumage se fait à l'extérieur pour profiter du vent et par ce que le carton dégage une fumée désagréable. Si le vent est faible, il est souvent nécessaire de ventiler. L'allumage peut donc varier selon l'intensité du vent et son exposition. L'allumage est généralement plus long avec le charbon de bois, 5 à 6 minutes, comparé aux différents charbons de Typha.

Les premières étapes de cuisine s'enchaînent rapidement et sont peut influencées par le combustible utilisé. On observe donc une même tendance durant les premières étapes pour les différents combustibles jusqu'à l'étape 5 où l'on ajoute l'eau.

Les temps d'ébullition sont courts car l'eau est ajoutée directement dans les 50 cl d'huile ayant servi à cuire le poisson. Cependant, le temps d'ébullition est bien plus faible avec le charbon de bois qu'avec les charbons de Typha. L'importante quantité de chaleur dégagée par le charbon de bois entraîne une forte ébullition, cela n'est pas toujours apprécié par les cuisinières qui préfèrent un mijotage plus doux que l'on retrouve avec les charbons de Typha.

La cuisson des légumes est donc différente mais on constate qu'il n'y a pas de méthode bien définie pour déterminer la fin de cuisson des légumes. La cuisson des légumes est plus longue avec les charbons de Typha, de l'ordre de 15 à 25 minutes supplémentaires.

La cuisson du riz est aussi très variable en fonction du combustible utilisé. Elle est aussi liée au mijotage car on précuit le riz avec la vapeur dégagée durant la cuisson des légumes. Cette méthode engendre un lien non négligeable entre l'intensité du mijotage et la cuisson du riz. Le faible mijotage des charbons de Typha artisanaux a un impact direct sur la durée plus importante de cuisson du riz de ces derniers.

La nécessité de secouer lors de la cuisine est plus importante pour les charbons de Typha que pour le charbon de bois. A partir de la fin de la cuisson des légumes, on constate une perte de puissance sur la fin de la préparation du repas. Celle-ci est directement liée à la présence de cendres qui freinent la combustion. Il est donc nécessaire de secouer. Les charbons de Typha artisanaux nécessi-

tent une approche délicate à cause de leur fragilité contrairement au charbon de bois et au charbon de Typha Industriel, plus solide.

Un kilogramme de charbon de Typha artisanal Argile ou Gomme est nécessaire à la cuisson d'un repas avec une consommation presque total (95 %) pour une durée d'utilisation longue (2h40). Si la durée de combustion du charbon est réduite grâce à une méthode de cuisson plus appropriée, il serait possible de réduire la quantité de combustible initiale.

La consommation de charbon de Typha Industriel est faible avec seulement 75 % du charbon initial consommé. On peut donc diminuer la quantité au démarrage ou utiliser les braises restantes pour d'autres usages comme la préparation du thé par exemple.

Le charbon de bois peut aussi bénéficier d'une réduction de sa quantité initiale pour la préparation du repas traditionnel avec une consommation de 80 %.

Le charbon de Typha Industriel est un combustible ayant un comportement qui se rapproche du charbon de bois, seule la couleur rouge des braises n'est pas aussi visible et peut donner le sentiment que le charbon ne chauffe pas alors que ce n'est généralement pas le cas.

Les charbons artisanaux ont été appréciés pour la douceur du mijotage et le risque réduit de brûler le fond de la marmite lors de la cuisson du riz. Cependant, la méthode de pré-cuisson du riz à la vapeur devient peu pertinente car l'intensité du mijotage est trop faible.

IV. RECAPITULATIF

1. Tableau de synthèse des mesures réalisées :

	Charbon de bois	Charbon de Typha - Indus.	Charbon de Typha - Argile	Charbon de Typha - Gomme
Humidité sur brut	5,60 %	4,38 %	7,01 %	7,36 %
Taux de cendres	4,26 %	31,40 %	37,68	25,59 %
PCIh	26 300 kJ/kg	19 300 kJ/kg	14 650 kJ/kg	16 000 kJ/kg
Masse volumique moyenne	650 kg/m ³	800 kg/m ³	600 kg/m ³	600 kg/m ³
Masse volumique apparente en vrac	260 – 280 kg/m ³	360 – 390 kg/m ³	270 – 310 kg/m ³	310 – 340 kg/m ³
Masse volumique apparente en rang	300 kg/m ³	420 kg/m ³	355 kg/m ³	390 kg/m ³
Seuil de rupture	0,23 Joules	0,25 Joules	0,14 Joules	0,08 Joules
Facilité d'allumage	61 secondes	42 secondes	11 secondes	14 secondes
Temps d'ébullition spécifique	18 minutes	27 minutes	23 minutes	23 minutes
Pourcentage de charbon consommé	72,3 %	54,7 %	69,5 %	63,4 %
Efficacité énergétique	31 %	42 %	38 %	42 %
Temps de cuisine supplémentaires	Référence	+ 14,5 %	+ 29 %	+ 31,5 %

Tableau 13. Synthèse des résultats des différents charbons

2. Conclusion :

Le charbon de bois est un combustible présentant de très bonnes caractéristiques globales qui font qu'il est toujours utilisé par de nombreux ménages même en ville. Ses deux points négatifs sont un allumage difficile et des pertes énergétiques importantes dues à son pouvoir calorifique trop élevé pour son usage.

Le charbon de Typha Industriel se rapproche du charbon de bois en termes d'utilisation notamment grâce à sa solidité. Sa masse volumique lui permet un emballage plus petit pour une masse similaire au charbon de bois et sa solidité permet un transport sur de grandes distances. Sa faible sensibilité à l'humidité et son pouvoir calorifique inférieur sec permet au charbon de Typha Industriel d'avoir un pouvoir calorifique inférieur humide suffisant pour son utilisation en cuisine. Il a une meilleure efficacité énergétique avec une réduction des déperditions énergétiques mais cela rallonge d'au moins 15% le temps de cuisine total en comparaison au charbon de bois. Le taux de cendres important permet une meilleure gestion de la cuisson suivant l'entretien de la braise. Le charbon de Typha Industriel dispose des qualités requises pour être proposé comme alternative de qualité au charbon de bois aux consommateurs.

Les résultats des charbons de Typha artisanaux Argile et Gomme sont assez proches sauf pour les caractéristiques comme le taux de cendres et le pouvoir calorifique qui sont fortement liés au liant utilisé. Leurs comportements en cuisine sont similaires car les deux charbons de Typha sont produits avec le même processus de fabrication. Ce processus permet un allumage rapide mais une sensibilité à l'humidité élevée ainsi qu'une certaine fragilité. La fragilité du combustible nécessite de faire attention lors de son utilisation ainsi que lors de son transport. Les charbons de Typha artisanaux sont suffisants pour faire la cuisine mais demandent quelques changements d'habitudes. L'utilisation de ces produits dans un contexte local pourrait permettre aux produits de bénéficier de la sensibilisation liée à la présence des unités de production.

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° 2 : « Guide de production semi-industrielle de charbon de Typha »
- Cahier technique n° 3 : « Mesure des caractéristiques physico-chimiques des combustibles domestiques solides »
- 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.